

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ALBERTO RICARDO GOLFETO FILHO

**INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS DE TERRA E
ENROCAMENTO**

**Ilha Solteira
2023**

ALBERTO RICARDO GOLFETO FILHO

**INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS DE TERRA E
ENROCAMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Prof.º Dr.º Artur Pantoja Marques
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G625i Golfeto Filho, Alberto Ricardo.
Inspeção e avaliação da segurança de barragens de terra e encoramento /
Alberto Ricardo Golfeto Filho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
135 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Artur Pantoja Marques
Inclui bibliografia

1. Barragens. 2. Segurança de barragens. 3. Inspeção de segurança.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

Alberto Ricardo Golfeto Filho

**INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS DE TERRA
E ENROCAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto
ao Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Faculdade de Engenharia da
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Câmpus de Ilha Solteira.

Aprovado em 27/01/2023

Comissão Examinadora


Prof. Dr. Artur Pantoja Marques
UNESP/FE - Ilha Solteira (Orientador)


Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcântara
UNESP/FE Ilha Solteira (Examinador)

Rodrigo Andraus Bispo
Doutorando Rodrigo Andraus Bispo
UNESP/Ilha Solteira (Examinador)

Ilha Solteira
27 de janeiro de 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Alberto e Mira, pelo amor, incentivo e apoio incondicional que sempre depositado em mim. As minhas irmãs, Julia e Luiza, que sempre me fortaleceram e foram muito importantes durante toda a minha vida. A minha namorada, Maysa, que compartilhou dos bons e dos maus momentos, sempre ao meu lado.

Aos meus grandes amigos da República Dama Amada, Rodolfo, João Pedro, Milton, Renan, Guilherme, João Vitor e Matheus que estiveram comigo desde o início e sempre me ajudaram em todas as dificuldades da graduação.

Aos amigos que fiz em Ilha Solteira, minha segunda família, saibam que sem vocês não seria tão bom essa fase tão importante de nossas vidas. Agradeço aos professores que me acompanharam ao longo do curso e que, com empenho, se dedicam à arte de ensinar.

Por fim, a todos os familiares, amigos e conhecidos que passaram por minha vida durante esse período e contribuíram de alguma forma para a realização desse sonho.

Todas as minhas conquistas são de vocês também!

“Nosso maior adversário está dentro de cada um de nós”. Abel Ferreira.

RESUMO

A segurança de barragens no Brasil é um assunto que cresceu muito durante os últimos anos devido aos trágicos incidentes envolvendo a ruptura da Barragem do Fundão, em Mariana/MG, e da Barragem do Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG. Os principais sintomas de problemas em uma barragem podem ser detectados com um bom conjunto de instrumentos, inspeções de segurança realizadas de maneira certa e no tempo devido e adequado tratamento dos dados coletados, principalmente de estabilidade, percolação e deformação. A correta interpretação dos dados permite atuar nos estágios iniciais do desenvolvimento de anomalias. Grande parte das falhas ocorridas em barragens poderiam ser evitadas com inspeções, monitoramento e análise das estruturas que compõem o empreendimento. A falta de leis e a negligência das leis existentes, somadas ao despreparo dos profissionais atuantes na área, também são fatores de extrema importância para o tópico de segurança de barragens no Brasil. Os riscos associados a uma barragem, tanto na fase de construção, quanto na fase de operação, não podem ser eliminados, porém, a instrumentação de uma barragem, juntamente ao seu plano de monitoramento e rotinas de inspeção, torna-se uma ferramenta preponderante e eficiente na questão relacionada a segurança de barragens e minimiza a probabilidade da ocorrência de catástrofes, como as mencionadas acima. Nesse sentido, esse projeto tem o objetivo de demonstrar os métodos de inspeção e avaliação da segurança de uma barragem de terra enrocamento, seguindo as leis, normas e resoluções em vigência existentes no país, bem como, apresentar um estudo de caso de uma barragem inspecionada seguindo todas as diretrizes da lei e do respectivo órgão fiscalizador.

Palavras-chave: barragens; segurança de barragens; inspeção de segurança.

ABSTRACT

Dam safety in Brazil is a subject that has grown a lot during the last few years due to the tragic incidents involving the rupture of the Fundão Dam, in Mariana/MG, and the Córrego do Feijão Dam, in Brumadinho/MG. The main symptoms of problems in a dam can be detected with a good set of instruments, safety inspections carried out in the right way and in due time and adequate treatment of the collected data, mainly of stability, percolation and deformation. The correct interpretation of the data allows to act in the initial stages of the development of anomalies. Most of the failures that occur in dams could be avoided with inspections, monitoring and analysis of the structures that make up the enterprise. The lack of laws and the negligence of existing laws, added to the unpreparedness of professionals working in the area, are also extremely important factors for the topic of dam safety in Brazil. The risks associated with a dam, both in the construction phase and in the operation phase, cannot be eliminated, however, the instrumentation of a dam, together with its monitoring plan and inspection routines, becomes a preponderant tool and efficient in the question related to the safety of dams and minimizes the probability of occurrence of catastrophes, such as those mentioned above. In this sense, this project aims to demonstrate the methods of inspection and evaluation of the safety of an earth-fill dam, following the laws, rules and resolutions in force in the country, as well as presenting a case study of a dam inspected following all the guidelines of the law and the respective supervisory body.

Keywords: dam; dam safety; security inspection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes estruturais.	21
Figura 2: Barragem de terra homogênea.	23
Figura 3: Barragem de terra zonada.	23
Figura 4: Barragem de enrocamento com núcleo central.....	23
Figura 5: Barragem de enrocamento com núcleo inclinado	23
Figura 6: Barragem de enrocamento com face de concreto.....	24
Figura 7: Barragem de enrocamento com com chapa de aço.....	24
Figura 8: Barragem de concreto gravidade.	25
Figura 9: Barragem de concreto aliviada.....	25
Figura 10: Barragem de terra/enrocamento.	25
Figura 11: Medidor de Vazão.....	27
Figura 12: Perfil de instalação de um medidor de nível d'água.	28
Figura 13: Piezômetro de tubo aberto.	29
Figura 14: Esquema típico de um Piezômetro de Corda Vibrante	30
Figura 15: Histórico de rompimento de barragens observados no Brasil de 1940 a 2019.	31
Figura 16: Cronologia da legislação para segurança de barragens no Brasil.	32
Figura 17: Nível de Perigo Global da Barragem ANA.....	40
Figura 18: Nível de Perigo Global da Barragem ANEEL.	40
Figura 19: Equipe-chave mínima, em função da anomalia ou do evento causador da ISE - ANA.	41
Figura 20: Fissuras longitudinais.....	43
Figura 21: Fissuras transversais.	43
Figura 22: Processo de piping.	44
Figura 23: Erosão.	45
Figura 24: Croqui de representação da Barragem Guariroba.....	47
Figura 25: Acesso à Barragem Guariroba.....	49
Figura 26: Infraestrutura – exemplo de prejuízo pontual no pavimento de acesso interno. ..	54
Figura 27: Infraestrutura – portão de acesso.	54
Figura 28: Casa de bombas – visão do interior da casa de bombas.	55
Figura 29: Casa de bombas – visão do exterior da casa de bombas.	55
Figura 30: Infraestrutura – região da casa de bombas afetada pela água, vista 1.....	55
Figura 31: Infraestrutura – região da casa de bombas afetada pela água, vista 2.....	55
Figura 32: Infraestrutura – canaletas de drenagem obstruídas, vista 1.	56
Figura 33: Infraestrutura – canaleta de drenagem obstruídas, vista 2.....	56
Figura 34: Casa de Bombas - erosão observada na região.	56

Figura 35: Infraestrutura – escada de acesso com vegetação crescente ao redor.....	56
Figura 36: Ombreira esquerda – visão geral do talude de jusante	58
Figura 37: Talude de montante ME –vegetação crescente no enrocamento, a esquerda da TA.....	58
Figura 38: Talude de montante ME –região a direita da TA	58
Figura 39: Talude de montante ME –visão geral, vista 1.....	59
Figura 40: Talude de montante ME – visão geral, vista 2.....	59
Figura 41: Talude de jusante ME – colônias de formigas, vista 1.....	60
Figura 42: Talude de jusante ME – colônias de formigas, vista 2.....	60
Figura 43: Talude de jusante ME – dreno de pé – dreno de pé com um pequeno crescimento e vegetação.	61
Figura 44: Talude de jusante ME – dreno de pé – canaletas de drenagem em bom estado.	61
Figura 45: Tomada d’água – vista lateral.	63
Figura 46: Tomada d’água – vista frontal.	63
Figura 47: Tomada d’água – vegetação presente nas adutoras de água bruta, vista 1.....	63
Figura 48: Tomada d’água – vegetação presente nas adutoras de água bruta, vista 2.....	63
Figura 49: Vertedouro – vista frontal.	64
Figura 50: Vertedouro – DHP, visão geral.....	64
Figura 51: Bacia de dissipação – visão geral.	65
Figura 52: Bacia de dissipação –surgência observada.	65
Figura 53: Bacia de dissipação – outra surgência observada.	66
Figura 54: Bacia de dissipação – detalhe da diminuição da vegetação na região.	66
Figura 55: Ombreira direita – visão geral do talude de jusante.	67
Figura 56: Talude de montante MD – vista geral.....	68
Figura 57: Talude de jusante MD – vista geral.	69
Figura 58: Talude de jusante MD – canaleta de drenagem.....	69
Figura 59: Talude de jusante MD - colônias de formigas, vista 1.	70
Figura 60: Talude de jusante MD – colônias de formigas, vista 2.....	70
Figura 61: Talude de jusante MD – falha na cobertura vegetal.	70
Figura 62: Talude de jusante MD – buraco originado pela retirada de uma colônia de cupim.	70
Figura 63: Reservatório – vista do talude de montante da margem direita.....	71
Figura 64: Crista – vista 1.	72
Figura 65: Crista – vista 2.	72
Figura 66: Instrumentação – fuga d’água para lateral do medidor de vazão devido à obstrução e aumento da vegetação.	74
Figura 67: Instrumentação – régua limnimétrica na soleira do vertedouro.	74

Figura 68: Gráfico comparativo dos instrumentos.	77
Figura 69: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 01.	79
Figura 70: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 02.	80
Figura 71: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 03.	81
Figura 72: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 101.	82
Figura 73: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 102.	83
Figura 74: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 103.	84
Figura 75: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 104.	85
Figura 76: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 105.	86
Figura 77: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 106.	87
Figura 78: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 107.	88
Figura 79: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 108.	89
Figura 80: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 109.	90
Figura 81: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 110.	91
Figura 82: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 111.	92
Figura 83: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 01.	94
Figura 84: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 02.	95
Figura 85: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 03.	96
Figura 86: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 04.	97
Figura 87: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 05.	98
Figura 88: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 06.	99
Figura 89: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 07.	100
Figura 90: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 08.	101
Figura 91: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 09.	102
Figura 92: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 10.	103
Figura 93: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 11.	104
Figura 94: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 12.	105
Figura 95: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 13.	106
Figura 96: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 14.	107
Figura 97: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 15.	108
Figura 98: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 16.	109
Figura 99: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 17.	110
Figura 100: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 18.	111
Figura 101: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 19.	112
Figura 102: Vazão x tempo – Medidor de vazão triangular.	114
Figura 103 – Representação gráfica das análises locais.	117
Figura 104 - Número de notificações recebidas para a casa de bombas.	118

