

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ROBERTO SANTOS RODRIGUES

**PROCESSOS PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA
BARRAGEM DE TERRA – ESTUDO DE CASO**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ROBERTO SANTOS RODRIGUES

**PROCESSOS PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA
BARRAGEM DE TERRA – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Civil.

Orientadora:
Prof^a. Fernanda Simoni Schuch, Doutora.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rodrigues, Roberto Santos

PROCESSOS PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA - ESTUDO DE CASO / Roberto Santos Rodrigues; orientação de Fernanda Simoni Schuch. - Florianópolis, SC, 2023.

79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Recuperação de Barragem. 2. Geotecnia. 3. Segurança de Barragem. 4. Barragem de terra. I. Simoni Schuch, Fernanda. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. **PROCESSOS PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA - ESTUDO DE CASO.**

PROCESSOS PARA RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA BARRAGEM DE TERRA – ESTUDO DE CASO

ROBERTO SANTOS RODRIGUES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 12 de dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Fernanda Simoni Schuch, Doutora

Elódio Sebem, Doutor
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Jucelio Gonçalves, Mestre
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

João Raphael Leal, Engenheiro Civil
Nova Engevix Engenharia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar meu caminho nessa trajetória durante a graduação e também por toda a minha caminhada até aqui.

Agradeço a minha família pelo apoio e incentivo. Grato aos meus pais, José Ailton Rodrigues e Maria Albertina Santos Rodrigues, pela dádiva da vida.

Agradecimento mais que especial a minha esposa Michele Chaves da Silva por estar sempre ao meu lado, apoiando e incentivando a seguir sempre em frente nesta caminhada longa e por compreender os momentos que me fiz ausente da família. Agradeço a meu filho Conrado da Silva Rodrigues que me ensina diariamente com seu otimismo que a vida tem sempre um ótimo motivo a seguir a diante. Gratidão por vocês estarem presentes em minha vida.

Grato a professora e orientadora Fernanda Simoni Schuch por me apresentar o caminho do conhecimento e sabedoria nessa trajetória, ainda mais nesta última etapa para a conclusão da tão sonhada graduação. Suas orientações foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Grato também a todos os professores e professoras do IFSC que tive durante a graduação em engenharia civil, e em especial aos professores Elódio Sebem e Jucelio Gonçalves por terem aceito participar desta banca, a qual enriqueceu e muito meu conhecimento.

Agradeço também ao engenheiro João Raphael Leal por aceitar participar como membro da banca e por sempre acreditar no meu caminho profissional.

RESUMO

Barragens de terra são estruturas construídas para diversas finalidades, sendo elas, para acumulo de água e irrigação de agriculturas, para abastecimento humano, geração de energia, regulação de cheias, dentre outras. Mas além de gerar benefícios para cada uma dessas finalidades, as estruturas podem gerar riscos para a população do seu entorno e principalmente a jusante, pela falta de manutenção das mesmas. No intuito de evitar acidentes ou incidentes, criaram-se leis e políticas no Brasil e no mundo, as quais exigem a fiscalização, inspeção e manutenção de barragens. Todas as estruturas do barramento sofrem desgastes com o passar do tempo, independente da tipologia da estrutura, sendo necessária uma intervenção para solucionar as anomalias encontradas. Para tanto realizou-se revisão bibliográfica, identificação de anomalias através de inspeção de campo e sistematização de dados, visando obter informações sobre as principais ações capazes de solucionar as anomalias encontradas. Dentre as anomalias encontradas no barramento pode-se citar: erosões, crescimento de arbustos, pequenas árvores e colônias de animais no corpo da barragem de terra, drenagem superficial inoperante e obstruções na saída da drenagem interna. A execução das ações propostas, tais como recuperação de erosões superficiais, recomposição das proteções dos taludes, remoção de arbustos e colônia de animais, recuperação de drenagem superficial e instalação de instrumentação de auscultação, irá possibilitar a recuperação da barragem, bem como monitorar as estruturas, garantido assim a segurança do barramento, do meio ambiente e de pessoas que convivem no seu entorno.

Palavras-chave: Recuperação de Barragem. Geotecnia. Segurança de Barragem. Barragem de terra.

ABSTRACT

Earth dams are structures built for a variety of purposes, including water storage and irrigation for agriculture, human supply, energy generation, flood regulation, among others. But in addition to generating benefits for each of these purposes, structures can generate risks for the surrounding population and especially downstream, due to the lack of maintenance of them. In order to avoid accidents or incidents, laws and policies were created in Brazil and in the world, which require the supervision, inspection and maintenance of dams. All dam structures suffer wear over time, regardless of the type of structure, requiring intervention to resolve any anomalies found. To this end, a bibliographical review was carried out, identification of anomalies through field inspection and systematization of data, aiming to obtain information on the main actions capable of resolving the anomalies found. Among the anomalies found in the dam, we can mention: erosion, growth of bushes, small trees and animal colonies in the body of the earthen dam, inoperative surface drainage and obstructions at the exit of the internal drainage. The execution of the proposed actions, such as recovery of surface erosion, restoration of slope protections, removal of bushes and animal colonies, recovery of surface drainage and installation of auscultation instrumentation, will enable the recovery of the dam, as well as monitoring the structures, thus guaranteeing the safety of the dam, the environment and people who live in its surroundings.

Keywords: Dam Recovery. Geotechnics. Dam Safety. Earth Dam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Uso principal de barragens cadastradas no Brasil submetidas à PNSB ...	15
Figura 2 - Tipo de material das barragens cadastradas no Brasil.	16
Figura 3 - Indicação das Estruturas Principais da Barragem.	20
Figura 4 - Arranjo do Barramento.....	32
Figura 5 - Barragem com a indicação da antiga calha do rio.	32
Figura 6 - Seção Típica da Barragem de terra.	33
Figura 7 - Incidência de vegetação próxima a saída da drenagem superficial.	40
Figura 8 - Talude de jusante com a incidência de arbustos.	40
Figura 9 - Talude de montante com vegetação excessiva.	41
Figura 10 - Crista e talude de montante com vegetação excessiva.	41
Figura 11 - Talude de montante da barragem de terra desprotegido.	43
Figura 12 - Talude de montante da barragem de terra desprotegido.	43
Figura 13 - Talude de montante da barragem de terra com falhas do “rip-rap”	44
Figura 14 - Talude do canal de restituição do vertedouro labirinto.....	45
Figura 15 - Talude de montante da barragem de terra com erosão.	46
Figura 16 - Talude de jusante da barragem de terra com início de erosão.	46
Figura 17 - Talude de jusante da barragem de terra com erosão.	47
Figura 18 - Detalhe típico do sistema de drenagem superficial.....	48
Figura 19 - Crista da barragem de terra sem sistema de drenagem superficial.	48
Figura 20 - Descida em escada com degraus apresentando assoreamento.....	49
Figura 21 - Surgência de água junto à antiga calha do rio.	50
Figura 22 - Dreno de pé erodido.	51
Figura 23 - Cupinzeiro identificado em campo.	52
Figura 24 - Anomalias identificadas na estrutura da barragem.	55
Figura 25 - Remoção/Supressão de arbustos/pequenas árvores.	58
Figura 26 - Remoção de colônias de animais.	58
Figura 27 - Recomposição com solo ou solo cimento.	59
Figura 28 - Recomposição com sacaria de solo cimento.	60
Figura 29 - Geocélulas.	61
Figura 30 - Detalhe típico da crista da barragem - instalação das geocélulas.	62
Figura 31 - Detalhe da vala para fixação das geocélulas na crista.	62
Figura 32 - Detalhe da vala para fixação sob o enrocamento de proteção.	63
Figura 33 - Detalhe da fixação das geocélulas de jusante na crista da barragem. ...	63

Figura 34 - Detalhe da fixação das geocélulas de jusante no pé da barragem.	64
Figura 35 - Saída da drenagem interna – Vista em perspectiva.....	65
Figura 36 - Saída da drenagem interna – Seção típica.	65
Figura 37 - Drenagem superficial – Caixas de passagem.....	66
Figura 38 - Drenagem superficial – Canaleta.....	67
Figura 39 - Drenagem superficial – Dissipador de energia.	67
Figura 40 - Drenagem superficial – Meio fio.....	68
Figura 41 - Locação em planta dos Marcos de Referência - MR.	69
Figura 42 - Detalhe típico dos Marcos de Referência – MR – Vista Superior.	69
Figura 43 - Detalhe típico dos Marcos de Referência – MR – Vista lateral.	70
Figura 44 - Locação em planta dos Marcos Superficiais - MS.	70
Figura 45 - Locação em seção dos Marcos Superficiais - MS.....	71
Figura 46 - Detalhes típicos dos Marcos Superficiais - MS.	71
Figura 47 - Locação em planta dos Medidores de Nível de Água - MNA.....	72
Figura 48 - Detalhe Típico dos Medidores de Nível de Água - MNA.	73
Figura 49 - Locação em planta dos Medidores de Vazão Triangulares - MV.....	74
Figura 50 - Detalhe Típico em corte dos Medidores de Vazão Triangulares - MV. ...	74
Figura 51 - Vista isométrica dos Medidores de Vazão Triangulares - MV.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais causas de rupturas de barragens de terra.	25
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desastres de barragens brasileiras.	17
Tabela 2 – Ficha de Inspeção	34
Tabela 3 - Sugestões de Ações corretivas das anomalias encontradas.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
cm	Centímetro
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DACC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
hm ³	Hectômetro Cúbico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
km	Quilometro
km ²	Quilometro Quadrado
m	Metro
m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetro
MNA	Medidor de Nível de Água
MR	Marco de Referência
MS	Marco Superficial
MV	Medidor de Vazão
N.A.	Nível d'água
PAE	Plano de Ação Emergencial
PEAD	Polietileno de Alta Densidade

PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SNISB	Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens
ZAS	Zona de Altossalvamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	14
1.1	Justificativa	18
1.2	Definição do Problema	18
1.3	Objetivo Geral.....	19
1.4	Objetivos Específicos.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	Histórico.....	20
2.2	Legislação sobre Segurança de Barragens.....	22
2.3	Barragens de Terra	23
2.3.1	Classificação das Barragens de Terra	24
2.4	Causas de Ruptura das Barragens de Terra.....	24
2.4.1	Galgamento.....	25
2.4.2	Infiltrações.....	26
2.4.3	Erosões	27
2.5	Instrumentação em Barragens de Terra.....	27
2.6	Manutenção de Barragens de Terra	28
3	MÉTODO	31
3.1	Caracterização das Estruturas da Barragem.....	31
3.2	Identificação das Anomalias	33
3.3	Proposição das Ações corretivas.....	37
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	39
4.1	Anomalias encontradas.....	39
4.1.1	Vegetação com raízes profundas.....	39
4.1.2	Proteção de enrocamento ou “rip-rap”	42
4.1.3	Erosão.....	45
4.1.4	Drenagem Superficial.....	47
4.1.5	Drenagem Interna	50
4.1.6	Colônia de Animais	51
4.2	Ações corretivas propostas	52
4.3	Terraplenagem	54
4.3.1	Preparo e Recuperação dos Taludes.....	54
4.3.1.1	Região do Talude de Jusante	55
4.3.1.2	Região da Crista	56
4.3.1.3	Região do Talude de Montante	57
4.3.1.4	Tratamentos Previstos	57
4.3.2	Proteção dos Taludes com Geocélulas.....	60
4.4	Drenagem Interna.....	64
4.5	Drenagem Superficial	65
4.6	Instrumentação	68
4.6.1	Marco de Referência	69
4.6.2	Marco Superficial	70
4.6.3	Medidor de Nível de Água.....	72
4.6.4	Medidores de Vazão Triangulares	73
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Obras de terra têm sido construídas em todo o mundo desde a antiguidade, e muitas delas se tornaram importantes marcos históricos. Algumas das obras de terra mais notáveis da história da humanidade incluem: Terraplenagem da Mesopotâmia, na qual construíram muitos canais de irrigação, diques e barragens de terra para controlar as inundações do rio Tigre e Eufrates. Terraços agrícolas dos Incas que foram construídos em todo seu império para permitir a agricultura em áreas montanhosas, esses terraços foram construídos em pedras e terra e ainda são utilizados para agricultura nos dias de hoje. Grandes barragens de terra que foram construídas em todo o mundo para controlar as inundações e fornecer água para irrigação da agricultura. Na era moderna, muitas das barragens de terra foram construídas para a geração de energia hidrelétrica.

A barragem de terra mais antiga do mundo está localizada em Jawa no rio Jordão, e data de aproximadamente 4000 a.C. A segunda mais velha é possivelmente a EL Kafara de Sadd, no Wadi el-Garawi, próximo de Helwan, no Egito, construída em 2900 a.C em alvenaria com núcleo de terra e enrocamento. (OLIVEIRA, 2008).

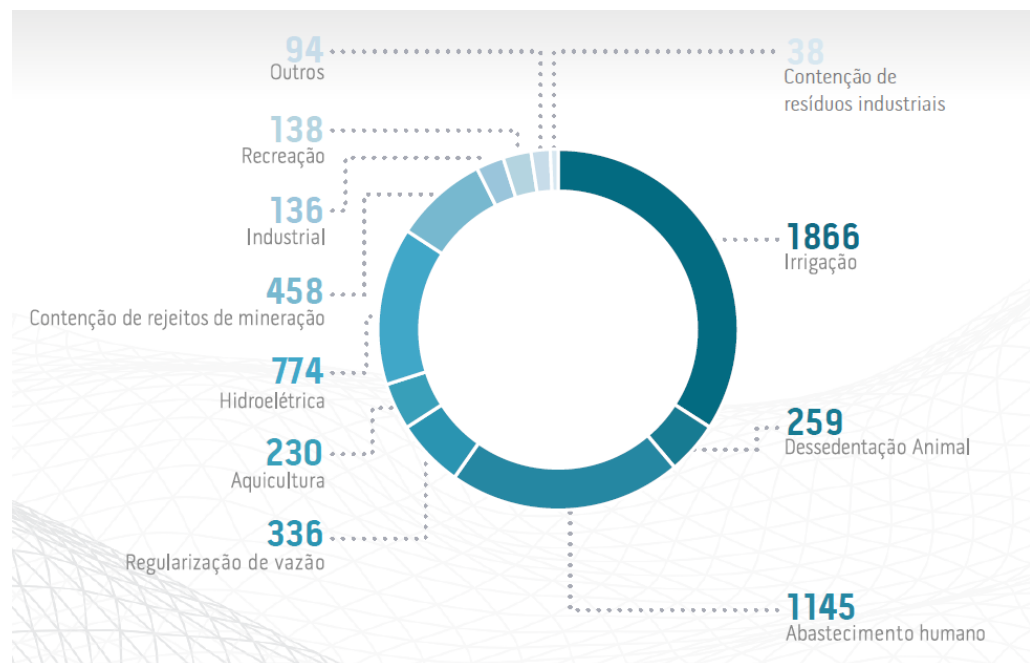
As barragens são obras de engenharia que estão diretamente expostas ao ambiente, sujeitas às intempéries e anomalias que podem degradar sua estrutura levando a riscos de ruptura, desta forma se faz necessário a manutenção preventiva de forma contínua a fim de assegurar que a estrutura se mantenha operante e capaz de desempenhar todas as suas finalidades de projeto, sem colocar em risco a população e propriedades localizadas a jusante. (BARBOSA 2014).

De acordo com o relatório anual de Segurança de Barragens da ANA-2021, existem 22.654 barragens cadastradas por 33 órgãos fiscalizadores no Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens (SNISB). Sendo que 50% deste total possuem informações sobre o empreendedor, 87% sobre sua capacidade, 54% sobre altura e 51% possuem informações sobre autorização, outorga ou licenciamento. Do total das barragens cadastradas, 5.474 estão submetidas à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e 4.313 não estão. O restante das barragens (57%) não possuem informações suficientes para a classificação quanto à submissão à Lei nº 12.334/2010. Esta Lei, modificada pela Lei nº 14.066 de 2020, aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à

disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentam pelo menos uma das seguintes características: Altura do maciço igual ou superior a 15 metros, capacidade do reservatório igual ou maior que 3.000.000 m³ e reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis.

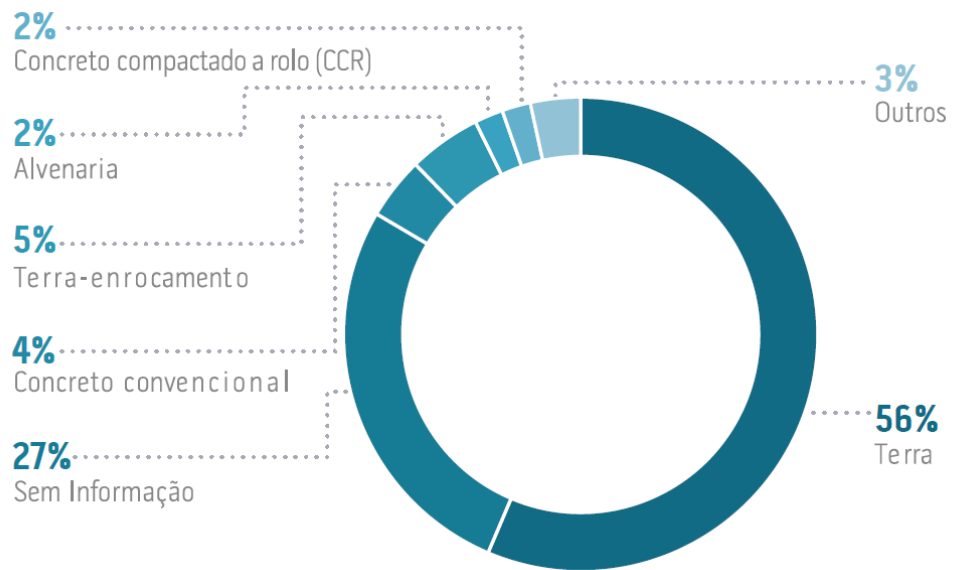
São diversas as finalidades de uso das barragens cadastradas no Brasil que estão submetidas à PNSB (Figura 1), podendo-se citar a geração de energia elétrica, irrigação, abastecimento de água, regularização de cheias, contenção de rejeitos industriais ou de mineração, entre outros. Em relação ao material mais utilizado na construção dessas barragens (Figura 2), segundo o relatório anual de Segurança de Barragens da ANA-2021, 56% foram construídas em terra, 4% em concreto convencional e 5% em terra-enrocamento. Tendo ainda 27% das barragens sem informação quanto ao material utilizado em sua construção.