Figura 105 - Número de notificações acatadas para a casa de bombas.	118
Figura 106 - Número de notificações recebidas para o barramento.	119
Figura 107-Número de notificações acatadas para o barramento.	120
Figura 108- Concentração das notificações recebidas nas estruturas do barramento.....	120
Figura 109 - Número de notificações recebidas para a estrutura vertente.	121
Figura 110 - Número de notificações acatadas para a estrutura vertente.	121
Figura 111 - Ponte quebrada e entulhos, retratada no relatório da inspeção de agosto.....	122
Figura 112 - Pontos de urgência	123
Figura 113 - Número de notificações recebidas para a bacia de dissipação.	123
Figura 114 - Número de notificações recebidas para a tomada d'água.....	124
Figura 115 - Número de notificações recebidas para a região a jusante.	125
Figura 116 - Número de notificações recebidas para a instrumentação.....	125
Figura 117 - Número de notificações acatadas para a instrumentação.....	126
Figura 118 - Quantidade de notificações recebidas ao longo dos anos	126
Figura 119-Quantidade de notificações acatadas ao longo dos anos.	127
Figura 120- Concentração das notificações recebidas.....	127
Figura 121 - Recepção das recomendações pelo empreendedor.	128
Figura 122 - Concentração das notificações acatadas.....	128
Figura 123 - Nível de perigo das notificações não acatadas.	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de classificação de barragens da ANA.	36
Quadro 2: Matriz de classificação de barragens da ANEEL.	36
Quadro 3: Resumo das especificidades de acordo com a classificação ANA.	36
Quadro 4: Resumo das especificidades de acordo com a classificação ANEEL.	36
Quadro 5: Elaboração do PSB.	37
Quadro 6: Elaboração do PAE.	38
Quadro 7: Classificação das fissuras em barragens.	42
Quadro 8: Características gerais da Barragem Guariroba.	48
Quadro 9: Legendas das siglas da ficha de inspeção.	51
Quadro 10: Legenda do preenchimento da ficha de inspeção.	52
Quadro 11: Legenda dos registros fotográficos.	53
Quadro 12: Ficha de inspeção da infraestrutura operacional.	57
Quadro 13: Ficha de inspeção da casa de bombas.	57
Quadro 14: Ficha de inspeção do talude de montante ME.	59
Quadro 15: Ficha de inspeção do talude de jusante ME.	62
Quadro 16: Ficha de inspeção da tomada de água.	64
Quadro 17: Ficha de inspeção do vertedouro.	66
Quadro 18: Ficha de inspeção da bacia de dissipação.	67
Quadro 19: Ficha de inspeção do talude de montante MD.	68
Quadro 20: Ficha de inspeção do talude de jusante MD.	71
Quadro 21: Ficha de inspeção do reservatório.	72
Quadro 22: Ficha de inspeção da crista.	73
Quadro 23: Ficha de inspeção da instrumentação.	74
Quadro 24: Ficha de inspeção da região à jusante da barragem.	75
Quadro 25: Pendências da inspeção visual atual.	76
Quadro 26: Níveis de controle dos piezômetros de tubo aberto tipo casagrande.	78
Quadro 27: Dados de monitoramento – Piezômetro 01.	79
Quadro 28: Dados de monitoramento – Piezômetro 02.	80
Quadro 29: Dados de monitoramento – Piezômetro 03.	81
Quadro 30: Dados de monitoramento – Piezômetro 101.	82
Quadro 31: Dados de monitoramento – Piezômetro 102.	83
Quadro 32: Dados de monitoramento – Piezômetro 103.	84
Quadro 33: Dados de monitoramento – Piezômetro 104.	85
Quadro 34: Dados de monitoramento – Piezômetro 105.	86

Quadro 35: Dados de monitoramento – Piezômetro 106.	87
Quadro 36: Dados de monitoramento – Piezômetro 107.	88
Quadro 37: Dados de monitoramento – Piezômetro 108.	89
Quadro 38: Dados de monitoramento – Piezômetro 109.	90
Quadro 39: Dados de monitoramento – Piezômetro 110.	91
Quadro 40: Dados de monitoramento – Piezômetro 111.	92
Quadro 41: Níveis de controle dos medidores de nível d'água.	93
Quadro 42: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 01.....	94
Quadro 43: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 02.....	95
Quadro 44: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 03.....	96
Quadro 45: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 04.....	97
Quadro 46: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 05.....	98
Quadro 47: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 06.....	99
Quadro 48: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 07.....	100
Quadro 49: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 08.....	101
Quadro 50: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 09.....	102
Quadro 51: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 10.....	103
Quadro 52: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 11.....	104
Quadro 53: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 12.....	105
Quadro 54: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 13.....	106
Quadro 55: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 14.....	107
Quadro 56: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 15.....	108
Quadro 57: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 16.....	109
Quadro 58: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 17.....	110
Quadro 59: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 18.....	111
Quadro 60: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 19.....	112
Quadro 61: Dados de monitoramento – Medidor de vazão triangular.	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ICOLD	Comissão Internacional de Grandes Barragens
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
RPS	Revisão Periódica de Segurança
PAE	Plano de Ação de Emergência
DPA	Dano Potencial Associado
CRI	Categoria de Risco
ISR	Inspeção de Segurança Regular
ISE	Inspeção de Segurança Especial
NPGB	Nível de Perigo Global da Barragem
PZA	Piezômetro de Tubo Aberto
MNA	Medidor de Nível D'água
MV	Medidor de Vazão
PZE	Piezômetro Elétrico
ISB	Instrumentação e Segurança de Barragens

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1. CONCEITOS BÁSICOS FUNDAMENTAIS.....	21
3.2. TIPOS DE BARRAGENS.....	22
3.2.1. Barragens de Terra.....	22
3.2.2. Barragens de Enrocamento.....	23
3.2.3. Barragens de Concreto.....	24
3.2.4. Barragem de Terra-Enrocamento.....	25
3.3. INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCUTAÇÃO CIVIL.....	26
3.3.1. Medidores de Vazão.....	26
3.3.2. Medidores de Nível d'água.....	27
3.3.3. Piezômetros.....	28
3.4. BARRAGENS NO BRASIL.....	30
3.5. SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL.....	31
3.5.1. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).....	33
3.5.2. Classificação das Barragens.....	35
3.5.3. Plano de Segurança de Barragem (PSB).....	37
3.5.4. Plano de Ação e Mergência (PAE).....	37
3.6. INSPEÇÕES DE SEGURANÇA EM BARRAGEM DE TERRA- ENROCAMENTO.....	38
3.6.1. Inspeção de Segurança Regular (ISR).....	39
3.6.2. Inspeção de Segurança Especial (ISE).....	40
3.7. ANOMALIAS EM BARRAGEM DE TERRA ENROCAMENTO.....	41
3.7.1. Recalques, trincas e fissuras.....	41

3.7.2.	Surgências	43
3.7.3.	Erosão	44
3.7.4.	Vegetação de médio e grande porte	45
3.7.5.	Colônias de animais	45
3.7.6.	Falha na proteção dos taludes	46
4.	ESTUDO DE CASO	46
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	46
4.2.	EQUIPE ENVOLVIDA NA INSPEÇÃO	49
4.3.	ROTEIRO DE INSPEÇÃO	50
4.4.	LEGENDA DAS FICHAS DE INSPEÇÃO	50
4.5.	ANOMALIAS E OBSERVAÇÕES APONTADAS	54
4.5.1.	Infraestrutura	54
4.5.2.	Barragem – Ombreira Esquerda	57
4.5.3.	Tomada d'água	62
4.5.4.	Vertedouro e Bacia de dissipação	64
4.5.5.	Barragem – Ombreira Direita	67
4.5.6.	Reservatório	71
4.5.7.	Crista	72
4.5.8.	Instrumentação	73
4.5.9.	Região à jusante	74
4.6.	PENDÊNCIAS DA INSPEÇÃO ATUAL	75
4.7.	MONITORAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO	77
4.7.1.	Monitoramento dos piezômetros	77
4.7.2.	Monitoramento dos medidores de nível d'água	93
4.7.3.	Monitoramento dos medidores de vazão	113
4.7.4.	Resumo geral da instrumentação	114

4.8.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	115
4.9.	AVALIAÇÃO DAS INPEÇÕES DE SEGURANÇA DA BARRAGEM GUARIROBA.....	115
4.10.	ANÁLISE LOCAL DAS INSPEÇÕES NA BARRAGEM GUARIROBA	117
4.10.1.	Infraestrutura.....	117
4.10.2.	Casa de bombas	118
4.10.3.	Barragem	119
4.10.4.	Vertedouro	121
4.10.5.	Bacia de dissipação	122
4.10.6.	Tomada d'água	123
4.10.7.	Reservatório.....	124
4.10.8.	Região a jusante	124
4.10.9.	Instrumentação	125
4.11.	ANÁLISE GLOBAL DAS INSPEÇÕES NA BARRAGEM GUARIROBA .	126
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	129
6.	CONCLUSÕES.....	131
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, barragem é “qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas” (ANA,2020).

Barragens são estruturas que desempenham papéis essenciais para a sociedade, possibilitando o armazenamento de água para diversos fins (geração de energia, abastecimento, irrigação, disposição de rejeitos, etc). No ano de 2022 foram registradas mais de 58 mil grandes barragens no mundo (ICOLD, 2022). Segundo a Comissão Internacional de Grandes Barragens - ICOLD (2022), mais de 58 mil grandes barramentos, com os mais diversos propósitos, são existentes no mundo. As principais finalidades associadas a esses grandes barramentos mundiais se concentram nos setores de irrigação, hidroeletricidade e abastecimento populacional, que juntos representam aproximadamente 80% das barragens de propósito principal, que são aquelas destinadas para apenas um fim (ICOLD, 2022).

Em virtude dos recentes acidentes ocorridos em barragens no Brasil e seguindo a Lei Federal 14.066/20 (alteração da Lei Federal Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010), que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), fica prescrita a obrigatoriedade da exigência dos relatórios de inspeção pelo órgão fiscalizador, tornando a atividade de inspeção, bem como seu relato, uma obrigatoriedade ao empreendedor.

Mesmo que o barramento esteja operando adequadamente e esteja com a manutenção em dia, toda barragem possui risco de rompimento do maciço, que pode gerar uma onda de ruptura, consideravelmente superior ao escoamento médio do rio, podendo causar sérios danos materiais e perdas de vidas humanas. Em decorrência disso, a inspeção e avaliação das condições de operação de uma barragem são de suma importância. Neste trabalho será revisado as condições de inspeção e avaliação da segurança de barragens de terra e encoramento, principalmente no Brasil.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral fazer um resumo das medidas de fiscalização de barragens de terra e enrocamento. Como objetivos específicos se têm:

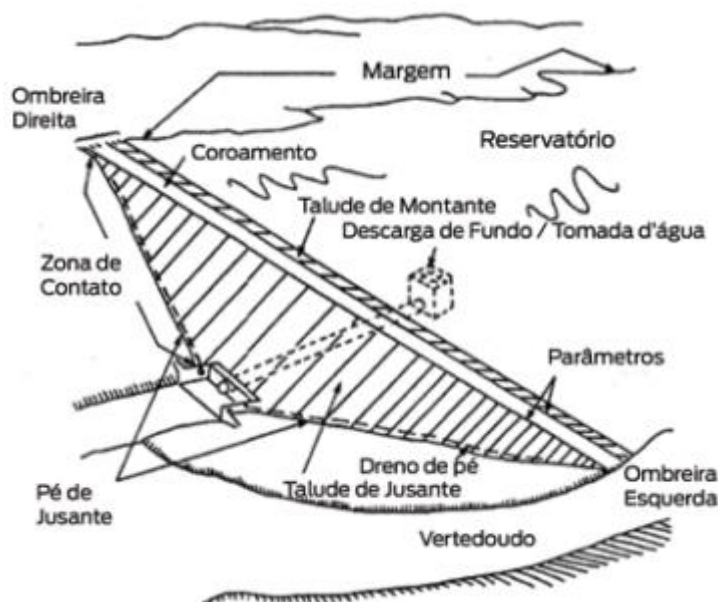
- Apresentar o acompanhamento da inspeção realizada na Barragem Guariroba no mês de junho de 2022;
- Apresentar um levantamento sobre as inpeções realizadas do mês de junho à dezembro na Barragem Guariroba.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. CONCEITOS BÁSICOS FUNDAMENTAIS

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, em seu manual de Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, publicado em 2016, os principais componentes de uma barragem são a estrutura de retenção ou barramento, a sua fundação e as ombreiras, a zona vizinha a jusante, as estruturas extravasoras, as estruturas de adução e o reservatório. A Figura 1 apresenta uma ilustração de uma barragem de terra e suas estruturas.