Figura 1 - Uso principal de barragens cadastradas no Brasil submetidas à PNSB



Fonte: Relatório Anual de Segurança de Barragens-2021 – SNISB/ANA.

Figura 2 - Tipo de material das barragens cadastradas no Brasil.



Fonte: Relatório Anual de Segurança de Barragens-2021 – SNISB/ANA.

Não há dúvidas quanto à importância das barragens para a sociedade, mas é importante salientar sobre os riscos associados a esse tipo de estrutura. A maior preocupação é quanto ao risco de ruptura, uma vez que, no Brasil ocorreram diversas catástrofes. Desta forma é crescente e constante a preocupação sobre a segurança por parte de projetistas, construtores, operadores, órgãos fiscalizadores e da sociedade de maneira geral. Acidentes relacionados a rupturas desse tipo de estrutura ocasionam prejuízos diretos, como a perda de vidas humanas e vidas animais, danos materiais nas áreas atingidas pela inundação, danos materiais nas estruturas da barragem e ainda prejuízos indiretos, como a impossibilidade de continuidade de utilização das áreas afetadas, exploração dos recursos hídricos, além de traumas psicológicos e físicos aos sobreviventes dessas catástrofes. É de extrema dificuldade mensurar o valor real desses prejuízos, uma vez que nada poderá atribuir valor à perda de vida humana e ao meio ambiente, essas são questões de ordem moral e não material.

Frente a tamanha preocupação com rupturas e questões envolvendo a segurança de barragens, diversas ações devem ser adotadas e entre essas ações a recuperação das barragens degradadas pelo tempo. Assim, é importante que empresas e autoridades públicas responsáveis adotem medidas preventivas

adequadas para minimizar os riscos de ruptura. E as barragens de terra por sua vez acabam sofrendo mais com os desgastes do tempo quando não submetidas pelas devidas manutenções periódicas, pois acabam sofrendo com erosões, crescimento desordenado de vegetações diversas, ações causadas por animais, perdas na eficiência da drenagem superficial e drenagem interna, entre outros problemas. E serão estes os problemas que serão tratados como objetivo deste trabalho.

O Brasil enfrentou, recentemente, alguns dos piores desastres com barragens da sua história, ressaltando que os desastres de maiores proporções são de barragens de rejeitos, com alteamento por montante. Podemos citar como exemplo negativo desses eventos o rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, em novembro de 2015 e o rompimento da Barragem de Rejeitos da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, em janeiro de 2019, ambas as barragens no estado de Minas Gerais. No Brasil, somente no século XXI, podemos citar ao menos 10 rompimentos com perdas de vidas humanas, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Desastres de barragens brasileiras.

Barragens	Data	Localização	Perdas Humanas
Barragem de rejeitos São Sebastião das Águas Claras	Junho/2001	Nova Lima - MG	5 mortes
Barragem de Camará	Junho/2004	Alagoa Nova - PB	5 mortes
Barragem hídrica de Algodões	Maió/2009	Cocal e Buriti dos Lopes - PI	24 mortes
Barragem de terra de uma fazenda	Março/2014	Uruana - GO	22 mortes
Hidrelétrica de Santo Antônio	Março/2014	Laranjal do Jari - AP	4 mortes
Dique B1 - Mina Retiro do Sapecado - Mineradora Herculano	Setembro/2014	Itabirito - MG	3 mortes
Barragem de rejeito Fundão	Novembro/2015	Mariana - MG	19 mortes
Barragem na Fazenda Guavirova	Agosto/2016	União da Vitória - PR	12 mortes
3 barragens do Rio Uraim e inundaram Paragominas. Barragens clandestinas em fazendas	Abril/2018	Paragominas - PA	2 mortes
Barragem de rejeitos da Mina Córrego do Feijão	Janeiro/2019	Brumadinho - MG	270 mortes e 10 desaparecidos

Fonte: Adaptado de Synergia Socioambiental (2023)

1.1 Justificativa

Dados os acontecimentos das últimas décadas no Brasil com relação à ruptura de barragens, percebe-se que há grande necessidade de se ter um olhar mais atento aos processos de fiscalização, manutenção e prevenção de acidentes em barragens, em especial das barragens de solos e enrocamento.

A Resolução nº 91 ANA estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem conforme a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB. (ANA, 2021).

Assim, é importante que empresas e autoridades públicas responsáveis adotem medidas preventivas adequadas para minimizar os riscos de rupturas, isso inclui a realização de inspeções regulares, a implementação de sistemas de monitoramento e a manutenção adequada da barragem. A segurança deve ser priorizada acima de qualquer interesse econômico, uma vez que as consequências de uma ruptura podem ser irreversíveis e afetar muitas pessoas e o meio ambiente por muitos anos.

Portanto, a relevância e importância deste trabalho está justificada no fato de se apresentar elementos para atender a Resolução nº 91 ANA em sua Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado. Como estudo de caso utilizou-se uma barragem classificada como de Nível Alto para o risco de ruptura e as demandas do Relatório de Inspeção Regular de Segurança da Barragem recomendaram a realização do projeto de recuperação. Desta forma se fazem necessários os estudos para a realização dos projetos e execução para a total recuperação da Barragem e, tais estudos seguem apresentados no decorrer desta pesquisa.

1.2 Definição do Problema

Os responsáveis pela manutenção e operação de barragens, enfrentam problemas recorrentes com o intuito de manter suas estruturas em estado adequado de segurança. Em muitos casos, são obras com um elevado potencial de risco, sujeitas a acidentes com consequências ao meio ambiente, à sociedade e especialmente às vidas humanas, que são muito mais importantes. Por isso, cada vez

mais, as barragens devem atender não apenas os aspectos econômicos, mas também os sociais e ecológicos.

Anomalias em barragens podem ser atribuídas a falhas de projeto, falhas de construção, procedimentos equivocados durante o uso e operação e até mesmo por falta de conservação de suas estruturas. Na maioria das vezes, os acidentes ocorrem em decorrência de algum evento da natureza, tais como, chuvas torrenciais que estão acima do tempo de retorno estudado, instabilidades geológicas, ou por razões construtivas, como recalques na fundação e no aterro ou percolações excessivas.

Outras manifestações patológicas que podem influenciar na segurança das barragens de terra são as colônias de animais, existência de arbustos e pequenas árvores ao longo dos taludes e cristas e zonas ravinadas e/ou erodidas. Sendo estas as manifestações patológicas que serão abordadas na elaboração deste trabalho.

1.3 Objetivo Geral

Apresentar diagnóstico de problemas relativos à necessidade de manutenção preventiva no corpo da barragem de terra do estudo de caso observando eventuais anomalias e propondo medidas mitigadoras.

1.4 Objetivos Específicos

Indicar ações para a recuperação da barragem de terra:

- a) Caracterizar a estrutura da barragem de terra;
- b) Identificar as anomalias encontradas em campo;
- c) Propor ações corretivas de todas as anomalias encontradas;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico

A barragem de terra objeto de estudo desta pesquisa, foi construída no ano de 2002, tendo por finalidade regularização das vazões, ou seja, controlar o fluxo de água do rio a fim de garantir um fluxo consistente a jusante da estrutura, captação para irrigação agrícola e controle de cheias em sua bacia hidrográfica. Está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paranã no estado de Goiás, possui um reservatório com cerca de 30 km² e volume de armazenamento de 190 hm³. A extensão da crista da barragem de terra é de 1.760 m, altura máxima de 33 m e volume total de aterro da ordem de 1.150.000 m³.

Possui dois vertedouros, sendo um situado sobre a barragem, vertedouro de soleira livre, e outro na ombreira direita, vertedouro labirinto, ambos os vertedouros em concreto armado. Possui também uma tomada d'água na margem esquerda para um canal de adução e uma descarga de fundo, próximo ao que era a calha natural do rio antes do barramento.

Figura 3 - Indicação das Estruturas Principais da Barragem.



Fonte: Google Earth (2023).

A caracterização climatológica na bacia de contribuição do barramento, segundo a classificação de Köppen, mostra clima predominantemente Aw (Inverno Seco), que é caracterizado por clima quente e úmido com chuvas de verão, com temperatura média anual em torno dos 20°. Na região oeste da bacia há trechos de clima Cwa e Cwb, quente com inverno seco, verão quente e inverno seco e verão morno, respectivamente. A classificação de Köppen baseia-se fundamentalmente na temperatura, na precipitação e na distribuição de valores de temperatura e precipitação durante as estações do ano.

O Cerrado, cuja vegetação é marcada por árvores e arbustos tortuosos, cascas grossas e raízes profundas, cobre cerca de 70% do território goiano e é o segundo maior bioma brasileiro, ficando atrás somente da Amazônia. A região do barramento encontra-se ainda na área de Cerrado, tendo a mata ciliar bem preservada a jusante do eixo da barragem.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) a região da barragem se encontra numa área de formações superficiais do Cenozóico classificada como TQdl – Cobertura Detrito-Laterítica: Latossolo Vermelho-amarronzado, constituindo perfis maduros e imaturos, com níveis de cascalhos. Esta unidade de idade supostamente terciária/quaternária, corresponde a uma superfície desenvolvida a partir de um processo de aplainamento e laterização, sendo o processo de alteração por intemperismo que ocorre por meio de intensa lixiviação e reprecipitação, de toda uma região que engloba o centro-oeste brasileiro.

Em casos extremos, como por exemplo rompimento, a região potencialmente atingida é composta por área rural, majoritariamente, além do perímetro urbano do município de Flores do Goiás, que fica distante em torno de 50 km. A zona denominada autossalvamento - ZAS é definida como o menor valor entre 10 km a jusante do eixo da barragem, ou a distância percorrida pela onda hipotética de cheia em até 30 minutos (ANA, 2016). Para a barragem objeto de estudo a zona de autossalvamento fica restrita ao limite de 10 km, que compreende propriedades rurais isoladas, sem construções próximas ao leito natural do rio. As margens dos primeiros 30 km de rio possuem a mata ciliar bem preservada, com cerca de 100 m para cada lado, o que poderá auxiliar na contenção da inundação em caso de rompimento da barragem.

2.2 Legislação sobre Segurança de Barragens

No Brasil, a legislação que trata da segurança de barragens é a Lei nº 12.334/2010 modificada pela Lei nº 14.066, de 2020, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. Essa lei define os critérios básicos e as exigências mínimas necessárias para garantir a segurança das barragens e prevenir acidentes. A lei também prevê a classificação das barragens de acordo com o seu potencial de risco e estabelece as responsabilidades dos órgãos reguladores, dos empreendedores e dos usuários das barragens. Além disso, existem diversos órgãos reguladores e fiscalizadores responsáveis por garantir o cumprimento das normas de segurança de barragens, como a Agência Nacional de Águas (ANA), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)

A segurança de barragem passou a ser abordada pelos estudiosos da área, como Oliveira (2008) e Menescal (2009), que alertaram sobre a importância da segurança de barragens e sua regularização.

Somente com a melhoria da gestão da segurança, as barragens poderão atender às necessidades da população, sem representarem fonte permanente de riscos inaceitáveis. Outro aspecto a ser considerado é que a Gestão dos Recursos Hídricos não se completará sem a elaboração e implementação de um sistema de gestão da segurança de barragens, que garanta sua operação com níveis aceitáveis de risco para a população e para o meio ambiente (MENESCAL, 2009).

A lei de segurança de barragens é a maior conquista da legislação brasileira sobre o tema, pois ela estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), e cria o Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens (SNISB). Assim o poder público se tornou articulado para tratar da segurança de tais empreendimentos de forma integrada. Esta lei ainda classifica as barragens por categoria de risco e dano potencial, facilitando a gestão da segurança.

A PNSB em um dos seus objetivos regulamenta as ações de segurança a serem adotadas levando em consideração todas as etapas do empreendimento, como: planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento,

operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o Brasil. Esse instrumento expressa de forma direta que a primeira responsabilidade da segurança da barragem é do empreendedor e o mesmo tem o dever de manter a barragem em condições adequadas de segurança (ANA, 2012).

Todas as informações sobre a situação da barragem devem ser enviadas pelos seus responsáveis para os respectivos órgãos fiscalizadores, para que estas informações sejam repassadas à ANA originando o Relatório de Segurança de Barragens (RSB), que é um instrumento avaliativo da PNSB (ANA, 2012).

A ANA, como entidade outorgante do direito de uso dos recursos hídricos da união, fica responsável por fiscalizar a segurança das barragens de usos múltiplos, pelo cadastramento e atualização do mesmo, para fins de incorporação ao SNISB (ANA, 2014).

2.3 Barragens de Terra

Para Marangon (2004) barragem de terra é um elemento construído em vales e destinado a fechá-los transversalmente, proporcionando o represamento da água.

As barragens de terra também são conhecidas como barragens de terra-enrocamento. Essas barragens possuem como dimensões básicas a largura da crista, as dimensões das bermas, a inclinação dos taludes, cota da crista, revanche e cota do vertedouro (OLIVEIRA, 2008).

Para o Ministério da Integração Nacional (2002), conceitua-se barragem como sendo “estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do nível d’água e/ou criar um reservatório de acumulação”.

Quando as barragens de terra são projetadas e construídas de forma adequada funcionam bem e possuem um custo mais acessível quando comparado às barragens de concreto. Quando a topografia é mais suave, a construção de barragens de terra é mais indicada (COSTA, 2012).

2.3.1 Classificação das Barragens de Terra

As barragens de terra são classificadas de acordo com sua seção, em barragens homogêneas e barragens mistas ou zonadas. As barragens homogêneas são constituídas de um único material, já nas barragens zonadas existe um zoneamento de materiais terrosos em função de suas características, geralmente são constituídas de um núcleo de material impermeável, uma argila fina, e camadas de materiais permeáveis que juntos promovem a estabilidade do talude (COSTA, 2012).

A escolha do tipo da seção da barragem de terra a ser utilizada é limitada pelas características do local a ser construída, pois a qualidade do material escavado na construção e a disponibilidade de jazidas próximas ao empreendimento podem diminuir custos viabilizando uma seção homogênea ou zonada. Deve-se procurar aproveitar ao máximo o material escavado na construção da barragem, para isso deve-se realizar ensaios de solo na fase de planejamento, estudando a utilização do material e a viabilidade do empreendimento (COSTA,2012).

Segundo (MASSAD, 2010) as barragens homogêneas tem a inclinação dos taludes fixada, de maneira a garantir a estabilidade da estrutura. Além disso é fundamental a execução de filtro vertical ou inclinado para evitar que o fluxo de água saia na face de jusante.

Barragens zoneadas são construídas, principalmente, quando não há disponibilidade de um único tipo de solo apropriado e em quantidade suficiente. Desta forma, utiliza-se solo mais fraco na construção da parte externa da barragem e em seu núcleo central emprega-se um solo de melhor qualidade (COSTA,2012).

2.4 Causas de Ruptura das Barragens de Terra

Segundo (OLIVEIRA, 2008) os principais mecanismos de ruptura de barragens podem ser entendidos como galgamentos, descontrole da percolação “*piping*”, surgências a jusante, trincas no corpo da barragem, deslizamentos de taludes, erosões superficiais, barragens com variações extremas e muito frequentes do reservatório, poropressões e subpressões elevadas, presença de toca de animais, mau funcionamento dos vertedouros, perigos geológicos, indícios progressivos de deterioração da estrutura e/ou fundação da barragem.

Rupturas de barragens são frequentes em todo o mundo, por isso existem diversas tentativas de desenvolver técnicas para evitar ou mesmo minimizar os acidentes ou incidentes causados devido às rupturas de barragens de terra. Para Veltrop (1991) apud Gago (2009), as principais causas de rupturas de barragens são: O galgamento, as infiltrações e as erosões. Mas podemos destacar outras causas que levam a estruturas a rompimentos, sendo elas: A sobrecarga das estruturas, instabilidade do solo, falhas de projeto, falhas de manutenção e eventos naturais extremos.

Quadro 1 – Principais causas de rupturas de barragens de terra.

Galgamento	26%
Vazamento e <i>piping</i> no aterro	22%
Vazamento e <i>piping</i> na fundação	17%
Erosão	17%
Falta de proteção dos taludes	12%
Outras	6%

Fonte: Adaptado de Veltrop (1991) Apud Gago (2009).

2.4.1 Galgamento

O galgamento é passagem da água por cima do talude da barragem, ou seja, o transbordamento da água sobre a crista. Para evitar esta situação, deve-se dimensionar o vertedouro adequadamente de forma a eliminar o excesso de água do reservatório. Os galgamentos acontecem normalmente por eventos hidrológico extremo e é a principal causa de ruptura de barragens de terra. Estas são muito susceptíveis a esse fenômeno, caso esse venha a acontecer o rompimento é muito provável. Para garantir com mais segurança que isso não ocorra, a crista da barragem deve situar-se a uma distância predeterminada do nível de água, esta distância denomina-se *revanche* ou *borda livre* (OLIVEIRA, 2008). Segundo os Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas da Eletrobrás (2003) barragens de terra ou enrocamento deverão ter *borda livre normal* de, no mínimo, 3,0 m em relação ao nível máximo indicado em projeto.

2.4.2 Infiltrações

As infiltrações, através do corpo da barragem ou da sua fundação, comprometem a estabilidade da barragem, então para garantir a segurança do empreendimento devem-se tomar precauções contra as pressões de percolação excessivas (OLIVEIRA, 2008).

A percolação através da estrutura de uma barragem de terra é comum, porém ela deve ser controlada, pois a percolação descontrolada pode carregar material em direção a saídas não protegidas, formando vazios, também conhecida como erosão interna ou ("*piping*") que poderá conduzir a falha (ELETROBRÁS, 1987).

O conhecimento da pressão de percolação excessiva e seus efeitos agressivos sobre a estrutura das barragens de terra são consolidados no campo da mecânica dos solos a décadas, Caputo (1973) alerta que:

Se as pressões de percolação tornaram-se excessivas, pode-se dar carreamento de partículas finas do solo no ponto onde a água emergir no corpo da barragem ou no terreno de fundação, se este for mais permeável que a própria barragem. Desse modo, vai-se formando, dentro da barragem ou na sua fundação, um orifício cada vez maior e em forma de tubo. Esse fenômeno denomina-se erosão tubular ou "*piping*" e pode comprometer a estabilidade da barragem, podendo destruí-la completamente (CAPUTO, 1973, p 417).

A proteção contra a erosão tubular (*piping*) pode ser feita através da redução da velocidade de infiltração e com a facilitação da saída de água, que dificulta o aumento da pressão neutra. No corpo da barragem a utilização de sistemas de drenagem favorecendo a orientação do percurso da água percolada, aumenta a segurança contra este tipo de problema (CAPUTO, 1973).

Para a proteção do *piping* através da fundação utiliza-se tapete impermeabilizante a montante e uma trincheira de vedação, e/ou a construção de poços de alívio. A utilização de sistemas de drenagem no talude, tapete e trincheira de vedação, quando utilizados em conjunto são eficazes contra a percolação (OLIVEIRA, 2008). As infiltrações são responsáveis por grande parte das rupturas de barragens de terra, isso comprova a importância de se tomar medidas contra esse fenômeno. Mesmo a barragem não apresentando sinais de infiltrações, é de fundamental importância a instalação de instrumentação necessária para o monitoramento deste fenômeno. Sendo através destes instrumentos que se toma conhecimento de possíveis infiltrações no corpo da barragem de terra.

2.4.3 Erosões

Os taludes da barragem de terra devem estar estabilizados para evitar problemas na segurança da estrutura e uma possível ruptura da mesma. Um talude para ser considerado estável não deve apresentar nenhum sintoma de instabilidade, tais como trincas, sulcos, erosões, cicatrizes, abatimentos, surgências anormais de água, rachaduras, etc.

Visando evitar a instabilidade do talude de montante da barragem de terra, o mesmo deve ser protegido contra a ação das ondas e correntes, que podem dar origem a erosões. Geralmente essa proteção é realizada através de um revestimento com rochas, também conhecido como “*rip-rap*” ou enrocamento de proteção que é o mecanismo mais utilizado em taludes de montante. As rochas que o constitui, devem possuir alta massa específica, durabilidade e resistência à abrasão (DNOCS, 1981).

O talude de jusante deve ser revestido contra a erosão superficial, pois “a erosão instala-se onde tiver terra desnuda” (PRIMAVESI, p. 421, 2002). Existem diversos fatores que favorecem o surgimento de erosão, mas faz somente 30 anos que se descobriu a sua origem verdadeira: a infiltração deficiente da água no solo (PRIMAVESI, 2002).

A proteção dos taludes de jusante pode ser através do revestimento por vegetação ou *rip-rap*. Em barragens de terra, geralmente são utilizados gramíneas, devido ao custo relativamente inferior, quando comparado ao enrocamento de proteção ou outro tipo de proteção superficial.

A erosão é o tipo de problema mais comum neste tipo de estrutura, e caso não sejam controladas, podem causar brechas no coroamento e encurtar o caminho da percolação, prejudicando a segurança da barragem (OLIVEIRA, 2008).

2.5 Instrumentação em Barragens de Terra

A instrumentação de barragens de terra e enrocamento tem ganhado destaque ao longo dos anos no mundo inteiro. No Brasil ela ganhou maior aplicação a partir da década de 1950 (SILVEIRA, 2006). A Segurança de barragens necessita de um acompanhamento mais rígido das condições das estruturas, principalmente

através da instalação de um adequado sistema de instrumentação, obtendo os dados mecânicos-hidráulicos, que estes aliados à interpretação adequada, fazem um papel fundamental no seu controle (PUC – Rio, 2014).

A interpretação dos dados da instrumentação é capaz de fornecer informações sobre a estrutura, que visualmente não tenha sido observadas, ou que seja de impossível detecção visual, neste sentido, durante a operação da barragem, quando instrumentada, um especialista deve avaliar os dados da instrumentação periodicamente, a fim de identificar anomalias, para realização de reparos (SILVEIRA, 2006).

Os principais dados a serem obtidos através da instrumentação são a poro pressão, nível d'água, vazões de percolação, deslocamentos, deformações, recalques e as tensões da estrutura. A instrumentação, isoladamente, às vezes não é eficaz. Porém em conjunto com a inspeção visual, funciona de forma satisfatória na prevenção de rupturas (OLIVEIRA, 2008).

Os principais instrumentos utilizados no monitoramento de barragens de terra são os piezômetros, marcos de deslocamento superficial, extensômetros, inclinômetros e calha do tipo Parshall. Se os dados obtidos dos instrumentos mostrarem a necessidade da realização de ações corretivas, estas devem se basear preferencialmente em planos previstos (SILVEIRA, 2006).

2.6 Manutenção de Barragens de Terra

A manutenção de barragens de terra é um processo essencial para a garantia de segurança e integridade desse tipo de estrutura. Por essas estruturas serem constituídas principalmente de materiais como, solos, argilas e enrocamentos, estão vulneráveis a problemas como erosões e infiltrações de água. A estrutura de uma barragem, assim como todas as outras estruturas presentes em todo o barramento, é projetada para durar e operar a longo prazo. Por isso é fundamental que a segurança e o desempenho sejam garantidos durante todo o intervalo de vida útil estabelecido para o barramento. A manutenção adequada dessas barragens é crucial para prevenir falhas e garantir a segurança das comunidades que vivem em áreas próximas.

As regras de manutenção, procedimentos, registros e responsabilidades, devem ser desenvolvidas e implementadas para assegurar que a barragem, juntamente com suas estruturas auxiliares e equipamentos necessários (inclusive instrumentação) para descarga de cheias, sejam mantidos em condições totalmente operacionais e seguras, pois são essenciais para a segurança da barragem (CERRI, REIS, GIORDANO, 2011).

Para barragens de terra, as estruturas em aterro necessitam de trabalhos de manutenção essencialmente direcionados ao controle de percolação e erosão a fim de se prevenir a deterioração do maciço e/ou fundação, bem como o desenvolvimento de caminhos preferenciais de percolação. Programas de manutenção periódica para estruturas em aterro devem incluir ainda, a manutenção regular da instrumentação, manutenção da crista e do rip-rap, o controle da vegetação e de tocas de animais, estabilização de taludes, manutenção dos sistemas de drenagem e a remoção de entulhos a montante, a fim de se garantir a segurança da estrutura (CERRI, REIS, GIORDANO, 2011).

Algumas práticas comuns para a manutenção da barragem devem constar:

i) inspeções regulares, para identificar quaisquer problemas, ii) monitoramentos contínuos, para detectar mudanças de comportamento das estruturas e iii) plano de emergência, que é de fundamental importância para os procedimentos para lidar com situações de risco e até mesmo de rompimentos.

2.7 Recuperação de Barragens de Terra

A recuperação de barragens de terra deve ser executada sempre que identificadas as anomalias que podem comprometer a estabilidade das estruturas e a segurança da população que vive em seu entorno. Com base em inspeções e leituras de instrumentação de auscultação.

Problemas como vegetações com raízes profundas, colônia de animais, erosões nos taludes de aterro, perda da proteção em enrocamento do talude de montante, deficiência no sistema de drenagem superficial acabam danificando toda a estrutura, necessitando então de medidas para a solução de tais problemas. Os processos de recuperação deverão seguir os Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas da Eletrobrás (2003). As diretrizes para projetos de barragens da

Eletrobrás indicam os tipos de obras a serem executados. Para os processos de recuperação de barragens de terra, seguem-se os mesmos critérios para a execução.

Nos Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas da Eletrobrás (2003) estão caracterizadas as seguintes definições: Tipos de barragens, como as barragens de terra. Escavações, com suas generalidades, tipos de escavação, procedimentos de projetos, projeto geotécnico e geométrico. Tratamentos de fundação, com suas generalidades, tratamentos superficiais e profundos. Instrumentação de auscultação, com suas generalidades, critérios de projeto de instrumentação, fases para projetos de instrumentação, critérios para estabelecimento de valores de controle, critérios de operação, processamento e análise dos dados e inspeções visuais “In Situ”.

3 MÉTODO

O método apresentado neste trabalho baseou-se em estudo de caso com levantamento de informações e dados através de ampla pesquisa bibliográfica em livros, artigos técnicos, arquivos digitais e solicitações junto a empresa responsável pelo projeto da barragem do estudo de caso.

A primeira etapa constituiu-se de leitura da literatura selecionada, especificamente relacionada a diretrizes sobre barragens de terra e a realização do levantamento do atual cenário sobre a segurança das barragens brasileiras, visando conhecer melhor as finalidades de uso e os problemas causados pelas anomalias que surgem nas estruturas que não passam pelas devidas manutenções.

A segunda etapa constituiu-se de identificação das anomalias encontradas no corpo da barragem de terra, baseando-se na ficha de inspeção de campo apresentada no Plano de Segurança de Barragens - PSB. (PNSB,2010). Neste caso específico não havia instrumentação de auscultação para completar a análise.

A etapa seguinte foi a proposição dos métodos para realização da manutenção e a recuperação da barragem que é estudo de caso deste trabalho.

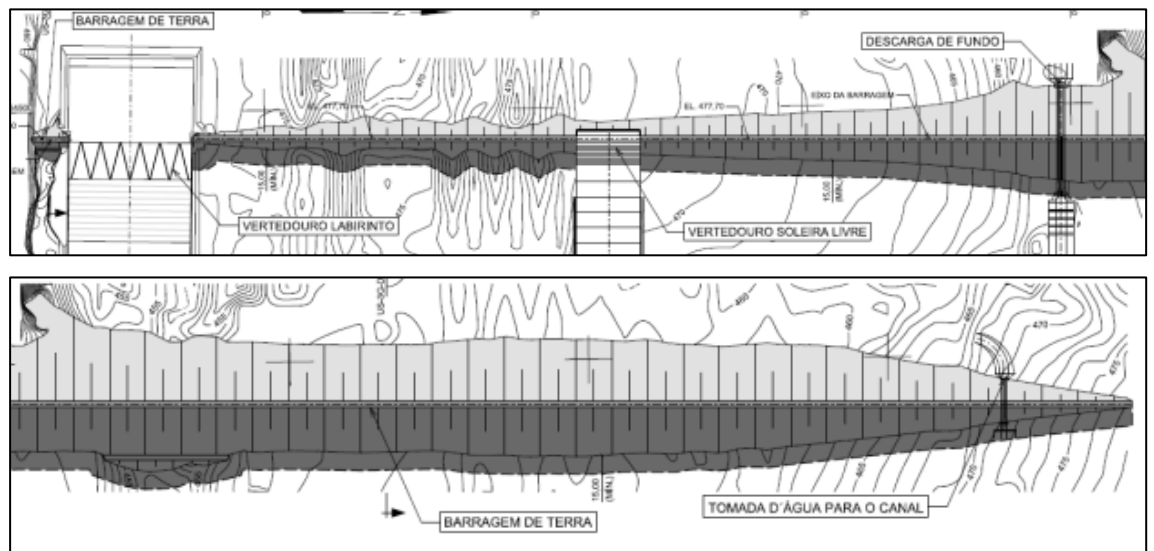
Cada uma das etapas seguem descritas nos subitens abaixo.

3.1 Caracterização das Estruturas da Barragem

Em linhas gerais o barramento é composto pela barragem de terra do tipo homogênea, dois vertedouros sendo um de soleira livre e outro do tipo labirinto que também é um tipo de vertedouro de soleira livre, uma descarga de fundo localizada próxima ao antigo leito natural do rio e uma tomada de água na ombreira direita que conduz para um canal de adução, conforme apresentado na Figura 4. A barragem apresenta uma extensão total de 1760 m, 5 metros de largura da crista e altura máxima de 33 m, sendo o ponto mais baixo situado próximo a antiga calha do rio, o volume total de aterro é da ordem de 1.150.000 m³, apresentado na Figura 5. A barragem se encontra no estado de Goiás e fica localizada na região hidrográfica do Araguaia e a Bacia hidrográfica é a do Rio Tocantins. Com base na seção típica da barragem de terra, verifica-se que é composta por um maciço de terra compactado e

apresenta uma zona central, núcleo, mais argiloso e espaldares de jusante e montante com inclinações de 1V:2,0H e 1V:2,5H, respectivamente. Seção composta com dispositivo de drenagem interna, sendo filtro vertical de areia, tapete drenante e dreno de pé. A seção típica da barragem é apresentada na Figura 6.

Figura 4 - Arranjo do Barramento.



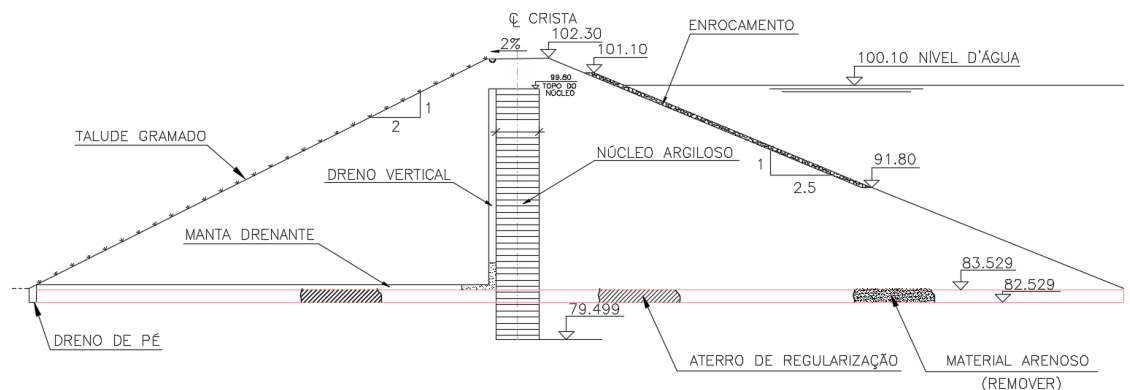
Fonte: Autor (2023).

Figura 5 - Barragem com a indicação da antiga calha do rio.



Fonte: Google Earth (2023).

Figura 6 - Seção Típica da Barragem de terra.



Fonte: Projeto Executivo (2000).

O projeto executivo apresenta cotas topográficas divergentes das cotas do levantamento topográfico realizado para o projeto de recuperação, uma vez que o projeto executivo foi elaborado com base em uma topografia com coordenadas locais arbitrárias e não com coordenadas georreferenciadas. A cota da crista da barragem no projeto executivo indica a elevação 102,30 e a cota real (altitude) da barragem está na elevação 477,50. Uma diferença de 375,20 para todas as cotas apresentadas na Figura 6.

3.2 Identificação das Anomalias

A barragem de terra estudo de caso desta pesquisa não é instrumentada de forma que possa fornecer dados que indiquem possíveis anomalias, então todas as anomalias apresentadas foram identificadas através de inspeção visual, registrada através de fotos, e de levantamento topográfico.

Durante a inspeção preencheu-se a ficha de inspeção, seguindo como modelo padrão a Ficha Para Inspeção Regular de Barragens de Terra da ANA, na qual são apresentados os dados gerais e condição atual da barragem, situação, magnitude e nível de perigo das anomalias reportadas. A ficha é dividida entre Infraestrutura Operacional, Barragem e Reservatório. O item da Barragem é subdividido entre Crista, Talude de Montante, Talude de Jusante e Instrumentação (ANA, 2020). Foi necessário contar com uma equipe de campo para auxiliar na coleta dos dados.

Apresentou-se esta ficha no Plano de Segurança de Barragem - PSB da barragem em questão. Ressalta-se que, por não possuir relatórios de vistorias anteriores à elaboração do PSB para efeito de preenchimento da ficha de inspeção foi considerada a vistoria apresentada neste trabalho como a primeira vistoria realizada nesta barragem. O PSB da barragem foi apresentado em sua versão final ao Estado de Goiás no ano de 2021, no qual a barragem foi classificada como de alto risco e dano potencial associado também alto.

Para cada estrutura inspecionada marcou-se a atual situação da mesma na ficha. Sendo as situações classificadas como: NA – Este item não é aplicável; NE – Anomalia não existente; PV – Anomalia constatada pela primeira vez; DS – Anomalia diminuiu; PC – Anomalia permaneceu constante; AU – Anomalia aumentou e NI – Este item não foi inspecionado. Também se preenche na ficha de inspeção a Magnitude da situação, sendo elas classificadas como: I – Insignificante; P – Pequena; M – Média e G – Grande. Além da Situação e da Magnitude, preenche-se também o Nível de Perigo (NP) que alterna entre os valores de 0 a 3, sendo estes classificados como: 0 – Nenhum; 1 – Atenção; 2 – Alerta e 3 – Emergência.

Tabela 2 – Ficha de Inspeção

DADOS GERAIS - CONDIÇÃO ATUAL:
1 - Barragem: Barragem no Estado de Goiás
2 - Coordenadas: Latitude: 14°41'40"e Longitude: 47°16'42"
3 - Município/Estado: Flores de Goiás / Goiás
4 - Vistoriado por: JS / AStM / VRdA
5 - Cargo: Engenheiro Mecânico / Engenheiros Civil
6 - Data da Vistoria: 19-21/07/2017 e 29-30/08/2017
7 - Cota atual do nível d'água: não informado
8 - Bacia: bacia hidrográfica do Rio Tocantins

SITUAÇÃO:
NA - Este item Não é Aplicável
NE - Anomalia Não Existente
PV - Anomalia constatada pela Primeira Vez
DS - Anomalia Desapareceu
DI - Anomalia Diminuiu
PC - Anomalia Permaneceu Constante
AU - Anomalia Aumentou
NI - Este item Não Foi Inspecionado

MAGNITUDE:
I - Insignificante
P - Pequena
M - Média
G - Grande

NÍVEL DE PERIGO: (NP)
0 - Nenhum
1 - Atenção
2 - Alerta
3 - Emergência

Com base no exposto anteriormente, as fichas foram preenchidas e são apresentadas na sequência.