Figura 1: Componentes estruturais.



Fonte: ANA (2016)

Jusante é o mesmo que rio abaixo e montante é o mesmo que rio acima (CAMPESTRINI, 2014). Portanto, a parte do barramento em contato com o reservatório é chamada de talude de montante, sendo o outro paramento, do lado oposto à água, designado por talude de jusante.

As zonas das margens em contato direto com o barramento são denominadas de ombreiras, existindo uma na margem direita, designada ombreira direita, e outra na margem esquerda, a ombreira esquerda. Para fins de padronização, a margem direita de uma barragem é definida pela direita de um observador fictício posicionado sobre a crista da barragem, de costas para o reservatório e visando a área a jusante. Analogamente, a margem esquerda será a margem oposta.

3.2. TIPOS DE BARRAGENS

As barragens podem ser classificadas em diferentes tipos de acordo com o seu objetivo hidráulico e os tipos de material empregados na construção.

3.2.1. Barragens de Terra

As barragens de terra são as mais comuns encontradas no mundo . Possuem estruturas compactadas que utilizam a sua massa para resistir aos processos de tombamento e deslizamento.

Sobre a sua constituição, Gameleira e Amaral (2018) concluíram que a barragem de terra é o tipo mais comum e é facilmente encontrada devido à disponibilidade de material terroso no Brasil. Esse tipo de barragem apresenta uma considerável vantagem quando comparada com as barragens de concreto, pois pode ser construída sobre fundações com resistência mais baixa, apoiada sobre solos moles.

As barragens de terra são as mais elementares obras de barragens e normalmente se prestam para qualquer tipo de fundação, desde a rocha compacta, até terrenos construídos de materiais incosolidados (campo típico de aplicação). Existe uma certa variabilidade no tipo de barragem de terra, que poderá ser homogêneo ou zonado.

A barragem de terra do tipo homogêneo (Figura 2) é composta de um único material, sem considerar a proteção dos taludes. O material utilizado deve ser impermeável a ponto de firmar uma barreira contra a água. Já os taludes não possuem inclinações acentuadas, garantindo uma estabilidade adequada.

A barragem de terra do tipo zonado (Figura 3) possui um núcleo central impermeável, envolvido por “zonas” de materiais mais permeáveis, que protegem e suportam o núcleo. Tais zonas podem ser de areia, cascalho, fragmentos de rocha ou uma mistura desses materiais.

Figura 2: Barragem de terra homogênea.

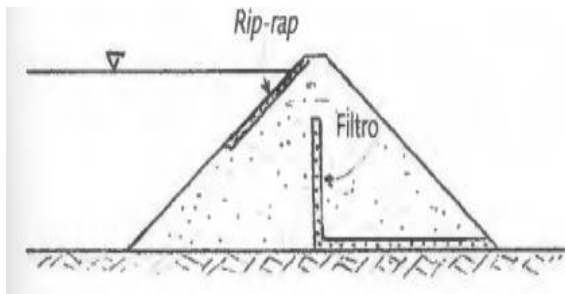
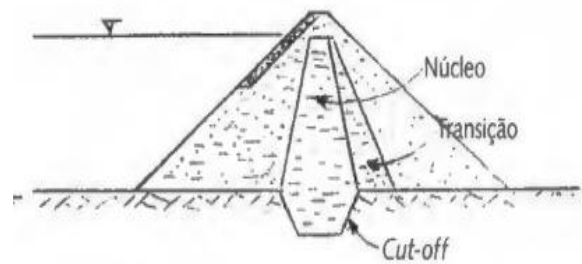


Figura 3: Barragem de terra zonada.



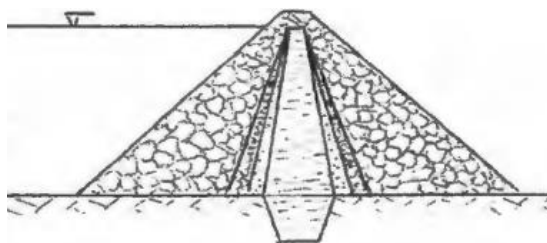
Fonte: Costa(2012).

3.2.2. Barragens de Enrocamento

As barragens de enrocamento são aquelas que utilizam blocos de rochas de tamanhos variados e uma membrana impermeável na face de montante. As rochas para essas barragens, devendo ter resistência ao intemperismo físico e químico, gnaiss, diabásio, etc. Os blocos de rocha são colocados de modo a se obter o maior contato entre suas superfícies e os vazios entre elas, que são preenchidos por material de menor tamanho. Assim como ocorre com as barragens de terra, as barragens de enrocamento podem ser subdivididas em núcleo impermeável e face impermeável.

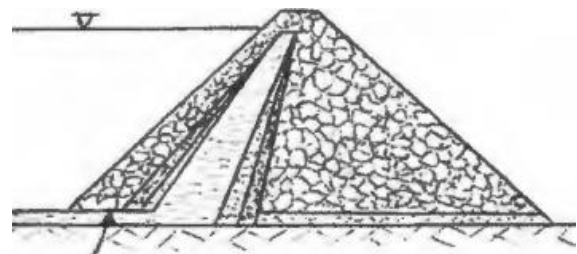
A barragem de enrocamento com núcleo impermeável (Figura 4 e Figura 5) “o material rochoso é predominante e a vedação da água é feita por meio de um núcleo argiloso, separado do enrocamento por zonas de transição, para evitar o carreamento do material fino para o interior do enrocamento” (COSTA, 2012, p. 24). O núcleo argiloso pode ser posicionado no ao centro da barragem ou inclinado a montante.

Figura 4: Barragem de enrocamento com núcleo central



Fonte: Costa (2012).

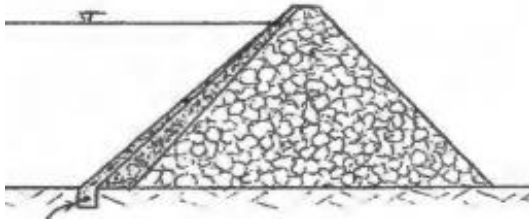
Figura 5: Barragem de enrocamento com núcleo inclinado



Fonte: Costa (2012).

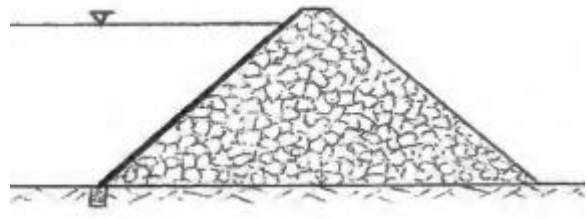
Já a barragem com face impermeável (Figura 6 e Figura 7) “a vedação da água é garantida pela impermeabilização da face de montante da barragem” (COSTA, 2012, p. 25). Podendo ser feita por placa de concreto ou chapa de aço.

Figura 6: Barragem de enrocamento com face de concreto



Fonte: Costa (2012).

Figura 7: Barragem de enrocamento com chapa de aço



Fonte: Costa (2012).

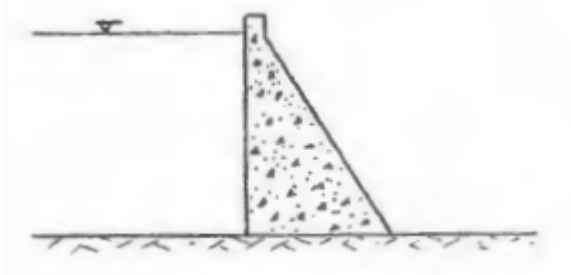
3.2.3. Barragens de Concreto

Barragens de concreto são aquelas construídas com materiais granulares naturais ou produzidos artificialmente, adicionados a aditivos químicos. Elas se classificam de acordo com sua forma e/ou geometria.

As barragens de gravidade (Figura 8) são o tipo mais resistente e de menor custo de manutenção entre as barragens de concreto. Se adequa a todos os locais, porém possui altura limitada pela sua fundação. “São barragens maciças de concreto, com pouca armação, cuja característica física é ter sua estrutura trabalhando apenas à compressão” (COSTA, 2012, p. 25).

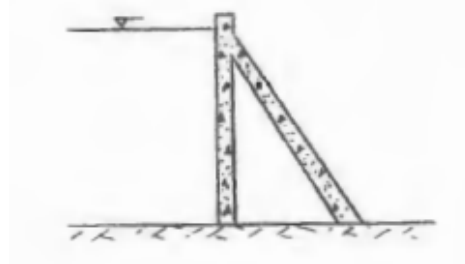
As barragens de gravidade aliviada (Figura 9) diferentemente das barragens de gravidade, admitem espaços vazios em seu núcleo. Reduzindo assim, a quantidade de material empregado em sua construção e, conseqüentemente seu custo.

Figura 8: Barragem de concreto gravidade.



Fonte: Costa (2012).

Figura 9: Barragem de concreto aliviada.



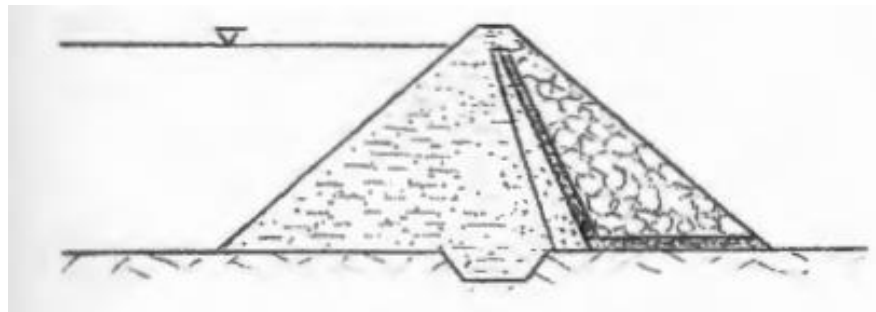
Fonte: Costa (2012).

3.2.4. Barragem de Terra-Enrocamento

Objeto de análise desse estudo, as barragens de terra-enrocamento (Figura 10) são do tipo barragens mistas, sendo constituída por diferentes materiais ao longo de uma seção. Segundo Massad (2010), juntamente com as barragens de terra são as mais estáveis dentre as barragens não havendo registro de ruptura envolvendo seus taludes.

Nesse tipo de barragem, o enrocamento (pedras) garante a estabilidade dos taludes (montante e jusante) e o núcleo argiloso garante a estanqueidade da barragem. O controle da percolação pelo corpo da barragem é garantido pela diferença granulométrica das rochas que compõem o enrocamento para com a argila. Esse fator evita o fenômeno do piping na barragem.

Figura 10: Barragem de terra/enrocamento.



Fonte: Costa (2012).