A.	INFRAESTRUTURA OPERACIONAL	SITUAÇÃO									MAGNITUDE			NP
		NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Falta de documentação sobre a Barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
2	Falta de material para manutenção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
3	Falta de treinamento do pessoal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
4	Precariedade de acesso de veículos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
5	Falta de energia elétrica	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
6	Falta de sistema de comunicação eficiente	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
7	Falta ou deficiência de cercas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
9	Falta de acompanhamento da Adm. Regional	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
10	Falta de instrução dos equipamentos hidromecânicos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1

Comentários:

- Item 1: nem toda a documentação técnica está disponível e algumas estruturas sofreram alterações e intervenções ao longo dos anos (incidentes) e não estão devidamente registrados;
- Item 2: não foram identificados na oportunidade da visita materiais ou equipamentos destinados a manutenção da barragem;
- Item 3: não foi informado pelo operador se a equipe ou responsáveis pela operação da barragem passaram por algum treinamento específico;
- Item 4: o acesso da localidade mais próxima até a barragem e de 2,2km, pela ombreira direita, em via não pavimentada, em estado satisfatório de conservação;
- Item 5: Este item não foi avaliado. Não foram informados problemas relacionados ao fornecimento de energia e não se identificou grupo gerador auxiliar para a operação dos sistemas das comportas do descarregador de fundo e tomada de água. O fornecimento de energia é via CELG;
- Item 6: item não verificado durante a inspeção. Mas verificou-se que a comunicação via celular / telefone é precária na localidade de apoio;
- Item 7: A não ser pelas casas de comando das comportadas do descarregador de fundo e da tomada de água, que são cercadas, todas as demais dependências do barramento são de livre acesso;
- Item 8: verifica-se deficiência na identificação da barragem e de suas dependências;
- Item 10: não se verificou as regras de funcionamento dos hidromecânicos nas casas de comando do descarregador de fundo e da tomada de água.

B.	BARRAGEM	SITUAÇÃO									MAGNITUDE			NP
B.1	TALUDE DE MONTANTE	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
4	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
5	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
7	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
8	Deslocamento de blocos de rocha pelo efeito de ondas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2

Comentários:

- Item 1: foram observados processos erosivos significativos no talude de montante da barragem, notadamente acima da elevação 474,3 que não tem proteção com rip-rap e sofreu com processo erosivo das ondas;
- Item 2: Identificam-se escorregamentos ao longo de toda a montante da barragem. Boa parte destes escorregamentos está associada a não existência do enrocamento de proteção acima da elevação 474,30.
- Item 3: O projeto da barragem não previa proteção em enrocamento acima da elevação 474,30. Junto a essa elevação se verifica que os blocos de rocha se encontram deslocados e em alguns casos a proteção não existe mais.
- Item 4: Verifica-se a existência de afundamentos e buracos, subsidências, em alguns pontos junto à crista.
- Item 5: Verificou-se na inspeção a existência de vegetação de porte variado;
- Item 7: Existem formigueiros/cupinzeiros em toda a barragem, incluindo a montante;
- Item 8: Verifica-se o deslocamento de blocos de rocha pelo efeito de ondas.

B.2	CRISTA	SITUAÇÃO									MAGNITUDE			NP
		NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Fissuras longitudinais e transversais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
3	Falta de revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
4	Falha no revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
5	Desabamentos/afundamentos (recalques)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
7	Defeitos na drenagem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
8	Defeitos no meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
9	Formigueiro, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
10	Desalinhamento do meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
11	Depressões devido à falta de sobrelevação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-

Comentários:

- a) Item 1: Verificam-se erosões junto ao off-set do espaldar de montante devido a não existência de enrocamento de proteção;
Além disso a crista tem seu caimento para jusante, o que está facilitando o surgimento de processos erosivos junto ao off-set de jusante (o sistema de drenagem superficial está assoreado);
- b) Item 3 e 4: Não se verifica a existência de revestimento ou pavimento de crista.
- c) Item 5: Junto aos off-set's de jusante e montante;
Item 6: Verificou-se na inspeção a existência de vegetação de porte
- d) variado;
- e) item 7: A drenagem superficial se encontra danificada e assoreada. Parece que foi efetuada um alteamento da crista da barragem, que, associada à inclinação da crista, comprometeu todos os dispositivos;
- f) Item 9: Existem formigueiros/cupinzeiros em toda a barragem, incluindo a montante;

B.3	TALUDE DE JUSANTE	SITUAÇÃO									MAGNITUDE			NP
		NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
1	Erosões ou ravinamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
3	Fissuras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
4	Falha na proteção granular	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
5	Falha na proteção vegetal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
7	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
8	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
9	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
10	Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
11	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
12	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
13	Sinais de fuga de água ou áreas úmidas (surgências)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
14	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-

Comentários:

- a) Itens 1 e 2: Verifica-se a existência de vários pontos de erosão e ravinamento devido a deficiência do sistema de revestimento da proteção do espaldar de jusante;
- b) Item 5: A proteção em grama é praticamente inexistente;
- c) Item 7: Verificou-se na inspeção a existência de vegetação de porte variado;
- d) Item 10: Todo o sistema de drenagem superficial se encontra assoreado e/ou danificado;
- e) Item 11: Existem formigueiros/cupinzeiros em toda a barragem, incluindo a jusante;
- f) Item 12: Sinais de movimento do maciço da barragem não foram inspecionados por falta de instrumentação.
- g) Item 13: A jusante da barragem, verificou-se a existência de um ponto de surgência de água que pode ser oriunda da saída do sistema de drenagem superficial que se encontra assoreado.

B.4	INSTRUMENTAÇÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
2	Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
3	Marcos de recalque defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
4	Medidores de vazão defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
5	Falta de instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	2
6	Falta de registro de leituras da instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
Comentários:														
a) Item 5: não existe instrumentação de auscultação.														

G.	RESERVATÓRIO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Réguas danificadas ou faltando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
12	Falta Log Boom: Tomada d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
13	Log Boom danificado/ineficiente: Tomada d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
14	Danos nas estruturas de fixação do Log Boom: Tomada d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
15	Falta Log Boom: Vertedouro	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
16	Log Boom danificado/ineficiente: Vertedouro	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
17	Danos nas estruturas de fixação do Log Boom: Vertedouro	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	-
Comentários:														
a) Item 1: recomenda-se a manutenção das réguas e marcações.														
b) Existem Itens do reservatório que não foram analisados por não fazer parte do escopo do projeto, mas é sugerido que se faça necessário em análises futuras.														

Fonte: SEAPA Goiás - Plano de Segurança de Barragens. (2021)

3.3 Proposição das Ações corretivas

Para a elaboração das propostas de ações corretivas foi necessário realizar-se uma inspeção de campo nas estruturas apontadas no item 3 desta pesquisa, o que ocorreu juntamente com o levantamento topográfico planialtimétrico de toda a região do entorno do barramento. Este levantamento em conjunto com a inspeção de campo foi de suma importância para a caracterização de todas as anomalias existentes nas estruturas.

Ao longo da inspeção foram observadas anomalias na barragem de terra como vegetação com raízes profundas, colônia de animais, falhas no “rip-rap” de montante na drenagem superficial e a drenagem interna não pode ser adequadamente avaliada, pela ausência de instrumentação de auscultação, sendo restrita à observação de anomalias na sua saída a jusante, erosões e falta de instrumentação. A ficha apresenta as anomalias, mas não as quantifica. Desta forma, a elaboração dos projetos para as ações corretivas foram desenvolvidos para atender toda a estrutura. Tais anomalias deverão ser recuperadas, sem a necessidade de

intervenção imediata, indicando-se sua realização após a conclusão de todos os projetos, garantindo assim a segurança de todas as estruturas do barramento. A seguir descreve-se o encontrado em campo e as recuperações a serem realizadas.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir dos projetos elaborados para as ações corretivas sugeridas no capítulo anterior. Estas ações serão abordadas pelo tipo de trabalho

4.1 Anomalias encontradas

Ao longo da inspeção observou-se anomalias na barragem de terra como:

1. vegetação com raízes profundas,
2. problemas no “rip-rap” de montante,
3. erosões,
4. falhas na drenagem superficial,
5. problemas na saída da drenagem interna,
6. falta de instrumentação;
7. presença de colônia de animais.

4.1.1 Vegetação com raízes profundas

Identificou-se a presença de vegetação excessiva, como pequenas árvores e arbustos sobre o corpo da barragem de terra, como pode ser observado nas Figuras 7, 8, 9 e 10. Esse tipo de vegetação acaba dificultando a visibilidade para a identificação de outras anomalias e pode contribuir para a redução de resistência do solo, acelerando processos erosivos.

Figura 7 - Incidência de vegetação próxima a saída da drenagem superficial.



Fonte: Autor (2023).

Figura 8 - Talude de jusante com a incidência de arbustos.



Fonte: Autor (2023).

Figura 9 - Talude de montante com vegetação excessiva.



Fonte: Autor (2023).

Figura 10 - Crista e talude de montante com vegetação excessiva.



Fonte: Autor (2023).

Este mesmo problema também foi notificado por Oliveira (2008), que alerta sobre a importância de impedir o desenvolvimento deste tipo de vegetação sobre as estruturas da barragem, pois elas impedem a visualização de anomalias, dificulta o acesso às estruturas da barragem, prejudica o sistema de drenagem e gera caminhos preferencias para percolação devido às raízes profundas.

Originalmente a proteção superficial para o espaldar de jusante era feita por plantio de grama, mas a barragem encontra-se de forma não contínua com esta cobertura, deixando trechos significativos do talude desprotegidos. Essa deficiência de proteção deixou o espaldar sujeito a intempéries que provocaram ravinamentos superficiais, alguns profundos, ao longo de toda extensão do barramento. Essa condição é agravada pela obstrução da drenagem junto à crista fazendo com que as águas superficiais escoem pelo talude de forma não controlada.

4.1.2 Proteção de enrocamento ou “rip-rap”

No paramento de montante da barragem de terra era prevista uma proteção de enrocamento ou “rip-rap”. Esta proteção normalmente é formada por duas camadas, onde a camada externa é de rochas de dimensões maiores para proteger o talude principalmente da força das ondas e por uma camada interna de rochas de dimensões menores que tem a função de evitar que a água que passa pela camada externa carregue partículas do solo do talude.

O talude encontra-se com trechos desprotegidos, com excesso de vegetação e com erosões aparentes nesses trechos. O “rip-rap” sofreu movimentações e diminuição da espessura da camada de proteção, provavelmente devido à ação das ondas ou disposição inadequada das rochas durante sua construção. A situação do espaldar de montante é apresentada nas Figuras 11, 12 e 13.

Figura 11 - Talude de montante da barragem de terra desprotegido.



Fonte: Autor (2023).

Figura 12 - Talude de montante da barragem de terra desprotegido.



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Talude de montante da barragem de terra com falhas do “rip-rap”.



Fonte: Autor (2023).

4.1.3 Erosão

Este tipo de anomalia encontra-se presente em diversas partes da barragem, tanto no espaldar de montante como no de jusante. Também foram identificadas erosões nos taludes dos canais de aproximação e restituição do vertedouro labirinto na margem direita, como apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Talude do canal de restituição do vertedouro labirinto.



Fonte: Autor (2023).

O espaldar de montante apresenta a maioria das erosões em áreas entre a crista da barragem e o trecho de proteção de “*rip-rap*”. Esse trecho corresponde ao trecho desprotegido do talude, ficando exposto e mais suscetível a esse tipo de anomalia. A Figura 15 apresenta a erosão no talude de montante.

Figura 15 - Talude de montante da barragem de terra com erosão.



Fonte: Autor (2023).

No espaldar de jusante, a maioria das incidências de erosões encontra-se próximo às descidas em escada da drenagem superficial. A ineficiência do sistema de drenagem e a falta de proteção no talude dão origem a esse tipo de anomalia, uma vez que as águas pluviais descem pelo talude de forma descontrolada, surgindo assim as erosões. Nas figuras 16 e 17 são apresentadas as erosões no talude de jusante.

Figura 16 - Talude de jusante da barragem de terra com início de erosão.



Fonte: Autor (2023).

Figura 17 - Talude de jusante da barragem de terra com erosão.

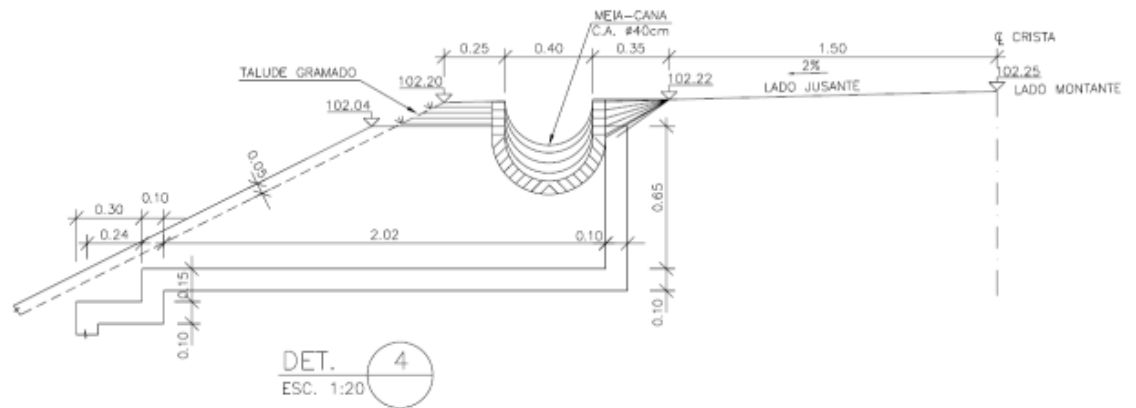


Fonte: Autor (2023).

4.1.4 Drenagem Superficial

A drenagem superficial prevista no projeto executivo era composta por canaletas do tipo meia-cana ao longo de toda a crista da barragem e descidas em escadas espaçadas a cada 80 metros uma descida da outra. Identificou-se em campo que a crista apresenta ravinamentos junto aos *off-set's* de montante e jusante não sendo possível a visualização do sistema de drenagem superficial, estando o mesmo enterrado e as descidas em escadas com ocorrência de assoreamento, tornado assim o sistema de drenagem ineficiente ou mesmo inoperante em alguns casos. A crista da barragem deveria possuir inclinação única de 2% na direção do talude de jusante, direcionando as águas da chuva para as canaletas, mas o observado em campo é que a crista apresenta inclinações variadas tanto para montante quanto para jusante. Na figura 18 é apresentado o detalhe típico do sistema de drenagem superficial do projeto executivo da barragem, com a canaleta do tipo meia-cana e a descida em escada. Já na figura 19 é apresentada a crista da barragem sem a devida canaleta meia-cana.

Figura 18 - Detalhe típico do sistema de drenagem superficial.



Fonte: Projeto Executivo (2000).

Figura 19 - Crista da barragem de terra sem sistema de drenagem superficial.



Fonte: Autor (2023).

Além de apresentar desgastes naturais, por conta da ação do tempo, as descidas em escadas apresentam também assoreamento em alguns degraus e a possível causa para os problemas de assoreamento das escadas, Figura 20, é o fato de não mais existirem as canaletas na crista da barragem, isso faz com que as águas pluviais desçam de forma descontrolada carreando material da barragem ao longo dos degraus. Além do assoreamento nas escadas, essa também é a provável causa das erosões em todo o espaldar.

Figura 20 - Descida em escada com degraus apresentando assoreamento.



Fonte: Autor (2023).

A falta de proteção do talude, a vegetação com raízes profundas, erosão lateral, deslizamentos, quando associados à degradação natural do concreto e ao

escoamento da água ao longo do tempo, são os fatores prováveis que tenham dado origem a essas anomalias no sistema de drenagem.

4.1.5 Drenagem Interna

Durante a inspeção não se observou nenhuma surgência de água ou ponto de umidade no paramento de jusante ou imediatamente a jusante do barramento (vala de drenagem) indicando que o sistema de drenagem interno está funcionando corretamente. Na mesma oportunidade verificou-se uma surgência de água junto à antiga calha do rio, o entendimento é que esse ponto possa ser a saída de drenagem prevista, indicada nos desenhos do projeto executivo. Na Figura 21 é possível observar o ponto de surgência de água.

Figura 21 - Surgência de água junto à antiga calha do rio.



Fonte: Autor (2023).

O dreno de pé da barragem encontra-se com erosões e assoreado provavelmente por material oriundo da ação das erosões e deslizamentos do espaldar de jusante. A obstrução de um dreno de pé pode dificultar o escoamento da água percolada, favorecendo a saturação do talude e o surgimento do *piping*, prejudicando a estabilidade do talude. Causa também o aumento da pressão neutra, que pode levar

ao rompimento da barragem de terra. Na figura 22 é apresentado o dreno de pé erodido e assoreado.

Figura 22 - Dreno de pé erodido.



Fonte: Autor (2023).

4.1.6 Colônia de Animais

Durante a inspeção de campo foi possível a identificação de colônia de animais. Diversos cupinzeiros foram verificados em campo, esses cupinzeiros se tornam um grande problema quando ganham grandes proporções, pois podem diminuir o caminho das percolações, facilitando assim a saturação e deterioramento do sistema de drenagem interna. Na Figura 23 é apresentado um exemplo de cupinzeiro identificado em campo.

Figura 23 - Cupinzeiro identificado em campo.



Fonte: Autor (2023).

4.2 Ações corretivas propostas

Com base nas anomalias encontradas apresenta-se na tabela 3 as ações corretivas para cada região do barramento.

Tabela 3 - Sugestões de Ações corretivas das anomalias encontradas.

Área inspecionada	Anomalias mapeadas	Sugestões de Ações corretivas
Talude de Montante	<ul style="list-style-type: none"> a. Processos de erosão superficial; b. Deslocamento dos blocos de rocha do “rip-rap”; c. Inexistência do “rip-rap” acima do nível do reservatório; d. Vegetação de tamanhos variados; e. Existência de cupinzeiros. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Recuperação das erosões superficiais e recuperação com solo, solo cimento ou sacaria de solo cimento; b. Recomposição dos blocos de rochas da proteção. c. Executar a proteção do “rip-rap” até a cota da crista da barragem; d. Remoção de todos os arbustos e pequenas árvores existentes; e. Remoção de todas os cupinzeiros existentes; f. Execução da proteção do talude com Geocélulas, como alternativa ao <i>rip-rap</i>.
Crista da barragem	<ul style="list-style-type: none"> a. Erosões junto ao “off-set” de montante e jusante; b. Ausência de revestimento ou pavimento; c. Drenagem superficial danificada ou inexistente; d. Vegetação de tamanhos variados; e. Existência de cupinzeiros. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Recuperação das erosões superficiais e recuperação com solo, solo cimento ou sacaria de solo cimento; b. Execução da pavimentação da crista e correção da declividade; c. Recuperar e executar a drenagem superficial; d. Remoção de todos os arbustos e pequenas árvores existentes; e. Remoção de todas os cupinzeiros existentes.
Talude de Jusante	<ul style="list-style-type: none"> a. Processos de erosão superficial; b. Deficiência da proteção do espaldar; c. Drenagem superficial assoreada e/ou inexistente; d. Vegetação de tamanhos variados; e. Existência de cupinzeiros. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Recuperação das erosões superficiais e recuperação com solo, solo cimento ou sacaria de solo cimento; b. Recomposição da proteção vegetal nos taludes; c. Recuperação da drenagem existente e execução de novos dispositivos; d. Remoção de todos os arbustos e pequenas árvores existentes; e. Remoção de todas os cupinzeiros existentes; f. Execução da proteção do talude com Geocélulas, como alternativa ao <i>rip-rap</i>.
Reservatório	<ul style="list-style-type: none"> a. Régua de nível danificada. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Manutenção das régua e marcações.
Instrumentação	<ul style="list-style-type: none"> a. Falta de instrumentação 	<ul style="list-style-type: none"> a. Execução de instrumentação de auscultação.
Drenagem interna	<ul style="list-style-type: none"> a. Surgência de água a jusante do pé da barragem. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Levantamento mais preciso da área para se ter certeza se se trata da saída da drenagem interna.

Fonte: Autor (2023)

Dentre as anomalias encontradas agrupou-se os serviços a serem executados para manutenção da barragem de terra em: terraplenagem, drenagem interna, drenagem superficial e instrumentação. Nos subitens que seguem são descritos estes serviços

4.3 Terraplenagem

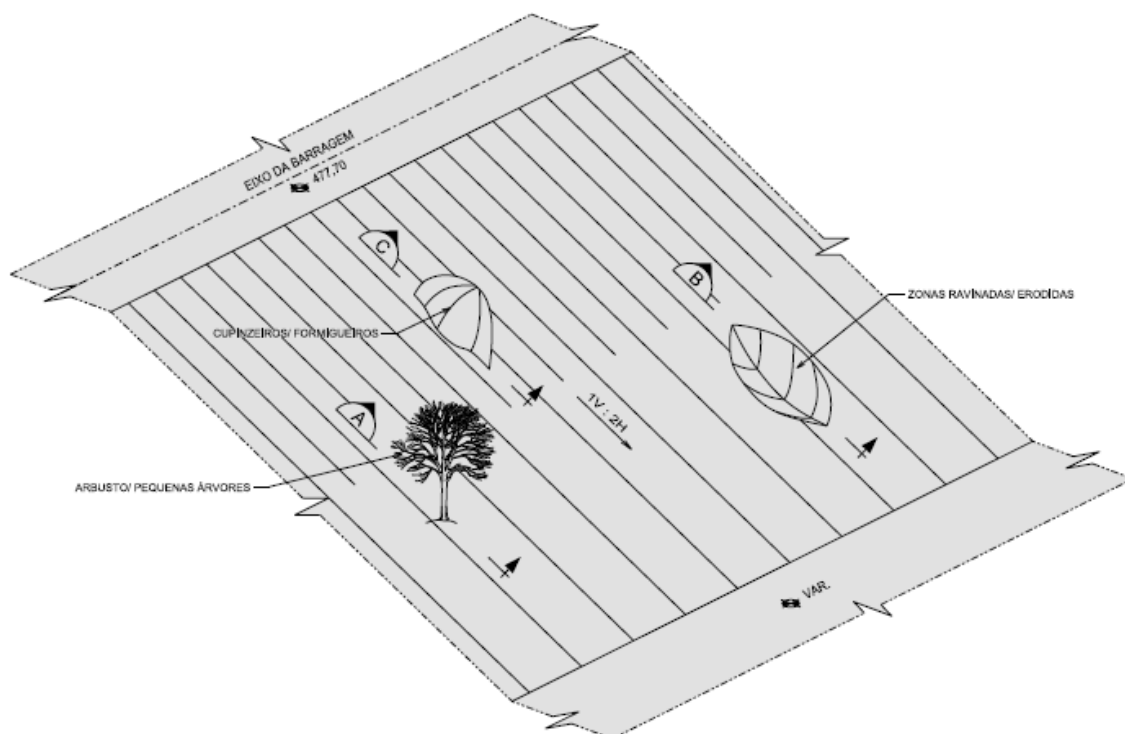
Os serviços de terraplanagem consistem na recuperação da crista e dos taludes, montante e jusante, da barragem onde apresentam problemas de erosões.

4.3.1 Preparo e Recuperação dos Taludes

Para o desenvolvimento da terraplenagem será necessário à execução de cortes em solo bem como a reconstrução dos aterros nos taludes de montante e jusante e também da crista da barragem, por estes apresentarem diversos pontos com erosões e outras anomalias. Na construção dos aterros deverão ser utilizados apenas materiais com características adequadas ao exigido para este tipo de serviço.

Com base na inspeção de campo foi possível a identificação de algumas anomalias no maciço da barragem de terra. Estas anomalias identificadas foram: colônia de animais, existência de arbustos/pequenas árvores ao longo dos espaldares e crista e zonas ravinadas e/ou erodidas e que deverão ser mitigadas previamente à instalação das proteções definitivas em geocélulas. O sistema de geocélulas pode ser definido como um produto com estrutura tridimensional aberta, ou seja, constituída de células interligadas, que confinam mecanicamente os materiais nela inseridos, esse sistema permite diversas vantagens técnicas e econômicas quando comparadas com as soluções consideradas como convencionais.

Figura 24 - Anomalias identificadas na estrutura da barragem.



Fonte: Autor (2023).

Para a preparação/reparação de cada uma dessas regiões é definida uma sequência de ações que deve ser seguida conforme apresentado a seguir.

4.3.1.1 Região do Talude de Jusante

Na região do espaldar de jusante e por no mínimo 15 m além do “*off-set*” de jusante da barragem deverão ser executados os seguintes serviços:

- a) Supressão vegetal: deverá ser removida toda a vegetação do porte de arbusto a pequenas árvores. No caso da vegetação de maior porte deve-se atentar para a remoção das raízes que deixarão vazios e que deverão ser preenchidos com solo compactado ou solo-cimento;
- b) Remoção de colônias de animais: deverão ser removidas todas as colônias identificadas. Deve-se atentar para a existência ou não de vazios e/ou material fofo abaixo do nível do *off-set*;
- c) Toda e qualquer região que apresentar material fofo deverá ser objeto de remoção e substituição por material adequado e compactado;

- d) Os pontos que apresentarem erosões profundas deverão ser objeto de recomposição com solo cimento ou sacaria de solo;
- e) Deverá ser removido todo e qualquer material acumulado junto ao *off-set* de jusante oriundo de processo erosivo do talude de jusante;
- f) Deverão ser desobstruídos, limpos e recuperados todos os dispositivos de drenagem superficial;
- g) Deverá haver um cuidado especial na remoção de arbustos e pequenas árvores junto ao sistema de drenagem interna da barragem. As raízes da vegetação podem ter penetrado no sistema de drenagem e nesses casos a drenagem interna deverá ser recomposta respeitando-se os conceitos e premissas do projeto executivo.

4.3.1.2 Região da Crista

Na região da crista da barragem deverão ser executados os seguintes serviços:

- a) Supressão vegetal: deverá ser removida toda a vegetação do porte de arbusto a pequenas árvores. No caso da vegetação de maior porte deve-se atentar para a remoção das raízes que deixarão vazios e que deverão ser preenchidos com solo compactado ou solo-cimento;
- b) Remoção de colônias de animais: deverão ser removidas todas as colônias identificadas. Deve-se atentar para a existência ou não de vazios e/ou material fofo abaixo do nível do *off-set*;
- c) Toda e qualquer região que apresentar material fofo deverá ser objeto de remoção e substituição por material adequado e compactado;
- d) Os pontos que apresentarem erosões profundas deverão ser objeto de recomposição com solo cimento ou sacaria de solo;
- e) O corpo do aterro na região da crista deverá ser recomposto em termos de elevação e a plataforma deverá ter sua inclinação corrigida conforme indicado em projeto;
- f) Deverão ser desobstruídos e limpos todos os dispositivos de drenagem superficial.

4.3.1.3 Região do Talude de Montante

Na região do espaldar de montante da barragem deverão ser executados os seguintes serviços:

- a) Supressão vegetal: deverá ser removida toda a vegetação do porte de arbusto a pequenas árvores. No caso da vegetação de maior porte deve-se atentar para a remoção das raízes que deixarão vazios e que deverão ser preenchidos com solo compactado ou solo-cimento;
- b) Remoção de colônias de animais: deverão ser removidas todas as colônias identificadas. Deve-se atentar para a existência ou não de vazios e/ou material fofo abaixo do nível do *off-set*;
- c) Toda e qualquer região que apresentar material fofo deverá ser objeto de remoção e substituição por material adequado e compactado;
- d) Os pontos que apresentarem erosões profundas deverão ser objeto de recomposição com solo cimento ou sacaria de solo;
- e) A região com proteção de enrocamento que apresentar falhas ou ausência de proteção, abaixo da elevação do Nível d'Água Normal, deverá ser recomposta com material adequado.

4.3.1.4 Tratamentos Previstos

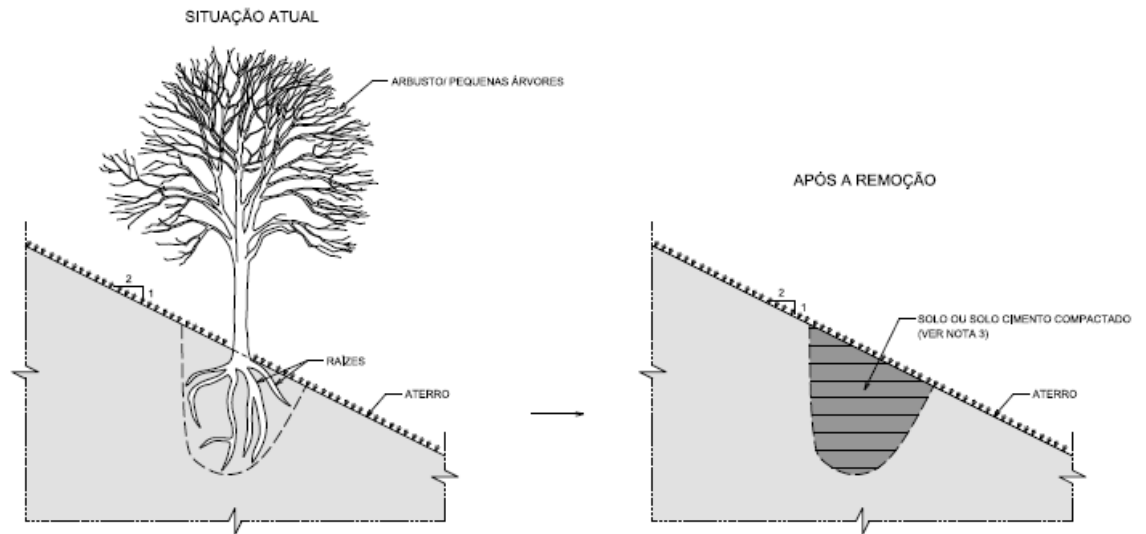
Os tratamentos previstos nos Itens anteriores deverão respeitar as seguintes premissas:

Remoção e/ou Supressão Vegetal de Arbusto e Pequenas Árvores

A sequência para a remoção e/ou supressão deverá seguir:

- a) Remover o arbusto/árvore de forma cuidadosa, devendo-se garantir a remoção das raízes;
- b) Previamente a recomposição dos vazios deve-se executar a remoção dos materiais soltos e aspergir água para evitar a perda de umidade do material de substituição para o remanescente do aterro;
- c) O Material de substituição (solo ou solo cimento) deverá ser compactado em camadas com espessura máxima (10 cm - compactador manual / 15 cm - compactador mecânico) até o completo preenchimento do vazio.

Figura 25 - Remoção/Supressão de arbustos/pequenas árvores.



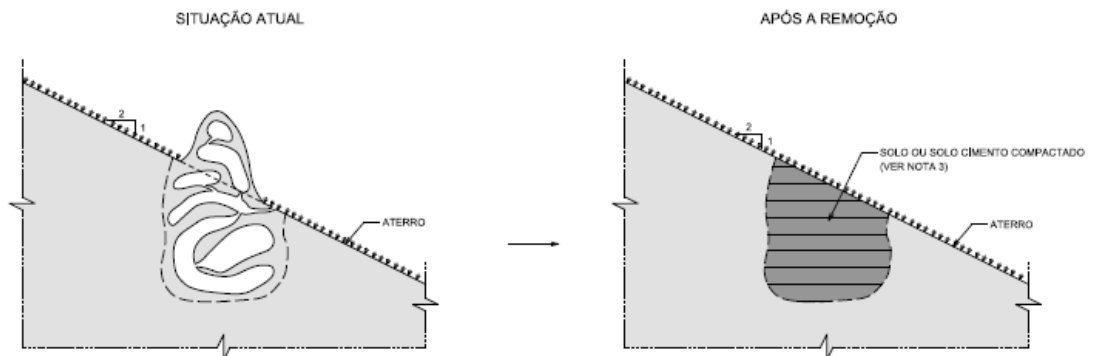
Fonte: Autor (2023).

Remoção de “Cupinzeiros” e/ou “Formigueiros”

A sequência para a remoção de colônias de animais deverá seguir:

- Remover toda a colônia tomando-se o cuidado/garantia de remoção de toda a parte que se situa abaixo do nível do terreno;
- Previamente à recomposição dos vazios deve-se executar a remoção dos materiais soltos e aspergir água para evitar a perda de umidade do material de substituição para o remanescente do aterro;
- O material de substituição (solo ou solo cimento) deverá ser compactado em camadas com espessura máxima (10 cm - compactador manual / 15 cm - compactador mecânico) até o completo preenchimento do vazio.

Figura 26 - Remoção de colônias de animais.



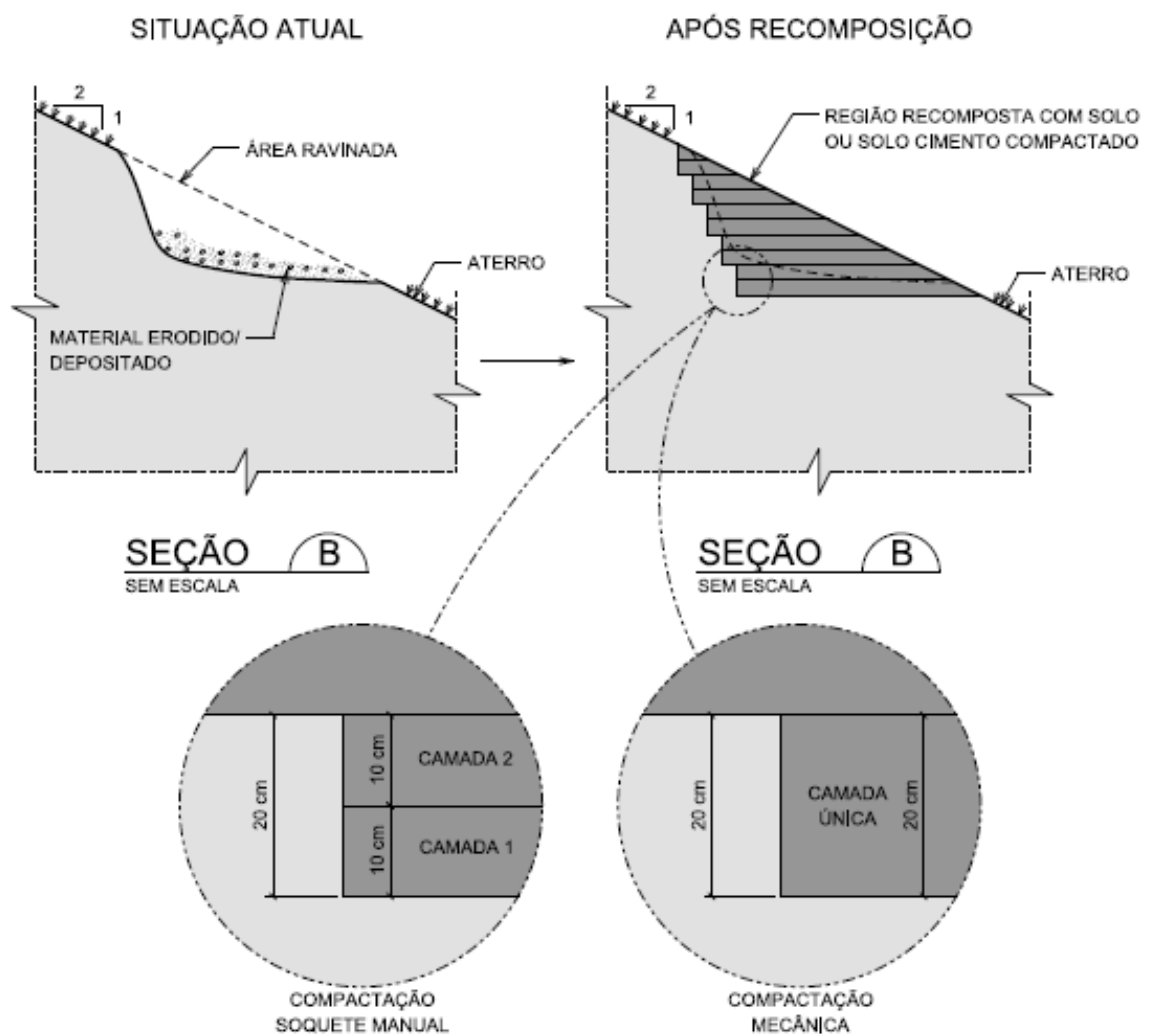
Fonte: Autor (2023).