3.3. INSTRUMENTAÇÃO DE AUSCUTAÇÃO CIVIL

Define-se como auscultação o conjunto de métodos de observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar as suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculo utilizados no projeto, verificar a necessidade da utilização de medidas corretivas, fornecer subsídios para a elaboração de novos critérios de projeto.

A instrumentação presente nas barragens são a ferramenta para diagnosticar seu estado de saúde, possibilitando, a partir de seus resultados, intervenções preventivas e corretivas, minimizando os acidentes e aumentando a segurança de todos.

De acordo com o capítulo 3, item 3.1, do Volume VII do Manual do Empreendedor da ANA (2016), os equipamentos devem ser inspecionados e verificados a intervalos regulares, devendo ser adotado um tipo de manutenção adequado à sua quantidade e complexidade, bem como à sua importância nos procedimentos de operação e na funcionalidade e segurança da obra.

“Toda barragem deve ser instrumentada, de acordo com seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente com a realização das leituras. Todos os instrumentos devem ser dotados de valores de controle ou limites.” (Manual de Segurança e Inspeção de Barragens - MME, 2002).

3.3.1. Medidores de Vazão

A medição das vazões de infiltração é uma das medidas mais importantes em termos de supervisão das condições de segurança das barragens, pois os problemas mais graves que afetam uma barragem se manifestam, normalmente, por aumentos súbitos, ou não, de vazão, durante a fase de enchimento do reservatório e durante o período operacional.

Através de fórmulas hidráulicas, o Medidor de Vazão permite calcular a vazão do fluxo vertente. Esses instrumentos visam identificar e quantificar possíveis infiltrações na barragem.

Os medidores de vazão são um importante indicador de anomalias internas ao maciço, pela possibilidade de identificação de carregamento de finos.

Figura 11: Medidor de Vazão.



Fonte: Acervo da empresa ISB - Instrumentação e Segurança de Barragens.

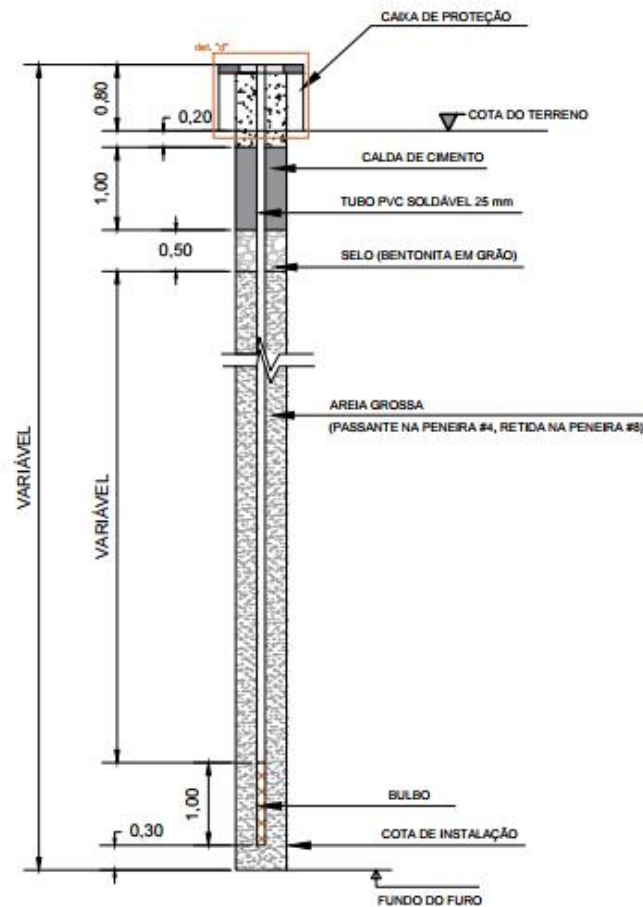
3.3.2. Medidores de Nível d'água

É um instrumento que indica a leitura instantânea do nível d'água em um determinado local e em uma situação específica. São utilizados para medir a posição da linha freática no maciço de solo compactado e no terreno de fundação.

São instalados em furos de sondagens e são construídos com tubo de PVC perfurados e envoltos com manta Geotêxtil (Bidim). A leitura é feita com um cabo graduado ligado a um sensor elétrico.

Deve ser entendido que a Cota de Instalação é uma referência para a posição de fundo do bulbo (de 1,00 m) que, no caso, equivale à Cota de Fundo. A cota de instalação deve ser usada no cadastro de cada instrumento e nas verificações necessárias.

Figura 12: Perfil de instalação de um medidor de nível d'água.



Fonte: Acervo ISB.

3.3.3. Piezômetros

A função desse tipo de instrumento é informar a carga de pressão no ponto em que foi instalado. Existem alguns tipos de piezômetros, entre os mais importantes, destaca-se:

- I. **Piezômetro de tubo aberto:** é constituído de um bulbo, instalado no local onde se pretende medir a carga de pressão, e um tubo que liga o bulbo até o local onde será feita a leitura. Conhecida a carga de pressão, calcula-se a carga total naquele ponto somando-se a cota de instalação do instrumento e a coluna d'água sobre o mesmo. O valor de leitura fornecido pelos PZAs é a cota piezométrica, dada sempre em relação ao nível do mar. Os valores de cotas piezométricas fornecidos pelos piezômetros standpipe variam em função do nível do reservatório.

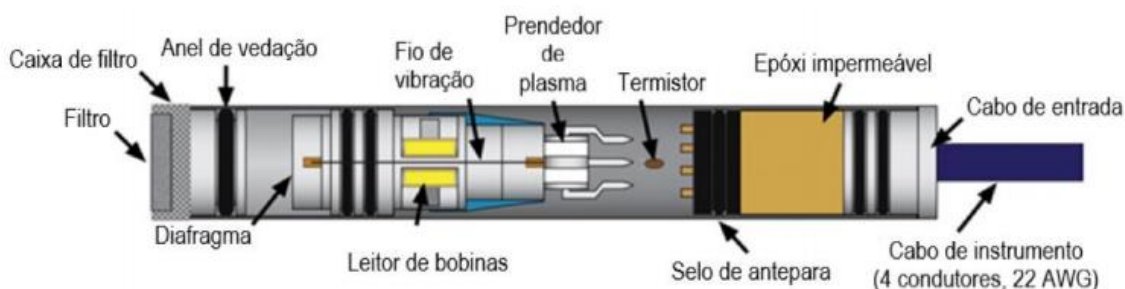
Figura 13: Piezômetro de tubo aberto.



Fonte: Acervo ISB.

- II. **Piezômetro elétrico de corda vibrante:** os Piezômetros Elétricos (PZEs) são instrumentos utilizados para o monitoramento da pressão de água em estruturas geotécnicas, medida através da deformação de um diafragma interno, cuja deflexão é medida por um sensor de corda vibrante instalado perpendicularmente ao plano do diafragma. O instrumento é constituído por um cilindro de aço inox que aloja uma pedra porosa na extremidade que permite a passagem de fluido, mas impede que as partículas de solo entrem em contato diretamente com o diafragma. O transdutor usa um diafragma sensível à pressão com um elemento de corda preso a ele. O diafragma é soldado a uma cápsula hermeticamente selada a vácuo. Pressões de fluidos agindo sobre a face externa do diafragma causam deflexões do diafragma e alterações na tensão e frequência da corda vibrante. A mudança da frequência é captada e transmitida ao dispositivo de leitura por uma bobina elétrica atuando através das paredes da cápsula. Considera-se que os PZEs de corda vibrante são instrumentos que apresentam fragilidade em função de fatores externos, tais como: descargas atmosféricas, diferenças de frequência elétrica de motores próximos aos instrumentos e outras. São instrumentos com previsão de fábrica com durabilidade de 10 anos.

Figura 14: Esquema típico de um Piezômetro de Corda Vibrante



Fonte: Acervo ISB.

3.4. BARRAGENS NO BRASIL

A mais antiga barragem que se tem notícia em território brasileiro foi construída onde hoje é a área urbana do Recife-PE, possivelmente no final do século XVI, antesmesmo da invasão holandesa na região.

As barragens de rejeito no país surgiram das atividades de mineração de ouro há cerca de 300 anos, sendo a Mina da Passagem, em Mariana (MG), a primeira mina que utilizou técnicas não rudimentares para a lavagem e beneficiamento do minério.

Nas regiões Sul e Sudeste, a implantação de barragens foi principalmente direcionada para produção de energia hidrelétrica. No final do Século XIX, começaram a ser implantadas pequenas usinas para suprimento de cargas modestas e localizadas, todas com barragens de dimensões discretas. A maior parte das barragens eram estruturas de concreto, gravidade ou de alvenaria de pedra, não muito altas.

Segundo o Relatório de Segurança de Barragens da ANA, existem hoje aproximadamente 21.953 barragens cadastradas por 33 órgãos fiscalizadores no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB).

Apesar de a consolidação de barramentos em solo brasileiro ser importante no âmbito de provimento de energia, água para abastecimento, irrigação etc., a existência dessas estruturas e de seus reservatórios associados estão também relacionadas a riscos que incidem sobre as populações residentes a jusante dessas estruturas, sendo a ruptura total ou parcial do maciço o mais grave problema associado (COLLISCHONN, 1997).

De 1940 a 2019 foram documentados 57 casos de rompimento de barragens no Brasil, 1 rompimento a cada 110 dias. No ano de 2020, foram documentadas 44 casos de rupturas, totalizando 1 rompimento a cada 8 dias no período em escala nacional.

Figura 15: Histórico de rompimento de barragens observados no Brasil de 1940 a 2019.

Década								
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	
Ema	Pampulha	Orós	Euclides da Cunha	Boa Esperança	Macacos	Rio Verde	Itabirito	Cacimba Nova
Duas Bocas		Santa Cruz	Limoeiro	Santa Helena	Emas	Cataguases	Laranjal do Jari	Barreiros
		Trairi	Poquim	Fernandinho		Mirai	Herculano	Lageado
				Pico São Luiz		Espora	Camocim	CGH Agromar
				Mulungu		Apertadinho	Analandia	Fazenda Boa Sorte
				Santa Helena		Algodões	Boa Vista do Uru	Fazenda Bom Jardim
						Camará	Vacaro	Brumadinho
						Nova Lima	Coronel Sapucaia	Salgadinho
							Zampieri	Passagem da onça
							Buritis	Mimosos
							Fundão	Moeda
							Alta Grande	João Falqueto
							Fazenda Felicia	B2 Ribeirão Bom Sucesso
							Fazenda Guavirova	Malhada
							Balneario Ayrton Senna	Conquista do Caiboté
							Rincão dos Kroeff	Açude Alto Amorim

Fonte: Tschiedel, 2022

3.5. SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL

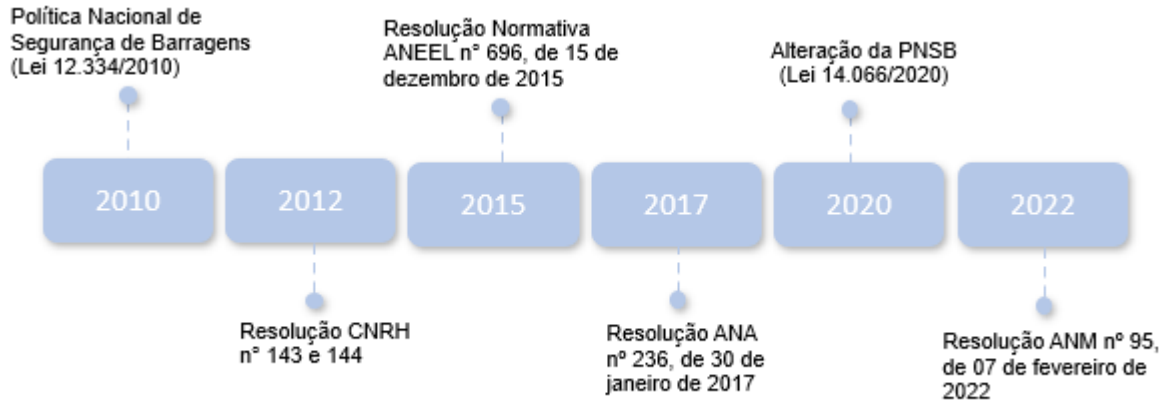
“Segurança de barragem é uma condição que visa a manter a sua integridade estrutural e operacional, de modo a minimizar o risco de incidentes ou acidentes, para que cumpra sua finalidade e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.” ANA (2021).