Recomposição com Solo, Solo Cimento ou Sacaria de Solo-Cimento”

A sequência para a recomposição com solo ou solo cimento deverá seguir:

- Remoção e limpeza do recinto a ser recomposto eliminando todo o material erodido/depositado;
- Aspergir água no maciço terroso de forma a corrigir a umidade;
- Executar o preenchimento do vazio seguindo as premissas e recomendações de projeto.

Figura 27 - Recomposição com solo ou solo cimento.



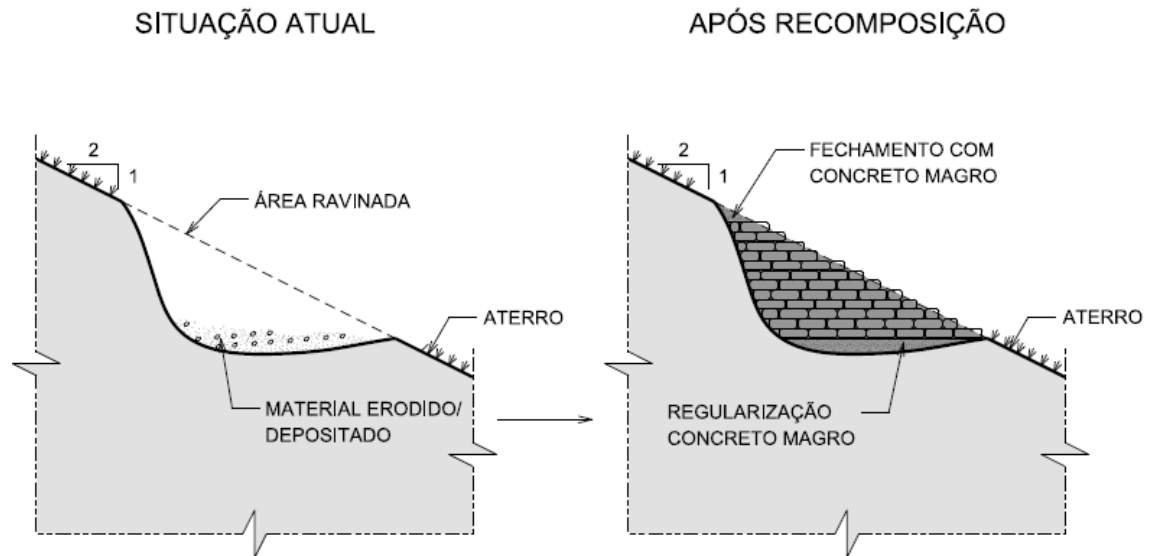
Fonte: Autor (2023).

A sequência para a recomposição com sacaria de solo cimento deverá seguir:

- Remoção e limpeza do recinto a ser recomposto eliminando todo o material erodido/depositado;

- b) Executar regularização com concreto magro, traço 1:4:8, de regularização (emínimo=5 cm);
- c) Executar recomposição com sacaria de solo cimento seguindo as premissas e recomendações de projeto;
- d) Executar o fechamento junto à crista da recomposição com concreto magro.

Figura 28 - Recomposição com sacaria de solo cimento.



Fonte: Autor (2023).

4.3.2 Proteção dos Taludes com Geocélulas

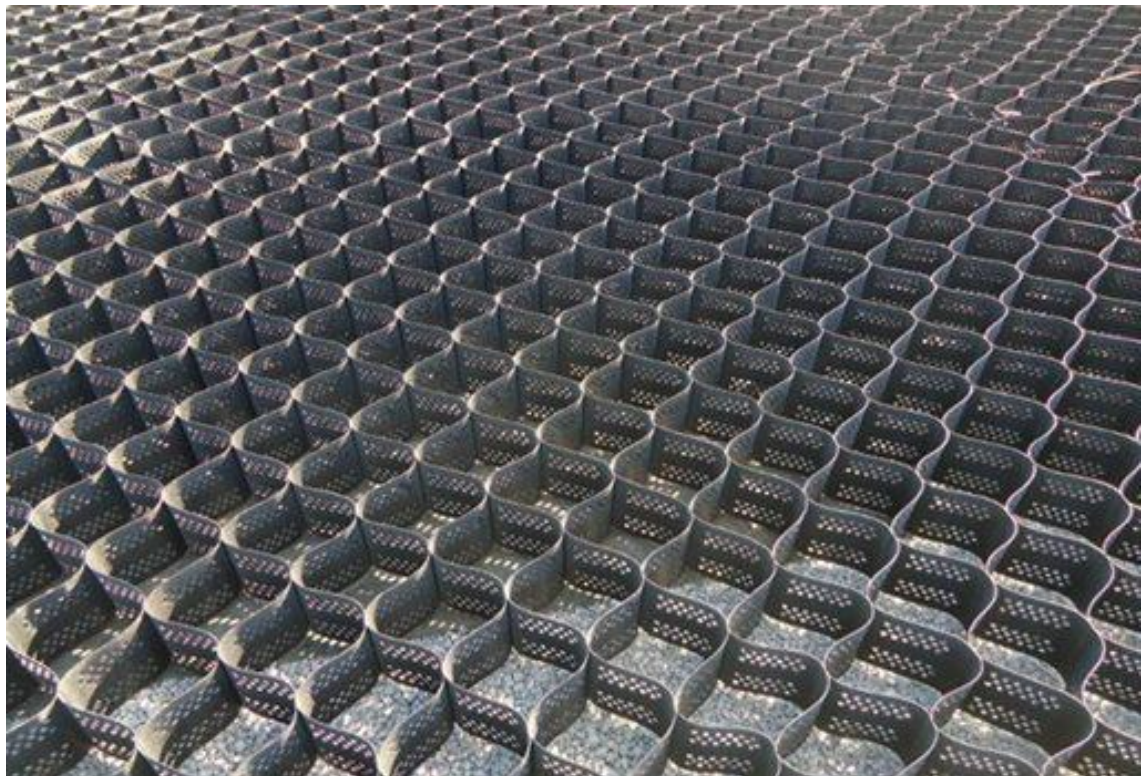
Neste caso específico adotou-se a proteção dos taludes em geocélulas para evitar o surgimento das anomalias em um curto espaço de tempo. Esse sistema oferece diversas vantagens no seu uso para proteção e controle de erosão em relação a outras soluções consideradas como convencionais, podendo citar tais vantagens como: oferta de proteção permanente, elevado confinamento do material de preenchimento, possibilidade de emprego do solo local, material de elevada durabilidade e diferentes opções do material de preenchimento como areia, material granular e concreto.

Após feita a recomposição dos taludes, montante e jusante, deverá ser executada a proteção dos taludes e essa proteção será feita com a instalação de geocélulas. No talude de montante, a proteção será da crista da barragem até a cota

do enrocamento de proteção do reservatório. Já no talude de jusante a proteção deverá ser feita em todo o talude exposto. Essa proteção servirá para evitar problemas como erosões, crescimento de arbustos e/ou pequenas árvores e surgimento de colônias de animais.

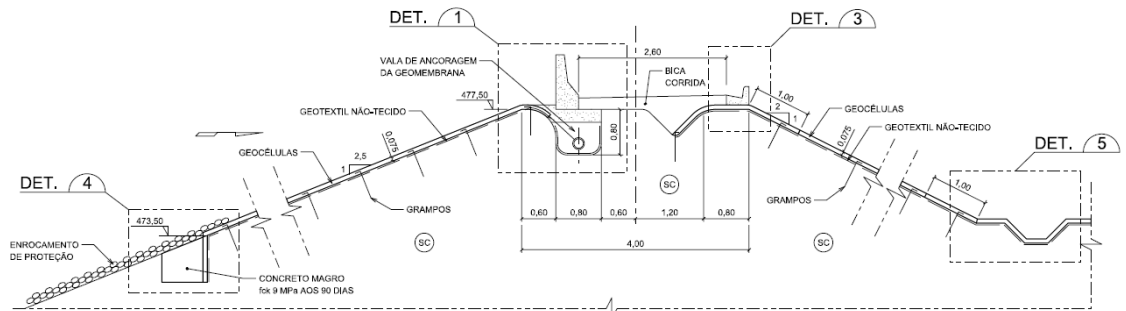
As geocélulas são um sistema de confinamento celular, tridimensional e flexível, cujas paredes são constituídas por tiras, geralmente, polímeros de alta densidade (PEAD), com superfícies rugosas e unidas entre si por soldas que pode ser utilizada em substituição ao revestimento com grama. A função de confinamento celular impede o espalhamento do material de preenchimento quando submetido a ações do vento e da água.

Figura 29 - Geocélulas.



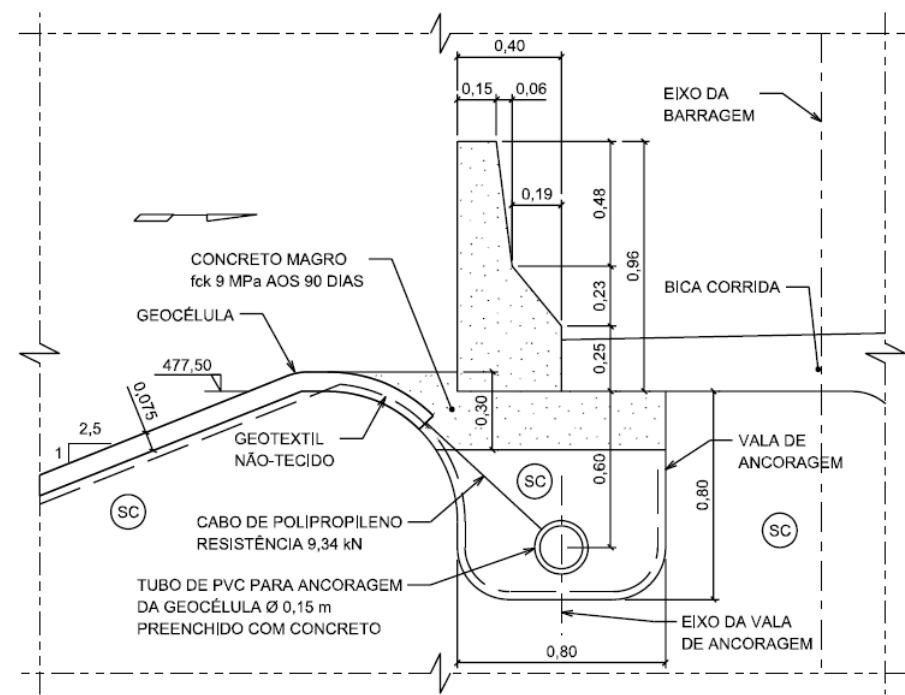
Fonte: Site Geosul – Disponível em <<https://geosul.eng.br/geocelula/>> Acesso em 21/05/23.

Figura 30 - Detalhe típico da crista da barragem - instalação das geocélulas.



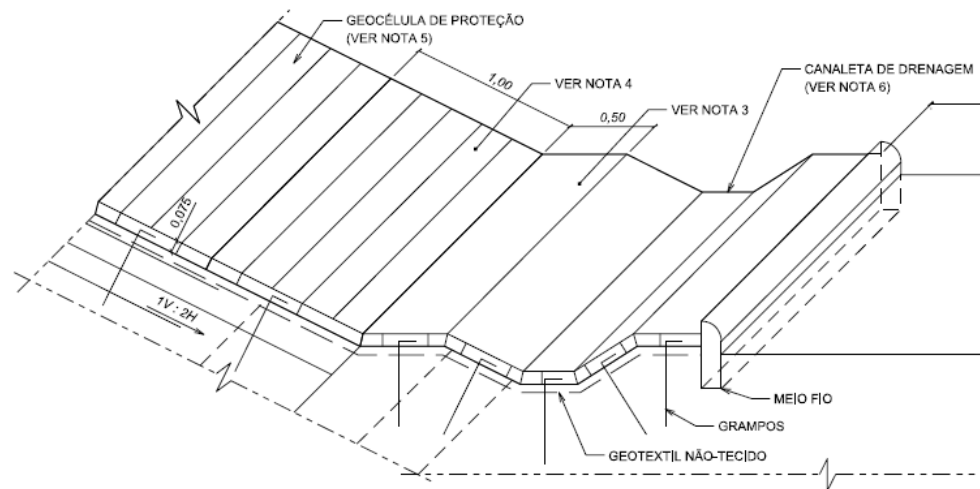
Fonte: Autor (2023).

Figura 31 - Detalhe da vala para fixação das geocélulas na crista.



Fonte: Autor (2023).

Figura 34 - Detalhe da fixação das geocélulas de jusante no pé da barragem.

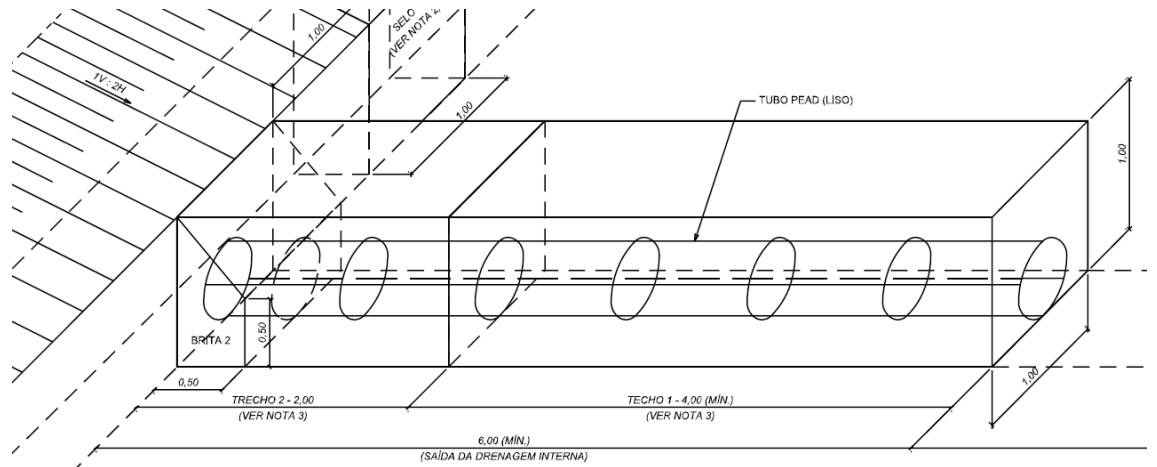


Fonte: Autor (2023).

4.4 Drenagem Interna

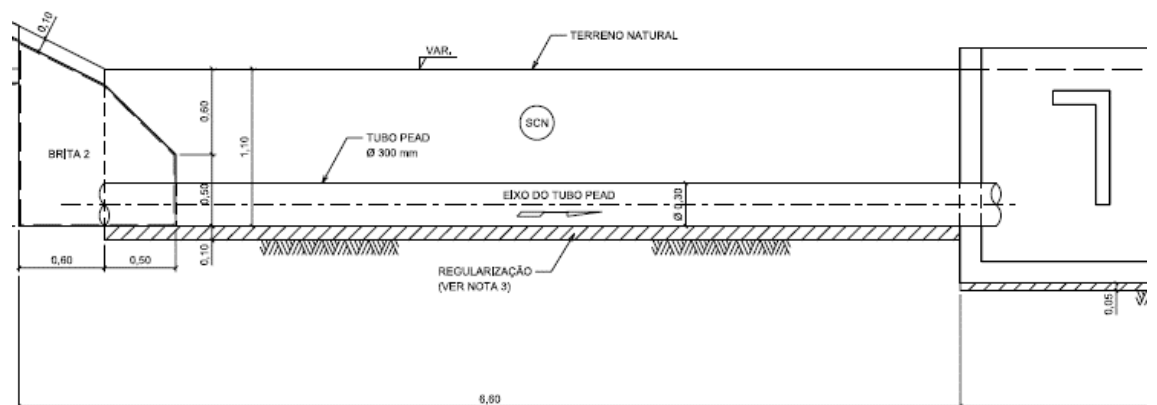
Assim como as escavações e aterros, também deverá ser feita a recuperação das saídas da drenagem interna da barragem incluindo sistema de condução da água captada para os medidores de vazão. A ligação da drenagem interna com os medidores de vazão se fará através de trincheiras escavadas ao pé da barragem, canalizando toda a vazão para os pontos dos medidores, que devem se encontrar, preferencialmente, em pontos mais baixos da topografia, facilitando o fluxo. Estas valetas serão escavadas em solo, com largura de 1,00 m e altura variada. As paredes das valas deverão ser revestidas com manta geotêxtil não-tecido e, para a instalação da manta, deverão ser seguidas todas as recomendações do fabricante. Ao centro das valetas deverá ser instalado tubo de PEAD, seguindo os alinhamentos e declividades estabelecidos em projeto, devendo ser verificados por controle topográfico. E a finalização da valeta será com o preenchimento de material granular, compactado em camadas de no máximo 30,0 cm, densificados com equipamentos leves, sendo estes, sapo mecânico ou placa vibratória.