Mesmo que o barramento esteja operando adequadamente e esteja com a manutenção em dia, toda barragem possui risco de rompimento do maciço, que pode gerar uma onda de ruptura, consideravelmente superior ao escoamento médio do rio, podendo causar sérios danos materiais e perdas de vidas humanas.

Em virtude dos recentes acidentes ocorridos em barragens no Brasil e seguindo a Lei Federal 14.066/20 (alteração da Lei Federal Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010), que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), fica prescrita a obrigatoriedade da exigência dos relatórios de inspeção pelo órgão

fiscalizador, tornando a atividade de inspeção, bem como seu relato, uma obrigatoriedade ao empreendedor.

Figura 16: Cronologia da legislação para segurança de barragens no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O responsável pela segurança de uma barragem é o empreendedor, que pode ser quem utiliza a barragem para diferentes usos (reservar água, aproveitamento de queda d'água para geração de energia, conter rejeitos de mineração, conter resíduos industriais etc.) ou o dono da terra onde está localizada a barragem.

Para garantir condições satisfatórias de segurança em uma barragem, devem ser adotadas algumas medidas de prevenção e controle, as quais serão revisadas nesse presente estudo. Tais medidas não acabam com as possibilidades de acidentes, mas asseguram uma probabilidade reduzida que ocorram e devem ser complementadas com medidas de defesa civil.

As condições de segurança das barragens devem ser periodicamente revisadas, levando em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e deterioração das estruturas ou de outros fatores, como o aumento da ocupação nos vales a jusante.

Devem ser adotados procedimentos pelos empreendedores, visando assegurar adequadas condições de segurança para as barragens pelas quais são responsáveis, ao longo das diversas fases da vida das obras, designadamente, as fases de planejamento e projeto, de construção e primeiro enchimento, de operação e de descomissionamento (desativação).

Do ponto de vista do empreendedor, a avaliação da segurança de uma barragem é realizada nas Inspeções de Segurança, na Revisão Periódica da Segurança da Barragem e na aplicação de procedimentos rotineiros previamente estabelecidos no Plano de Operação, Manutenção e Instrumentação da Barragem.

3.5.1. Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)

A Lei Nº 12.334/ 2010 (alterada pela Lei 14.066/2020) estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos.

Com a criação da lei, criou-se também o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), onde pode-se consultar informações sobre as barragens do Brasil. O sistema reúne o cadastro de barragens de usos múltiplos da água, de geração de energia elétrica, de contenção de resíduos industriais e de contenção de rejeitos de mineração, abrangendo tanto o que são fornecidos à lei, quanto o que não são.

O objetivo principal da PNSB é estabelecer obrigações aos órgãos fiscalizadores e empreendedores das barragens, além de estabelecer infrações e sanções. No Capítulo V da Lei, lista-se as mais de 22 obrigações do empreendedor, entre as quais destaca-se:

- Cadastrar e manter atualizada as informações no SNISB;
- Elaborar PSB, RPS, PAE (quando necessário) e implementá-lo;
- Realizar Inspeções e executar as recomendações dessas e da RPS;
- Manter registros como níveis do reservatórios e dados de instrumentação.

As barragens que se enquadram na PNSB são qualquer uma que contenham as seguintes características:

- Capacidade total maior que 3 milhões de m³;
- Dano Potencial Associado (DPA) médio ou alto;

- Altura do maciço maior que 15 metros;
- Categoria de Risco Alto;
- Reservatório que sonheta resíduos perigosos.

De acordo com a lei, a segurança da barragem é responsabilidade do empreendedor, enquanto a responsabilidade pela fiscalização da segurança das barragens é dividida entre quatro grupos, de acordo com a finalidade da barragem. São eles:

- I. Barragens para geração de energia: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);
- II. Barragens para contenção de rejeitos minerais: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM);
- III. Barragens para contenção de rejeitos industriais: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) ou órgãos ambientais estaduais, a depender da emissão da Licença Ambiental;
- IV. Barragens de usos múltiplos: Agência Nacional de Águas (ANA) ou de órgãos gestores estaduais de recursos hídricos.

Estabelecida a PNSB, os órgãos reguladores ficaram responsáveis por elaborar regulamentações que detalhassem alguns artigos da referida lei. Entre essas regulamentações, se destacam:

- ✓ Resolução ANA nº 742/2011: Com base no Art. 9º da Lei nº 12.334, estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regular de barragem;
- ✓ Resolução ANA nº 91/2012: Com base nos artigos 8º, 10º e 19º da Lei nº 12.334, estabelece a periodicidade de atualização, qualificação dos responsáveis técnicos, conteúdo mínimo e nível de detalhamento do Plano de Segurança de Barragem (PSB) e da Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB);

- ✓ Resoluções CNRH nº 143 e nº144 de 2012: Com base nos artigos 7º e 20º da Lei nº 12.334/2010, define parâmetros como os critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e volume, e diretrizes para a implementação da PNSB, aplicação de seus instrumentos e atuação do SNISB;
- ✓ Resolução Normativa ANEEL nº 696/2015: Estabelece regras para a definição de critérios de classificação, formulação do Plano de Segurança e do PAE, realização de inspeções de segurança regular e especial, e a realização da Revisão Periódica de Segurança para barragens de geração de energia elétrica;
- ✓ Resolução ANA nº 236/2017: Substitui as resoluções 742/2011 e 91/2012 e determina o padrão das fichas de inspeção, extratos de inspeção e relatórios de inspeção regulares.

3.5.2. Classificação das Barragens

Com o objetivo de diferenciar o universo das barragens, quanto à abrangência e frequência das ações de segurança, e funcionando como ferramenta de planejamento e gestão, na PNSB as barragens são classificadas, quanto a categoria de risco e dano potencial associado.

Quanto a categoria de risco (CRI), pode ser alto, médio ou baixo, em função de características técnicas, estado de conservação e atendimento ao Plano de Segurança da Barragem (PSB). Tendo enfoque na estrutura da barragem.

Quanto ao dano potencial associado (DPA) pode ser alto, médio ou baixo, em função de potencial perda de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem. Tem enfoque na área afetada a jusante da barragem.

A classificação das barragens segundo a ANA é dada na Resolução Nº 143, de 10 de julho de 2012, pela Resolução Nº 132, de 22 de fevereiro de 2016 e pela Resolução Nº 236, de janeiro de 2017.

Quadro 1: Matriz de classificação de barragens da ANA.

	Dano potencial associado		
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	D	D

Fonte: Adaptado ANA,2017.

A classificação das barragens segundo a ANEEL é dada na Resolução N° 696, de 15 de dezembro de 2015.

Quadro 2: Matriz de classificação de barragens da ANEEL.

	Dano potencial associado		
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: Adaptado ANEEL, 2015.

A classificação da barragem (A, B, C ou D no caso na ANA) determinará a periodicidade da elaboração da Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB), a necessidade de realizar inspeções de segurança especiais (ISE) e inspeções de segurança regular (ISR).

Quadro 3: Resumo das especificidades de acordo com a classificação ANA.

Classificação	Obrigatoriedade de PAE	Periodicidade da RPS	Periodicidade das ISR
A	Sim	5 anos	1 ano
B	Sim	7 anos	1 ano
C	Não *	10 anos	1 ano
D	Não *	12 anos	2 anos

*Somente se solicitado pela fiscalização

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 4: Resumo das especificidades de acordo com a classificação ANEEL.

Classificação	Obrigatoriedade de PAE	Periodicidade da RPS	Periodicidade das ISR
A	Sim	5 anos	6 meses
B	Sim	7 anos	1 ano
C	Não *	10 anos	2 anos

*Somente se solicitado pela fiscalização

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.3. Plano de Segurança de Barragem (PSB)

Todas as barragens enquadradas na PNSB devem possuir o Plano de Segurança da Barragem (PSB). Este documento consolida todas as informações referentes à barragem e a sua segurança. Neles constam os dados do empreendedor, dados técnicos do empreendimento, inspeções de segurança, Revisões Periódicas de Segurança (RPS), PAE, etc.

As informações sobre a realização do PSB constam na Lei Nº 12.334/ 2010 (alterada pela Lei 14.066/2020) em sua Seção II, na Resolução Nº 236, de janeiro de 2017, da ANA, em seu Capítulo II e no Volume I do Manual do Empreendedor sobre Seguranças de Barragens da ANA.

Para as barragens com enfoque em geração de energia, vistoriadas pela ANEEL, as informações sobre o PSB constam no Capítulo II da Resolução Nº 696, de 15 de dezembro de 2015 e também seguem a Lei Nº 12.334/ 2010 (alterada pela Lei 14.066/2020).

Quadro 5: Elaboração do PSB.

Orgão Fiscalizador	Documento para consulta	Orientação e conteúdo mínimo
ANEEL	Lei 12.334/2010 e Resolução ANEEL nº 695/2015	Indica que deverá ser aquele que consta no art 8 da Lei 12.334/2010
ANA	Resolução ANA nº 236/2017 e Volume I - Instruções para Apresentação do Plano de Segurança da Barragem (ANA, 2016)	Conteúdo mínimo do Anexo II da Resolução ANA nº 236/2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.4. Plano de Ação e Mergência (PAE)

O PAE é parte integrante do PSB. De acordo com o Bureau of Reclamation (1987), é um plano a ser colocado em prática para reduzir o potencial de dano à propriedade e de perda de vidas, em uma área afetada pela ruptura de uma barragem ou por uma inundação significativa. Segundo Art. 12 da Lei Nº 12.334/2010, “o PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso

de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência”.

Independente da classificação quanto ao dano potencial associado e ao risco, a elaboração do PAE é obrigatória para todas as barragens destinadas a acumulação ou disposição de rejeitos de mineração.

O PAE é embasado em um estudo de rompimento hipotético da barragem, que irá definir, entre outras coisas, as manchas de inundação possíveis para diferentes cenários de rompimento e operação extrema. Seus principais estudos são os mapas de áreas inundáveis, de tempo de chegada de onda de cheia, velocidades e risco hidrodinâmico e as seções traçadas na área a jusante com vazão máxima e níveis máximos.

Quadro 6: Elaboração do PAE.

Órgão Fiscalizador	Documento para consulta	Orientação e conteúdo mínimo	Classe de Barragens que necessitam de PAE	Atualização do PAE
ANEEL	Lei 12.334/2010 e Resolução ANEEL nº 695/2015	Indica que deverá ser aquele que consta no art 12 da Lei 12.334/2010	Classe A e B ou quando solicitado pelo órgão fiscalizador	Revisado na realização de cada RPSB
ANA	Lei 12.334/2010, Resolução ANA nº 236/2017 e guia de orientação e formulários do Plano de Ação de Emergência - PAE (ANA, 2016)	Indica que deverá seguir as orientações do art 12 da Lei 12.334/2010 e o conteúdo mínimo do Anexo II da Resolução ANA nº 236/2017	Classe A e B ou quando solicitado pelo órgão fiscalizador	Revisado na realização de cada RPSB (Anualmente devem ser atualizadas algumas informações contidas na no Art. 24 da Seção II do Cap VI desta resolução)

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6. INSPEÇÕES DE SEGURANÇA EM BARRAGEM DE TERRA-ENROCAMENTO

Ao longo da vida útil do barramento as instalações devem ser inspecionadas, para considerar alterações resultantes do envelhecimento e deteriorização das estruturas, entre outros fatores.

“As Inspeções de Segurança servem para avaliar as condições físicas das partes integrantes da barragem, visando a identificar e monitorar anomalias que afetem potencialmente sua segurança” (ANA, 2020).

Entre as as inspeções existentes e apresentadas no Volume II (Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem) do Manual do

Empreendedor sobre Seguranças de Barragens da ANA destaca-se as inspeções de segurança regular e especial.

Lei 12.334/2010 - Art. 9º “As inspeções de segurança regular e especial terão a sua periodicidade, a qualificação da equipe técnica responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado”.

O olho humano (treinado) é o melhor instrumento para realização das inspeções, pois nenhum outro método tem potencial de integrar rapidamente toda a situação. A inspeção pode ser feita por um profissional apenas, experiente e generalista, ou por equipe multidisciplinar, dependendo do objetivo.

3.6.1. Inspeção de Segurança Regular (ISR)

A inspeção de segurança regular tem por objetivo detectar a existência de anomalias e perigos em potencial da barragem e é uma obrigação do empreendedor, devendo ser feito em uma periodicidade estabelecida em função da categoria de risco e o dano potencial associado da barragem da barragem. A equipe técnica que realizará a ISR deve conter no mínimo um engenheiro civil.

Segundo a resolução normativa Nº 696, de 15 de dezembro de 2015, sancionada pela ANEEL, “a inspeção de segurança regular deverá abranger todas as estruturas do barramento e demais estruturas associadas e retratar suas condições de segurança, conservação e operação”.

O produto final da ISR consiste em um relatório com as observações de campo sobre o comportamento das estruturas, condições de conservação do empreendimento, lista dos aspectos observados, análise dos dados de monitoramento, etc.

O Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB) deverá constar no Relatório da ISR. A ISR deverá ser realizada pelo empreendedor, no mínimo, uma vez por ano. No caso de o NPGB ser classificado como Emergência, o empreendedor deverá informar imediatamente à ANA e à defesa civil.

O nível de perigo da barragem, segundo o art. 7 da Resolução ANA nº 742/2011, deve ser classificado em 4 categorias, em função do tipo de anomalias, sua evolução e da urgência de medidas corretivas, conforme Figura 17.

A ANEEL não comenta que o nível de segurança da barragem será no mínimo igual ao nível de perigo da anomalia de maior gravidade.

Figura 17: Nível de Perigo Global da Barragem ANA.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> a) Normal: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem. b) Atenção: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada. c) Alerta: quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las. d) Emergência: quando o efeito conjugado das anomalias representa alta probabilidade de ruptura da barragem. |
|--|

Fonte: Res. ANA nº 236,2017.

Figura 18: Nível de Perigo Global da Barragem ANEEL.

VI – diagnóstico do nível de segurança da barragem, de acordo com estas categorias:

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> a) normal: quando não houver anomalias ou as que existirem não comprometerem a segurança da barragem, mas que devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo; b) atenção: quando as anomalias não comprometerem a segurança da barragem no curto prazo, mas exigirem monitoramento, controle ou reparo ao decurso do tempo; c) alerta: quando as anomalias representem risco à segurança da barragem, exigindo providências para manutenção das condições de segurança; e d) emergência: quando as anomalias representem risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais. |
|--|

Fonte: Res. ANEEL nº 696,2015.

3.6.2. Inspeção de Segurança Especial (ISE)

A inspeção de segurança especial tem por objetivo avaliar as condições de segurança da barragem em situações específicas, devendo ser realizada por equipe multidisciplinar de especialistas nas fases de construção, operação e desativação (Figura 19).

As ISE são, geralmente, executadas após eventos de magnitude excepcional ou na ocorrência de deficiências severas.

O produto final da ISE consiste em um relatório com as observações de campo e recomendações sobre a inspeção visual da barragem e das estruturas com diagnóstico e avaliação do problema, análise dos dados de monitoramento, conclusões e recomendações a respeito das anomalias.

Figura 19: Equipe-chave mínima, em função da anomalia ou do evento causador da ISE - ANA.

Anomalia/evento	Equipe mínima a ser alocada	
	Barragem de terra	Barragem de concreto
Fissuras, erosão interna, deslizamentos de taludes	Engenheiro geotécnico/civil	
Aberturas de juntas, fissuras no concreto, deteriorações do concreto associadas a reações químicas, movimentos nos taludes	Engenheiro civil	Engenheiro estrutural/civil
Deplecionamento rápido do reservatório	Engenheiro geotécnico/civil	Engenheiro estrutural/civil
Galgamento	Engenheiro geotécnico Engenheiro hidráulico/civil	Engenheiro estrutural/civil Engenheiro hidráulico/civil
Chelas, sismos e secas	Engenheiro geotécnico Engenheiro hidráulico/civil	Engenheiro estrutural/civil Engenheiro hidráulico/civil
Descomissionamento	Engenheiro geotécnico Engenheiro hidráulico/civil	Engenheiro estrutural/civil Engenheiro hidráulico/civil
Revisão periódica	Engenheiro geotécnico Engenheiro estrutural/civil Engenheiro hidráulico/civil	Engenheiro estrutural Engenheiro geotécnico/civil Engenheiro hidráulico/civil

Fonte: ANA, 2016. Manual do Empreendedor. Vol. II.

3.7. ANOMALIAS EM BARRAGEM DE TERRA ENROCAMENTO

Segundo Santos (2019) ao longo do tempo de vida útil de uma barragem podem surgir diversos tipos de anomalias, que podem ser capazes de abalar o desempenho do barramento e de suas demais estruturas, podendo até mesmo resultar em um rompimento ou galgamento da barragem, caso não sejam identificadas e tratadas a tempo, e consequentemente trazem riscos às populações localizadas no seu entorno.

3.7.1. Recalques, trincas e fissuras

Visto que as barragens de terra e enrocamento são estruturas construídas a partir da compactação de camadas de materiais terrosos, ao longo do tempo, devido às características de “acomodação” do material, o maciço pode se movimentar verticalmente para baixo, chamado de recalque.

Tal movimentação é considerada normal, até um certo valor de deslocamento, e é prevista em cálculos e estudos na fase de projeto. Os problemas causados por essa movimentação estão associados ao aparecimento de trincas nas estruturas.

A aparição de trincas em maciços é bastante perigosa e pode causar a danificação dos instrumentos de auscultação civil presentes no talude. Estruturas de terra e enrocamento (Barragens) que devem reter água, não podem sofrer com a formação de aberturas, ou podem ser levadas à ruptura.

Em barragens de aterro, as fissuras podem ser classificadas em termos de dimensão, de acordo como visto no Quadro 7.

Quadro 7: Classificação das fissuras em barragens.

Dimensão	Abertura (mm)	Designação
pequena	$0,2 < e \leq 1$	pequena
média	$1 < e \leq 5$	significativa (trinca)
grande	$e > 5$	pronunciada (rachadura)

Fonte: ANA, 2014.

As fissuras que se desenvolvem nas barragens de terra podem ser classificadas de acordo com a sua localização em fissuras interiores e exteriores, e relativamente à sua posição em fissuras longitudinais e fissuras transversais. No entanto, pode ocorrer, simultaneamente, todas as combinações dessas situações.

A maior parte das fissuras referidas na literatura especializada são exteriores e, conseqüentemente, visíveis. Constata-se, no entanto, a existência de fissuras interiores no corpo da barragem, resultantes de variações do estado de tensão do maciço.

As fissuras longitudinais (Figura 20) se desenvolvem paralelamente ao eixo da barragem, enquanto as transversais (Figura 21) interceptam horizontalmente ou verticalmente o aterro. As fissuras transversais são as mais perigosas, pois podem criar um caminho preferencial de percolação da água no sentido montante-jusante,

resultando em uma queda da resistência do material compactado do aterro influenciando na estabilidade do barramento.

Figura 20: Fissuras longitudinais.



Fonte: ANA, 2014.

Figura 21: Fissuras transversais.



Fonte: ANA, 2014.

3.7.2. Surgências

Surgência se dá ao nome da “aparição” de água nas estruturas externas da barragem. É um sinal de que a água está percolando pelas estruturas ou fundações.

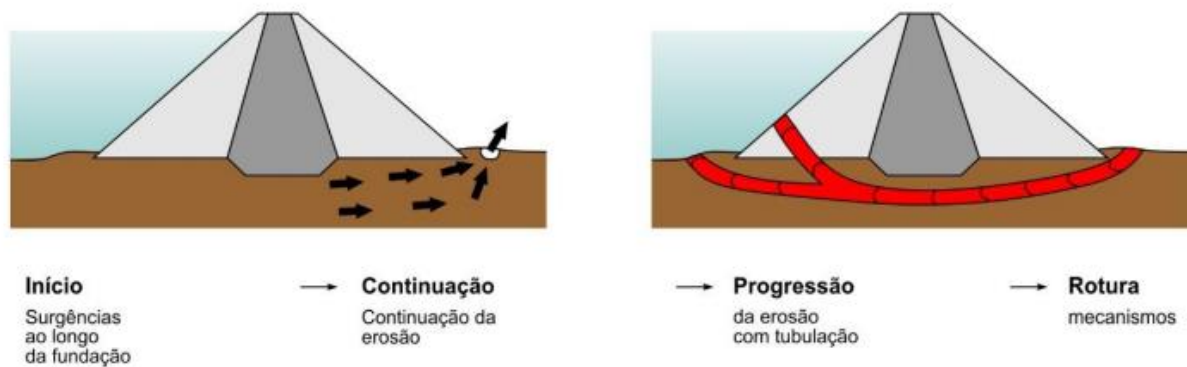
A surgência pode ser consequência de entupimento das drenagens ou falhas de projeto e construção. O encharcamento provocado por elas altera as propriedades físicas dos aterros, como diminuição da coesão entre partículas, podendo gerar instabilidade no maciço.

Pode se transformar em um grande problema quando houver o carregamento do solo do maciço ou da fundação, pelo fluxo de água da barragem ou quando ocorrer um acréscimo de pressão na fundação ou no barramento (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI, 2002).

Entre as principais consequências da percolação da água pela barragem, tem-se: processo de erosão interna (piping) (Figura 22); aumento da poropressão e saturação do maciço, perdendo a resistência do mesmo.

A percolação de água pela barragem pode ser aliviada com a utilização de drenos internos (verticais e inclinados), filtros, dreno de pé, tapete horizontal, etc. Para que a água seja interceptada e descarregada em segurança e de maneira controlada e monitorada.

Figura 22: Processo de piping.



Fonte: Modificado Foster, 1999.

3.7.3. Erosão

Os processos de erosão nos barramentos ocorre quando um flúido (comumente água ou ar) provocam o carreamento do material do barramento.

Consiste no desprendimento, desgaste, transporte e sedimentação de partículas de solo em virtude da atuação de forças causadas pelo fluxo de água (FILHO, 2013).

Essa anomalia normalmente é ocasionada por ações de águas pluviais (impacto da chuva em si e seu escoamento) que causam pequenas depressões, as quais progridem e dão origem as erosões. Também pode ocorrer a Erosão lateral por transbordamento das águas (no caso de incapacidade de contenção) e/ou pela saída das águas em caso de desvio de alinhamento ou entroncamento de linhas de canaletas, sem caixas de passagem.