Figura 35 - Saída da drenagem interna – Vista em perspectiva.



Fonte: Autor (2023).

Figura 36 - Saída da drenagem interna – Seção típica.



Fonte: Autor (2023).

4.5 Drenagem Superficial

O sistema de drenagem superficial tem por função eliminar o excesso de água acumulada na superfície do solo e esse sistema consiste na execução de valas, canais, descidas em escadas, bueiros tubulares, caixas de passagem, entre outros tipos de dispositivos, para o escoamento do excesso de água. Este excesso pode ser provocado por chuvas intensas e também por baixa taxa de infiltração de água no solo.

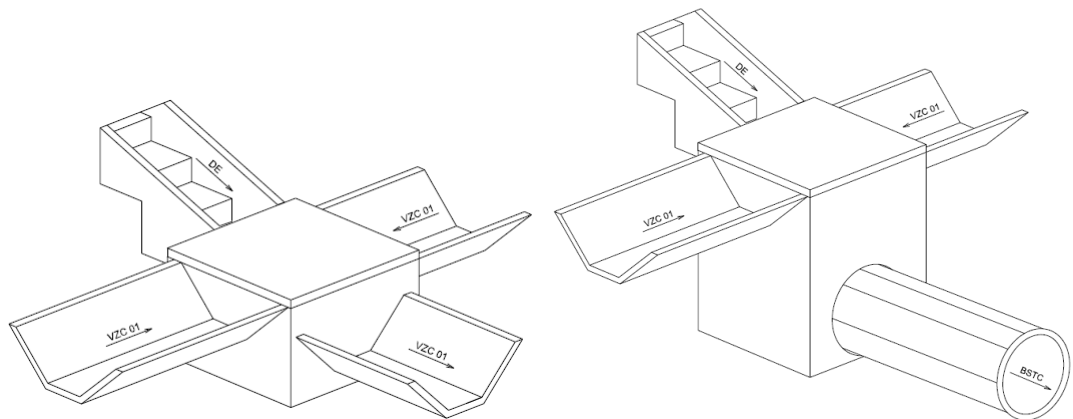
A drenagem superficial existente na barragem é composta por valetas instaladas na crista e descidas em degraus no talude de jusante, ao todo são 20

descidas em degraus ao longo de toda a estrutura, distante 80,0 m uma descida da outra.

Novos dispositivos deverão ser instalados em toda a estrutura da barragem para atenderem às vazões de todas as áreas de influência, e são eles:

- Bueiro Tubular: os bueiros deverão ser instalados para transpor os acessos existentes;
- Caixas de Passagem: as caixas de passagem serão instaladas onde haverá mudança de dispositivos ou mudanças de direção;

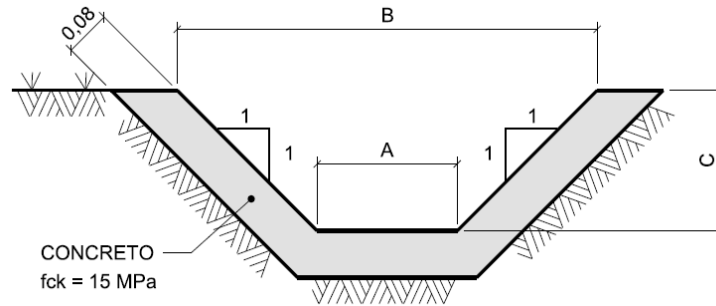
Figura 37 - Drenagem superficial – Caixas de passagem.



Fonte: Autor (2023).

- Canaletas: as canaletas serão instaladas próximas ao pé da barragem, em toda sua extensão;

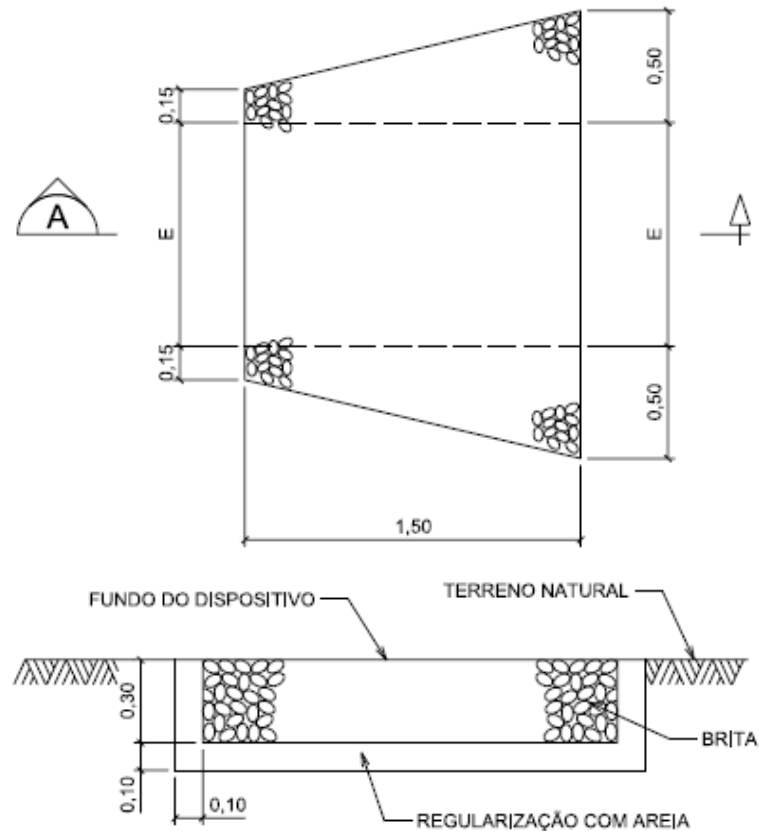
Figura 38 - Drenagem superficial – Canaleta.



Fonte: Autor (2023).

- Dissipadores de Energia: os dissipadores de energia serão instalados no ponto final dos dispositivos, sendo estes valetas ou bueiros;

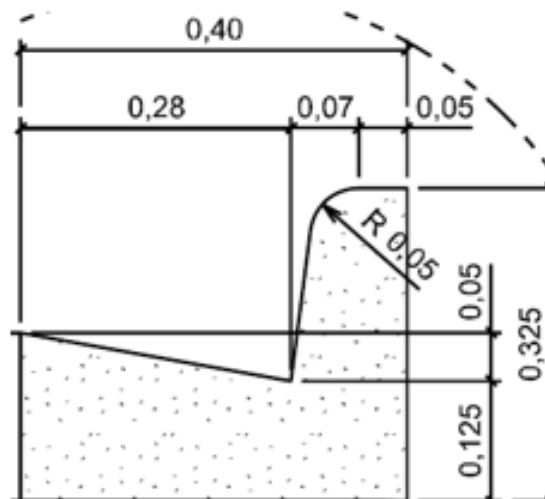
Figura 39 - Drenagem superficial – Dissipador de energia.



Fonte: Autor (2023).

- Meio Fio: o meio fio deverá ser instalado na crista da barragem em toda a sua extensão, garantindo assim que a água não escoe livremente para os taludes e serve para direcionar a água para a descida em escada mais próxima.

Figura 40 - Drenagem superficial – Meio fio.



Fonte: Autor (2023).

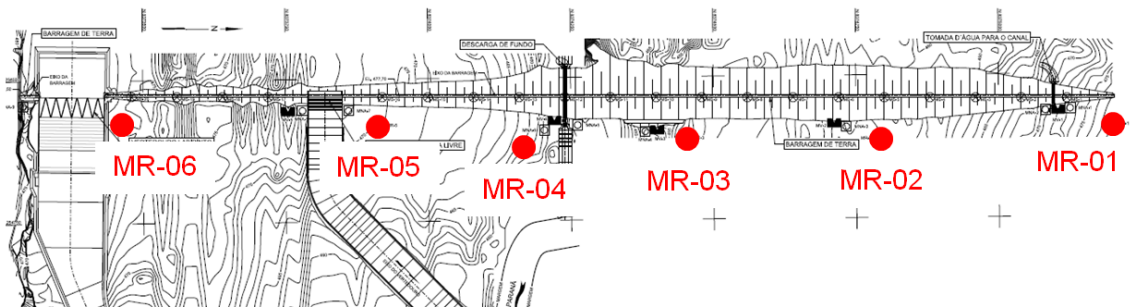
4.6 Instrumentação

A instrumentação é um ponto importante para o monitoramento e garantia da segurança das barragens de terra. É através da instrumentação que se tem acesso a dados, em tempo real ou não, sobre o comportamento da estrutura, detectando possíveis problemas que possam a vir danificar e comprometer a barragem. Desta forma, deverá ser feita a instalação de novos instrumentos na barragem para garantir o monitoramento futuro da estrutura. Os instrumentos a serem instalados serão: marcos de referência, marcos superficiais, medidores de vazão, medidores de nível de água. Não foram previstos piezômetros, pois a barragem já está construída e não há indícios de pressões elevadas no maciço.

4.6.1 Marco de Referência

Os Marcos de Referência – MR foram locados em pontos estratégicos, a jusante da barragem de terra e servirão de apoio para a leitura dos marcos superficiais. Os Marcos deverão ser implantado no sistema de coordenadas SIRGAS2000, que é o Sistema Geodésico de Referência oficial do País. Na Figura 3.25 temos a localização em planta dos MR.

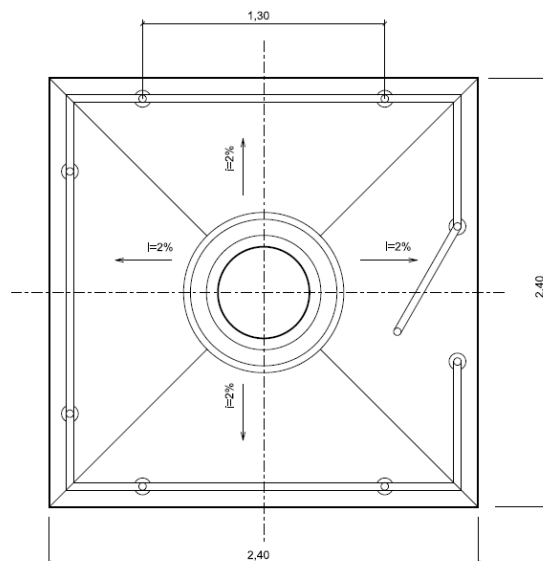
Figura 41 - Locação em planta dos Marcos de Referência - MR.



Fonte: Autor (2023).

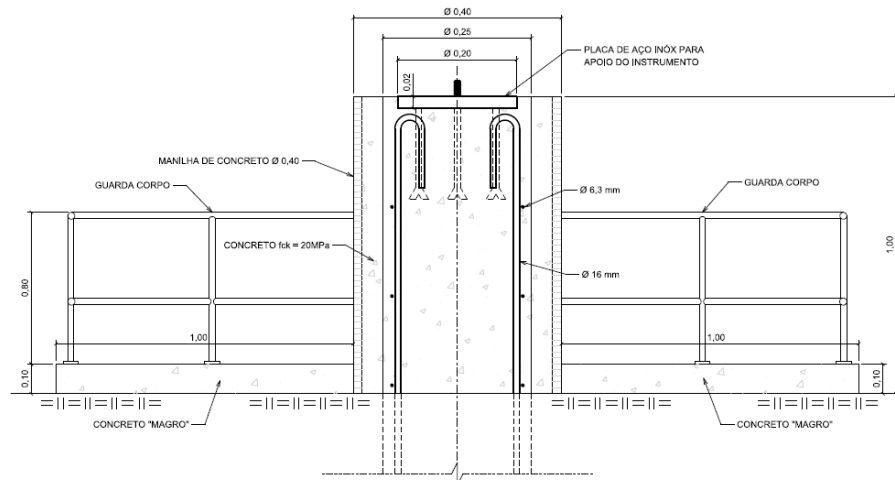
Na instalação dos MR deverão ser empregadas estacas raiz, para garantir que ficarão apoiados em substratos indeslocáveis. As estacas deverão ter engaste mínimo de 3,0 m na rocha. A Região da instalação deverá ficar protegida por uma base de concreto e um guarda corpo de forma a evitar acúmulo de água, passagem de pessoas e animais para não danificar o MR.

Figura 42 - Detalhe típico dos Marcos de Referência – MR – Vista Superior.



Fonte: Autor (2023).

Figura 43 - Detalhe típico dos Marcos de Referência – MR – Vista lateral.

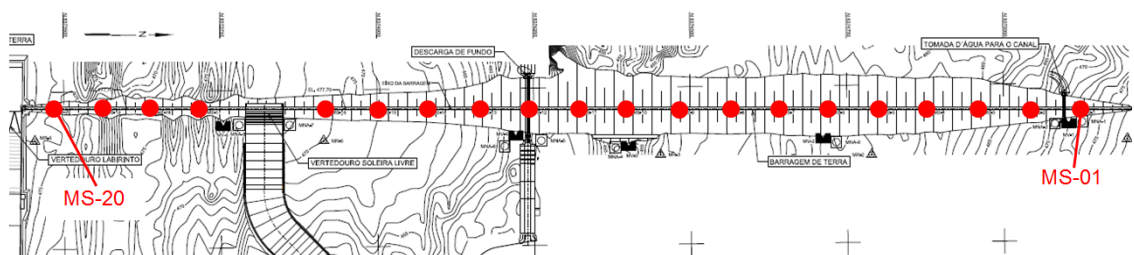


Fonte: Autor (2023).

4.6.2 Marco Superficial

Os Marcos Superficiais - MS tem por objetivo acompanhar os deslocamentos verticais e horizontais da estrutura de terra. Os deslocamentos horizontais deverão ser medidos através de colimação geodésica, enquanto que os deslocamentos verticais serão medidos através de nivelamentos de precisão, utilizando equipamentos topográficos que assegurem as precisões mínimas exigidas.

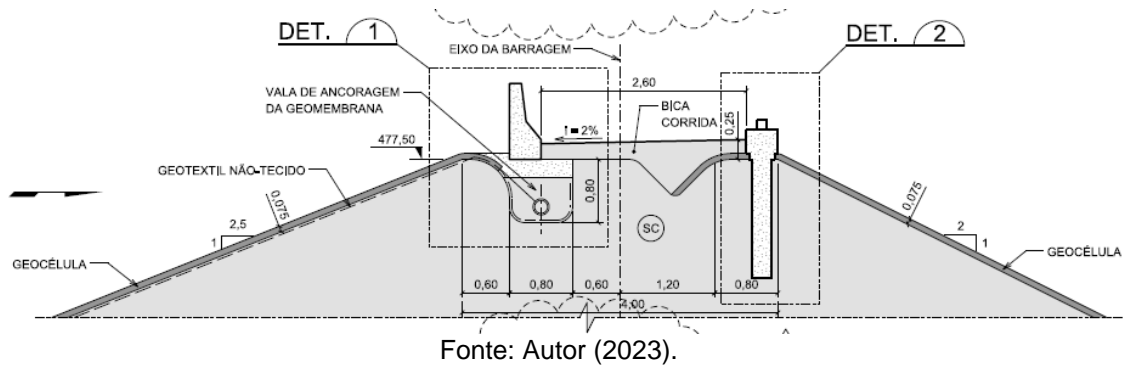
Figura 44 - Locação em planta dos Marcos Superficiais - MS.



Fonte: Autor (2023).

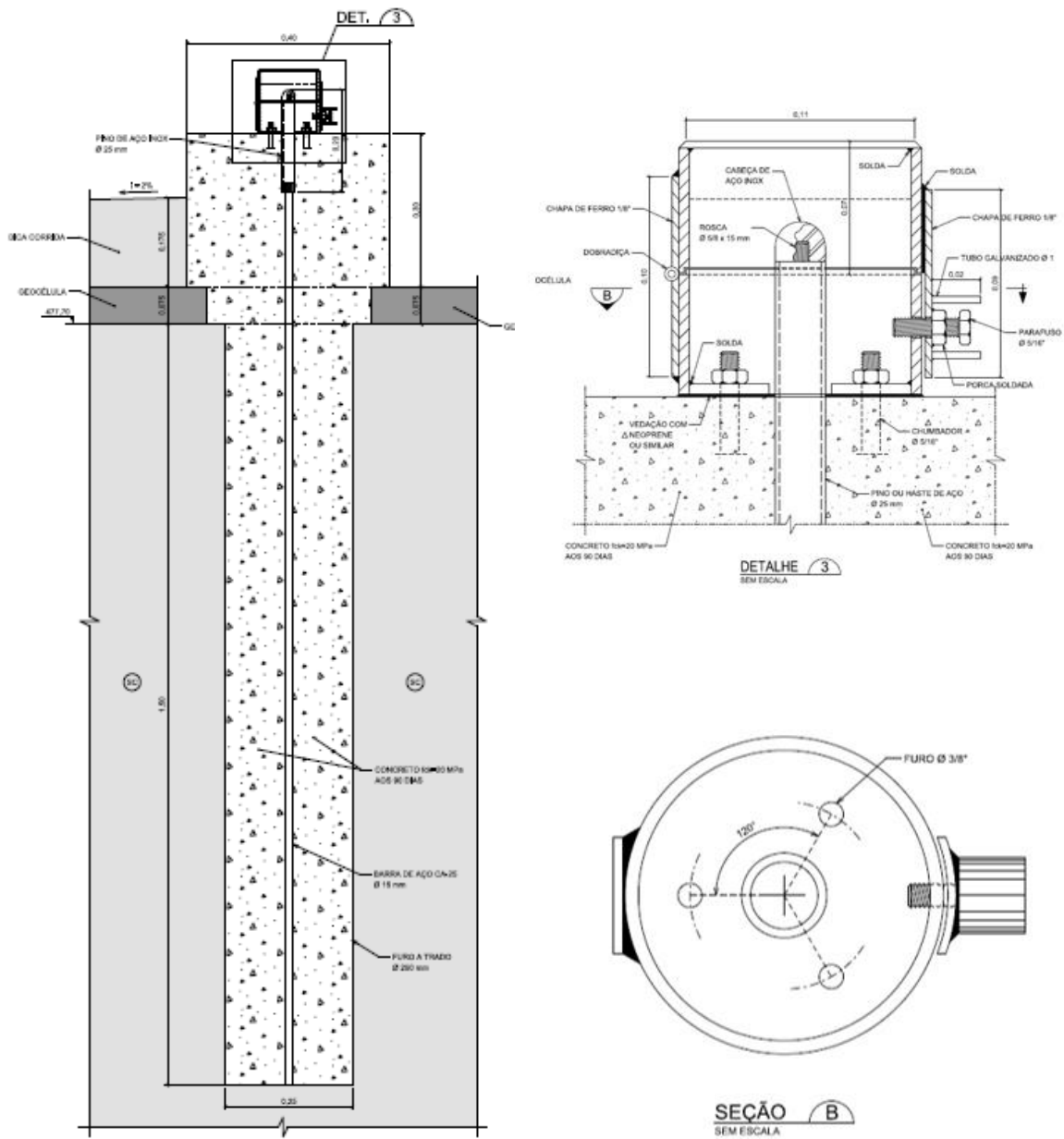
A instalação dos marcos superficiais será feita na crista da barragem e próximo ao *off-set* de jusante.