A erosão superficial é um dos problemas de manutenção mais comuns nos taludes de aterro. Se não for corrigida a tempo, pode trazer sérios danos à estrutura, tais como ravinamentos.

Figura 23: Erosão.



Fonte: ANA, 2014.

3.7.4. Vegetação de médio e grande porte

O crescimento de árvores e arbustos, nos taludes de montante e jusante, e na área imediatamente a jusante da barragem, deve ser evitado. Esse tipo de vegetação é um obstáculo ao se realizar inspeções visuais, pois dificultam a observação de percolações, fissuras, afundamentos, etc. Em caso de emergência no empreendimento ou até mesmo nas atividades de operação normal, o acesso pode ser prejudicado por esse tipo de vegetação.

O crescimento de raízes podem causar danos nas estruturas, criar um caminho preferencial de percolação da água e obstruir descarregadores, adutores de água, drenos, etc.

Recomenda-se que seja mantida uma faixa de, pelo menos, 10 metros, a partir do pé de talude de jusante, conforme orientações da Agência Nacional de Águas (Volume II do Manual do Empreendedor), a favor da segurança e possibilitando uma visão ampla das estruturas da barragem. A retirada das árvores deve ser realizada de acordo com as exigências dos órgãos de monitoramento ambiental local.

3.7.5. Colônias de animais

É necessário que a erradicação de formigueiros, cupinzeiros e tocas de animais seja uma atividade rotineira na estrutura da barragem, visto que o surgimento de colônias se manifesta de forma generalizada e progressiva. A tendência dessas

colônias é evoluir por caminhos subterrâneos, criando poros no maciço que podem favorecer a percolação da água.

Deve-se desencorajar as atividades (pela eliminação da fonte de alimentação e hábitat) de animais visando prevenir tocas dentro do maciço e possíveis caminhos de percolação

3.7.6. Falha na proteção dos taludes

No talde de montante, o desgaste natural dos blocos do riprap (enrocamento de proteção) é um fator bastante comum e visualizado nas inspeções de segurança. Diversos são os fatores que influenciam esse desgaste, entre eles: ação de intempéries, exposição a ações sazonais (variação térmica, de umidade, etc.).

Para a proteção no talude jusante, usualmente utiliza-se a proteção vegetal (gramíneas), e a ocorrência de falhas se dá pela falta de manutenção, poda e crescimento de pragas. Vegetações rasteiras, não sendo do tipo nativo, exigem cuidados e tratamentos mais adequados, para o seu bom fortalecimento e adaptação.

4. ESTUDO DE CASO

Em complemento ao objetivo proposto por esse trabalho é apresentado a seguir um relatório de inspeção realizado pelo autor durante o estágio na empresa ISB – Instrumentação e Segurança de Barragens, com sede em Ilha Solteira/SP.

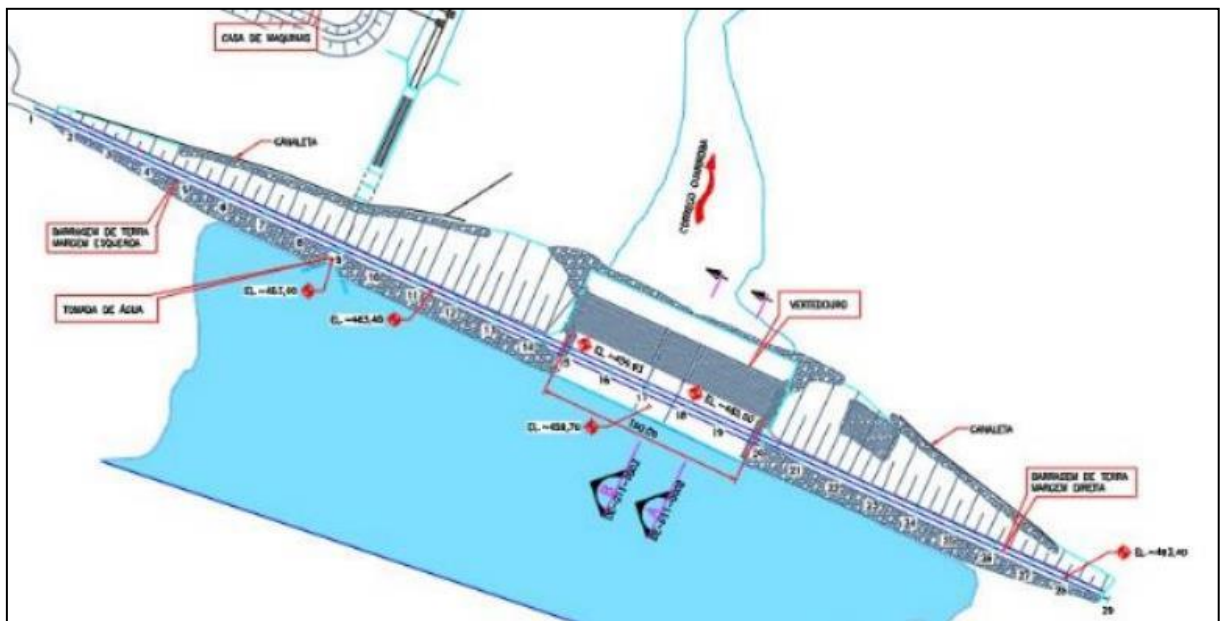
Tal relatório tem por objetivo relatar as observações de campo feitas na inspeção de segurança da Barragem Guariroba, no dia 25 de junho de 2022, bem como apresentar os resultados do monitoramento mensal dos instrumentos de auscultação civil instalados nas estruturas da barragem e do vertedouro.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Barragem Guariroba está localizada no córrego Guariroba, na cidade de Campo Grande (MS), mais precisamente nas coordenadas de 20°30'26,71" S e 54°15'04,91" O, e compõe a estrutura de uma das principais fontes de abastecimento de água do município. Sua estrutura tem finalidade de barramento e contenção do volume útil transportado pelo córrego, para garantir a possibilidade de captação em manancial superficial, mesmo em situações e estações desfavoráveis.

Em definição técnica, trata-se de uma barragem de regularização de terra, com 550 metros de extensão total, 13 metros de altura e seis metros de largura de crista e conta com a estrutura extravasora de um vertedouro de concreto, como representado na Figura 24.

Figura 24: Croqui de representação da Barragem Guariroba.



Fonte: Projeto As Is - VLB Engenharia, 2019.

Há, ainda, em conexão direta com o sistema de abastecimento, duas tomadas d'água em tubulação de aço. Uma síntese das informações técnicas da barragem é apresentada no Quadro 8.

Quadro 8: Características gerais da Barragem Guariroba.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA BARRAGEM	
Denominação oficial	Guariroba
Concessionária	Águas Guariroba
Entidade fiscalizadora	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL
LOCALIZAÇÃO	
Rio	Guariroba
Município	Campo Grande
Unidade da Federação	Mato Grosso do Sul
Coordenadas	20°30'26,71" S
	54°15'04,91" O
Existência de Barragens a montante e a jusante	Não
BARRAGEM MARGEM DIREITA	
Tipo	Terra
Altura máxima acima da fundação	18,00 m
Cota do coroamento	463,00 m
Largura do coroamento	5,35 m (Projeto As Is)
Comprimento do coroamento	180,00 m
Inclinação do paramento de montante	1,00V:3,00H
Inclinação do paramento de jusante	1,00V:3,17H
BARRAGEM MARGEM ESQUERDA	
Tipo	Terra
Altura máxima acima da fundação	18,00 m
Cota do coroamento	463,00 manm
Largura do coroamento	5,80 m (As Is)
Comprimento do coroamento	250,00 m
Inclinação do paramento de montante	1,00V:2,92H
Inclinação do paramento de jusante	1,00V:2,58 a 3,05H
BACIA HIDROGRÁFICA	
Rio Paraná	
Área	362 km²
VERTEDOURO	
Tipo	Soleira Livre (tipo Soleira Espessa)
Localização	Leito do Rio
Comprimento da crista	100,00 m
Capacidade de Descarga (vazão decamilenar)*	95,60 m³/s
Dissipação de energia	Degraus
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS REGIONAIS	
Fundação	Solo Residual/Colúvio
Suscetibilidade a escorregamento de taludes do reservatório	Baixo risco de ocorrência
Sismicidade potencial	Baixo risco de ocorrência
RESERVATÓRIO	
Nível Máximo Normal	459,70 manm
Nível Máximo <i>Maximorum</i> (Decamilenar)	460,70 manm
Volume (Nível Máximo Normal)	3,4 hm³

Fonte: PSB, Volume I – Informações Gerais – Barragem de Guariroba.

O acesso a barragem se dá pela BR-262, entre as cidades de Ribas do Rio Pardo e Campo Grande, como apresentado na Figura 25 e, posteriormente, adentrando a área rural de instalação do empreendimento.

Figura 25: Acesso à Barragem Guariroba.



Fonte: Google Earth.

4.2. EQUIPE ENVOLVIDA NA INSPEÇÃO

A inspeção de segurança, realizada mensalmente na Barragem Guariroba, segue as orientações para inspeções regulares descritas no “Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem”, da Agência Nacional de Águas (ANA), bem como instruções, exigências e condições estabelecidas na Lei nº 12.334/2010, e atualizações estabelecidas na Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.

Conforme considerações da ANA (Volume III do Manual do Empreendedor), trata-se de uma barragem de médio porte. Em atenção aos moldes da inspeção regular de segurança estabelecidos pela ANA (Volume II do Manual do Empreendedor), para barragens de médio porte, não há necessidade de equipe chave multidisciplinar, porém, considerando a realização do serviço por empresa contratada, a equipe deve contar com engenheiro responsável. Em atenção à Lei nº 12.334/2010, a equipe deverá ser integrada por profissionais treinados e capacitados.

Em atendimento à todas as exigências, a equipe técnica que atuou nos serviços de inspeção é relacionada abaixo:

- Fabrício Vieira Fernandes – Engenheiro Civil, especialista em Segurança de Barragens;
- Valdecir Vieira – Gerente Técnico;
- Alberto Ricardo Golfeto Filho – Assistente Técnico.

4.3. ROTEIRO DE INSPEÇÃO

A inspeção de segurança da Barragem Guariroba foi realizada no dia 25 de junho de 2022 nas dependências do empreendimento.

A princípio, desde o portão de acesso, são observadas as condições da estrada e infraestrutura geral dentro do perímetro do empreendimento. Nas estruturas do barramento, a inspeção inclui a observação de todas as zonas não submersas da barragem, designadamente, o talude de montante, o talude de jusante, a crista, as ombreiras, o pé da barragem, as áreas a jusante, as interfaces com estruturas auxiliares e a zona do reservatório. (ANA, 2016)

A metodologia empregada na inspeção foi análise visual, de forma que toda a superfície dentro do perímetro do empreendimento fosse coberta visualmente a uma distância de, no máximo, 10 metros, limitando-se aos trechos não submersos. Para isso, as estruturas e dependências foram percorridas em caminhada pela equipe, observando todas as zonas de diferentes perspectivas e, em intervalos regulares, atentando-se a todas as direções.

Para cada estrutura, área ou equipamento analisado, foi identificada a situação atual, acompanhada de registro fotográfico e, no caso de registro de anomalia, foram identificados magnitude e nível de perigo, em ficha de inspeção, conforme designação da ANA, apresentada no próximo item. Em caso de registro de anomalia, também foram estudadas possíveis causas e ações corretivas.