Figura 45 - Locação em seção dos Marcos Superficiais - MS.



Fonte: Autor (2023).

Figura 46 - Detalhes típicos dos Marcos Superficiais - MS.

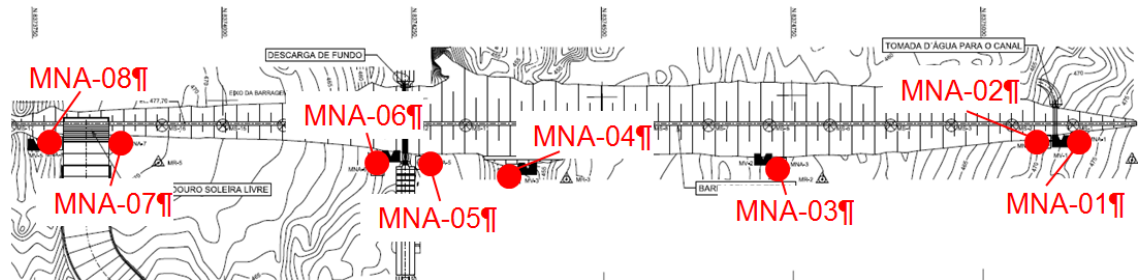


Fonte: Autor (2023).

4.6.3 Medidor de Nível de Água

Os Medidores de Nível de Água - MNA permitem a medida dos níveis do lençol freático na fundação da barragem. Serão instalados à jusante do barramento próximos às estruturas de concreto.

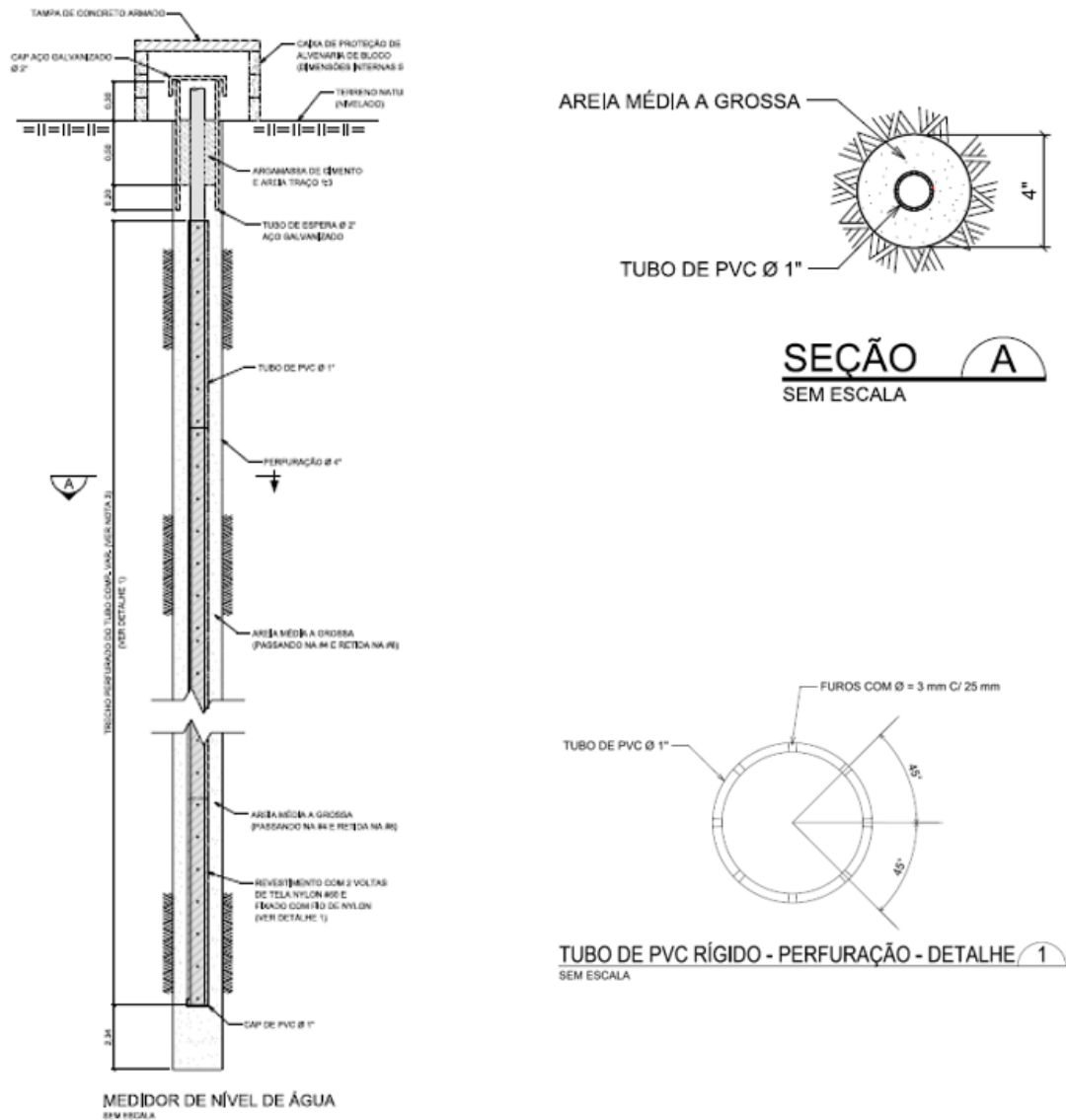
Figura 47 - Localização em planta dos Medidores de Nível de Água - MNA.



Fonte: Autor (2023).

Para a instalação deverá ser feita uma perfuração de 100 mm (4") de diâmetro, a ser aberto por equipamento rotopercussivo até a profundidade definida em projeto e prevista a perfuração com revestimento. Concluída a perfuração deverá ser realizado o lançamento de areia "calibrada", com granulometria passante na peneira #4 e retida na peneira #8, da cota do fundo até a cota do fundo mais 0,5 m. Após deverá ser introduzido o tubo de PVC, previamente perfurado em envolto por uma tela de nylon #60 (no mínimo duas voltas e amarrada com fio de nylon) e preenchidos os espaços vazios entre o revestimento e o tubo de PVC com a mesma areia calibrada até 0,5 m abaixo do nível do terreno natural. Por fim remove-se o revestimento, introduz-se o tubo de espera em aço galvanizado executando-se o selo. O trecho final de 0,5 m deverá ser preenchido com material selante, sendo o mesmo composto por argamassa de cimento e areia com traço 1:3.

Figura 48 - Detalhe Típico dos Medidores de Nível de Água - MNA.

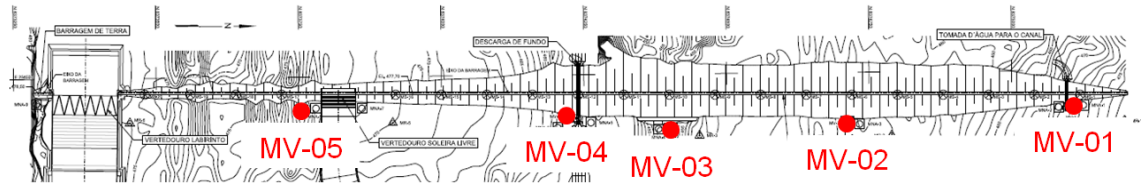


Fonte: Autor (2023).

4.6.4 Medidores de Vazão Triangulares

Por fim, os Medidores de Vazão – MV têm por objetivo mensurar os volumes de água de infiltração oriundos da fundação e do sistema de drenagem interna da barragem. Serão instalados 5 medidores de vazão no paramento de jusante da barragem.

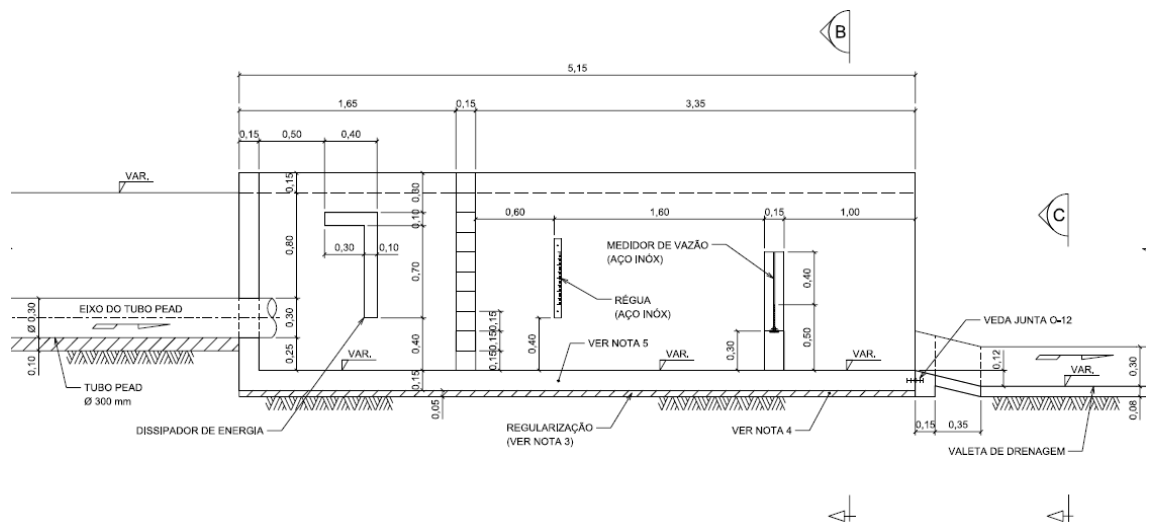
Figura 49 - Locação em planta dos Medidores de Vazão Triangulares - MV.



Fonte: Autor (2023).

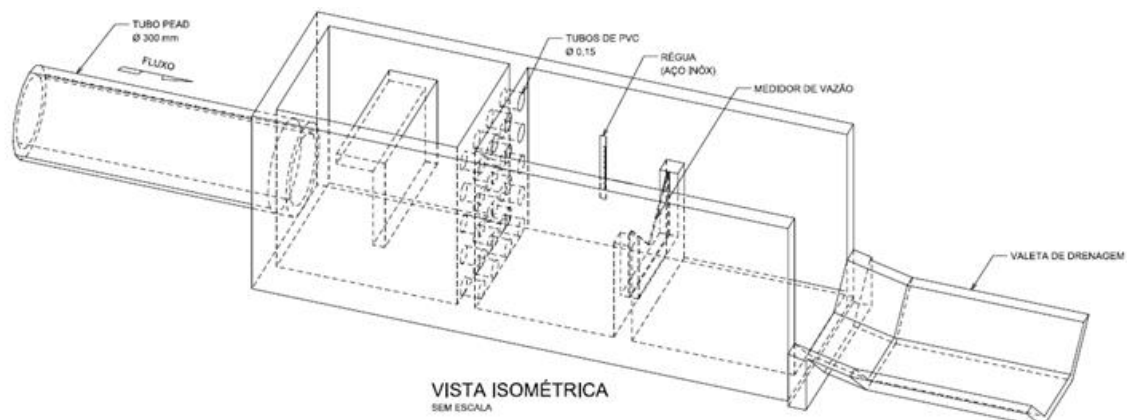
Os medidores de vazão serão instalados em caixas de concreto construídas especialmente para este fim. Em termos de compartimentação a caixa apresenta uma antecâmara que tem por objetivo dissipar a energia das águas oriundas do sistema de drenagem/fundação regularizando o fluxo na região da régua de leitura. Após este compartimento encontram-se a régua de leitura e o medidor triangular.

Figura 50 - Detalhe Típico em corte dos Medidores de Vazão Triangulares - MV.



Fonte: Autor (2023).

Figura 51 - Vista isométrica dos Medidores de Vazão Triangulares - MV.



Fonte: Autor (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas que compõem um barramento possuem características e funções distintas, que juntas proporcionam a operabilidade de todo o empreendimento com segurança e estabilidade de acordo com o previsto em projeto. Mas após concluídas as estruturas e o barramento entrando em funcionalidade é necessário o monitoramento e acompanhamento técnico, para assim assegurar essa segurança adequada a longo prazo.

As anomalias encontradas na barragem estudada são parte de um desgaste natural das estruturas com o passar do tempo, mas que sem os devidos acompanhamentos técnicos neste período tornou ainda mais precária a situação a ponto de entrar na lista das barragens caracterizadas como com potencial de alto risco de acidentes. A política de segurança de barragens estabelece de forma clara a distribuição de responsabilidades, tanto do empreendedor como dos órgãos fiscalizadores, visando à aplicação de medidas para garantir a segurança. Sendo assim, foi necessária a proposta de intervenção com a recuperação de todas as estruturas desta barragem.

As estruturas analisadas da obra no estudo de caso foram: talude de montante, crista e talude de jusante. As anomalias encontradas foram: Processos de erosões superficiais, deslocamento dos blocos de rocha do “*rip-rap*”, vegetação de tamanhos variados, existência de cupinzeiros, drenagem superficial danificada ou inexistente, ausência de pavimentação e inexistência de instrumentação. Os tratamentos adotados foram: recuperação de erosões superficiais, recomposição das proteções dos taludes, remoção de arbustos e colônia de animais, recuperação de drenagem superficial e instalação de instrumentação de auscultação. Esta recuperação deverá eliminar as anomalias que comprometem as estruturas. Porém para que o barramento continue em um estado de conservação aceitável para a segurança será necessário a operação com monitoramentos constantes e manutenções sempre que apresentar futuras manifestações patológicas.

Este trabalho foi desenvolvido de forma a facilitar o entendimento de maneira simples e acessível dos leitores. Sendo também um material que poderá ser utilizado por operadores de barragens e profissionais de engenharia que pretendem

ingressar na área de segurança de barragens de terra e que tenham especialização na área geotécnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Relatório Anual de Segurança de Barragens-2021**. Disponível em: < <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2021> > Acesso em 21 Fev. 2023

Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT. NBR 12102 de Novembro de 2020. **Solo – Controle de compactação pelo método de Hilf**.

BARBOSA, Rodrigo de Andrade. **Diagnóstico e execução de ações corretivas visando à recuperação da barragem Poleiros, em Barra de Santa Rosa, PB**. 2014. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Volume 2 [3ªed. Rev. e ampl.]. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; Brasília, INL, 1973.

CERRI, Leandro Eugênio da Silva, REIS, Fábio Augusto Gomes Vieira, GIORDANO, Lucilia do Carmo. **Diretrizes Para A Elaboração De Plano De Operação De Barragens De Terra De Pequenas Dimensões**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. p.18, 2011.

CONFINS, Revista Franco-Brasileira de Geografia. **Saúde e desastres no Brasil: uma reflexão sobre os aspectos envolvidos em eventos hidrológicos e rompimento de barragens**. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/23114>> Acesso em:21 Fev. 2023.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Estado-de-Goias-399.html>> Acesso em 28 Mai. 2023.

CRUZ, P. T. (2004). 100 **Barragens Brasileiras, Casos Históricos, Materiais de Construção, Projetos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. **Instruções a serem observadas na construção das barragens de terra**. [3ªed. Rev. e ampl.]. Fortaleza, 1981

ELETROBRÁS. **Critérios de projeto civil de Usinas Hidrelétricas**. Disponível em:<<https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/Manuais%20para%20Estudos%20e%20Projetos%20de%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Energia/Crit%C3%A9rios%20de%20Projetos.pdf> > Acesso em 21 Abr. 2023.

Góias Impermeabilizações. **Geocélulas em PEAD e suas utilizações**. Disponível em:<<https://goiasimpermeabilizacoes.com.br/industria/geocelulas-em-pead-e-suas-utilizacoes/>> Acesso em 12 Nov. 2023.

ICOLD (2017). **Internal Erosions of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations**. Bulletin 164. International Commission on Large Dams Committee on Embankment Dams: Paris. 292 p

Lei nº 14.066/2020 que altera dispositivos da Lei nº 12.334/2010. Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos.

MASSAD, Faíçal. **Obras de terra: Curso básico de geotecnia**. 2ª Edição. Oficina de Texto. 203 p. 2010

OLIVEIRA, Jader Roosevelt de Carvalho. **Contribuição para a verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra**. 2008. 284 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Geotécnica)-Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC – Rio. **Instrumentação e Segurança de Barragens**. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124945_03_cap_02.pdf> Acesso em: 25 Abr. 2023.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002

SEAPA Goiás, Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado de Goiás. Plano de Segurança de Barragens (PSB). Disponível em: <<https://www.agricultura.go.gov.br/programas-e-projetos/barragem-do-paran%C3%A3-e-pilaa.html>> Acesso em: 25 Fev. 2023.

Synergia Socioambiental. **Desastres em barragens e o novo marco na mineração**. Disponível em: <<https://www.synergiaconsultoria.com.br/fique-por-dentro/desastres-em-barragens-e-o-novo-marco-na-mineracao/>> Acesso em: 02 Set. 2023.