4.4. LEGENDA DAS FICHAS DE INSPEÇÃO

A inspeção realizada foi baseada no padrão de classificação de anomalias estabelecido no Volume II do Manual do Empreendedor da ANA, na forma de fichas, identificadas nos quadros presentes em cada item deste relatório. A legenda das siglas de avaliação das fichas é apresentada no Quadro 9.

Quadro 9: Legendas das siglas da ficha de inspeção.

SITUAÇÃO:	MAGNITUDE:	NÍVEL DE PERIGO (NP):
NA – Este item N ão é A plicável	I - Insignificante	0 - Nenhum
NE – Anomalia N ão E xistente	P - Pequena	1- Atenção
PV – Anomalia constatada pela P rimera V ez	M - Média	2- Alerta
DS – Anomalia D esapareceu	G- Grande	3- Emergência
DI – Anomalia D iminuiu		
PC – Anomalia P ermaneceu C onstante		
AU – Anomalia A umentou		
NI – Este item n ão foi i nsp e cionado (Justificar)		

- As classificações de situação seguem a designação:

NA – Este item Não é Aplicável: O item examinado não é pertinente à barragem que esteja sendo inspecionada;

NE – Anomalia Não Existente: Quando não existe nenhuma anomalia em relação ao item que esteja sendo examinado;

PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez: Quando da visita à barragem, aquela anomalia for constatada pela primeira vez, não havendo indicação de sua ocorrência nas inspeções anteriores;

DS – Anomalia Desapareceu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia verificada na inspeção anterior não mais esteja ocorrendo;

DI – Anomalia Diminuiu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com menor intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem;

PC – Anomalia Permaneceu Constante: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com igual intensidade ou a mesma dimensão, em

relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem;

AU – Anomalia Aumentou: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresenta-se com maior intensidade, ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, capaz de ser percebida pela inspeção ou informada pela pessoa responsável pela barragem;

NI – Este item Não foi Inspecionado: Quando um determinado aspecto da barragem deveria ser examinado e por motivos alheios à pessoa que esteja inspecionando a barragem, a inspeção não foi realizada.

- As classificações de magnitude seguem a designação:

I - Insignificante: Anomalia que pode simplesmente ser mantida sob observação pela equipe local da barragem;

P - Pequena: Anomalia que pode ser resolvida pela própria equipe local da barragem;

M - Média: Anomalia que pode ser resolvida pela equipe local da barragem com apoio da equipe sede do empreendedor ou apoio externo;

G - Grande: Anomalia que só pode ser resolvida com apoio da equipe da sede do empreendedor ou apoio externo.

- As classificações de nível de perigo seguem a designação:

0 - Nenhum: não compromete a segurança da barragem, mas que pode ser entendida como descaso e má conservação;

1 - Atenção: não compromete a segurança da barragem em curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo;

2 - Alerta: risco a segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema;

3 – Emergência: risco de ruptura eminente, situação fora de controle.

	Preenchimento conforme inspeção anterior.
	Preenchimento conforme inspeção atual.
1	NPA conforme inspeção anterior.
1	NPA conforme inspeção atual.

Fonte: Elaborado pelo autor.

*Quando coincidentes, prevalece a simbologia da inspeção atual.

Os registros fotográficos comprobatórios das condições encontradas em campo acompanham legenda visual, em cor e forma, que caracterizam a existência ou não de anomalias, e seu respectivo nível de perigo, conforme Quadro 11.

Quadro 11: Legenda dos registros fotográficos.

Identificação	Situação identificada	Nível de perigo associado	Implicações de segurança e urgência das ações corretivas
	Sem anomalia	---	Não há nível de perigo associado e não há necessidade de ações corretivas
	Nenhum Perigo	0	Há anomalia, porém não compromete a segurança da barragem. Porém, pode ser entendida como descaso.
	Atenção	1	Não compromete a segurança da barragem em curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo.
	Alerta	2	Risco a segurança da barragem, devem ser tomadas providências para a eliminação do problema.
	Emergência	3	Risco de ruptura iminente, situação fora de controle, iniciar PAE e acionar órgãos competentes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5. ANOMALIAS E OBSERVAÇÕES APONTADAS

4.5.1. Infraestrutura

O pavimento intertravado da entrada e do interior do empreendimento apresentou prejuízos pontuais (Figura 26), aos quais se recomenda manutenção. O portão de acesso (Figura 27) apresenta-se em bom estado de conservação e permanece fechado durante todo o dia.



Figura 26: Infraestrutura – exemplo de prejuízo pontual no pavimento de acesso interno.



Figura 27: Infraestrutura – portão de acesso.

4.5.1.1. Casa de bombas

Durante a inspeção não foi possível acessar a área interna das instalações, mas na Figura 28 e na Figura 29 é possível ver a parte interior da casa de bombas, a qual apresenta bom estado de conservação.

A água drenando do interior da casa de bombas, retratada na inspeção persiste. Não foi possível identificar a origem dessa água, que se acumula na região formando poças de água conforme Figura 30 e Figura 31



Figura 28: Casa de bombas – visão do interior da casa de bombas.



Figura 29: Casa de bombas – visão do exterior da casa de bombas.



Figura 30: Infraestrutura – região da casa de bombas afetada pela água, vista 1.



Figura 31: Infraestrutura – região da casa de bombas afetada pela água, vista 2

As canaletas de drenagem apresentam grande quantidade de vegetação avançando sobre suas estruturas (Figura 32 e Figura 33). Sendo recomendado a retirada desses sedimentos para a desobstrução das canaletas e a realização de capina da vegetação.



Figura 32: Infraestrutura – canaletas de drenagem obstruídas, vista 1.



Figura 33: Infraestrutura – canaleta de drenagem obstruídas, vista 2.

A erosão apresentada nos relatórios anteriores persiste e apresentou aumento do tamanho por conta do avanço das obras no local (Figura 34). A região está isolada com cones e faixas, mas recomenda-se a restauração do terreno evitando possíveis acidentes.

As estruturas civis (calçadas, escadas, passarela, etc.) sofreram alguns prejuízos decorrentes da obra que está sendo realizada na região e por conta do crescimento da vegetação na área, contudo apresentam também bom estado de conservação, conforme ilustrado na Figura 35.



Figura 34: Casa de Bombas - erosão observada na região.



Figura 35: Infraestrutura – escada de acesso com vegetação crescente ao redor.

O Quadro 12 apresenta a ficha de inspeção da infraestrutura operacional e o Quadro 13 apresenta a ficha de inspeção da casa de bombas.

Quadro 12: Ficha de inspeção da infraestrutura operacional.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
A.	INFRAESTRUTURA OPERACIONAL													
1	Falta de documentação sobre barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
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	
8	Falta ou deficiência nas placas de aviso	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Falta de acompanhamento da gerência ou órgão responsável	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Falta de manual de operação e manutenção dos equipamentos Hidromecânicos e elétricos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Quadro 13: Ficha de inspeção da casa de bombas.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
C.5	SUBESTAÇÃO E OBRAS COMPLEMENTARES – CASA DE BOMBAS													
1	Fissuras no concreto (trincas ou rachaduras)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração as superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Juntas danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Sinais de deslocamentos das estruturas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Presença de vegetação na estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
Comentários:														

4.5.2. Barragem – Ombreira Esquerda

A ombreira esquerda da barragem apresenta boa condição de conservação, não apresentando sinais de erosões, desmoronamento ou fragilidade em suas interfaces.



Figura 36: Ombreira esquerda – visão geral do talude de jusante

4.5.2.1. Talude de montante – Margem Esquerda

O enrocamento se apresenta estável e bem alinhado à interface com a crista. A vegetação teve um pequeno aumento na região a esquerda da tomada d'água. A região a direita da tomada d'água não apresentou tal crescimento, sendo ilustrada pela Figura 38. A retirada da vegetação deve ser frequente, evitando a penetração das raízes no maciço, o que pode criar caminhos preferenciais à percolação da água, gerando uma zona de estabilidade fragilizada.



Figura 37: Talude de montante ME – vegetação crescente no enrocamento, a esquerda da TA.



Figura 38: Talude de montante ME – região a direita da TA

O Quadro 14 apresenta a ficha de inspeção do talude de montante da margem esquerda.

Quadro 14: Ficha de inspeção do talude de montante ME.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.1	TALUDE DE MONTANTE ME													
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
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	
8	Deslocamento de blocos de rocha pelo efeito de ondas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

4.5.2.2. Talude de jusante – Margem Esquerda

No talude de jusante da margem esquerda é possível notar que houve um pequeno aumento da vegetação, porém não impediu a identificação de possíveis anomalias, como erosões e colônias de animais.

É importante reforçar que a presença de vegetação, em especial de médio e grande porte, favorece o acúmulo e percolação de água, devido à penetração de suas raízes, o que pode se tornar prejudicial à estabilidade do barramento, especialmente em relação às estruturas de jusante.



Figura 39: Talude de montante ME – visão geral, vista 1.



Figura 40: Talude de montante ME – visão geral, vista 2.

Foi verificado que, que a presença de colônias formigas no barramento teve um aumento considerável na estrutura. A erradicação de formigueiros (assim como cupinzeiros e tocas de animais) deve ser uma atividade de rotina na estrutura da barragem. É necessária atenção especial a essa anomalia que se manifesta de forma generalizada e progressiva. A tendência dessas colônias é evoluir por caminhos subterrâneos, criando poros no maciço que podem favorecer a percolação da água.



Figura 41: Talude de jusante ME – colônias de formigas, vista 1.



Figura 42: Talude de jusante ME – colônias de formigas, vista 2.

Na saída dos drenos de pé a presença de vegetação está retornando a estrutura, mas nada que afete o seu funcionamento. As canaletas de drenagem apresentam bom alinhamento com o barramento e não apresentaram vegetação ou sedimentos obstruindo seu funcionamento, mas vale ressaltar que a retirada da vegetação deve ser constante no barramento, impedindo a obstrução das canaletas.



Figura 43: Talude de jusante ME – dreno de pé – dreno de pé com um pequeno crescimento e vegetação.



Figura 44: Talude de jusante ME – dreno de pé – canaletas de drenagem em bom estado.

Próximo à canaleta de drenagem ao pé do talude, circulado na Figura 44, destaca-se novamente a presença de árvores muito próximas à canaleta de drenagem. É importante reforçar que a presença de vegetação, em especial de grande porte, pode causar danos a estrutura, devido à penetração de suas raízes.

Por isso, recomenda-se que seja mantida uma faixa de, pelo menos, 10 metros, a partir do pé de talude de jusante, conforme orientações da Agência Nacional de Águas (Volume II do Manual do Empreendedor), a favor da segurança e possibilitando uma visão ampla das estruturas da barragem. A retirada das árvores deve ser realizada de acordo com as exigências dos órgãos de monitoramento ambiental local.

O Quadro 15 apresenta a ficha de inspeção do talude de jusante da margem esquerda.

Quadro 15: Ficha de inspeção do talude de jusante ME.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP	
B.3	TALUDE DE JUSANTE ME														
1	Erosões ou ravinamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
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		
6	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
8	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1	
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		
11	Formigueiros, cupinzeiros ou toca 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 d'água ou áreas úmidas (surgências)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		
14	Carreamento de material na água percolada pela barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G		

4.5.3. Tomada d'água

A tomada d'água, retratada na Figura 45 e na Figura 46, apresenta boas condições. Tanto a comporta esquerda quanto a comporta direita aparentam bom estado de conservação.

Nas tubulações adutoras de água bruta verificou-se que crescimento da vegetação persiste em alguns pontos da estrutura. Recomenda-se que a vegetação seja retirada, evitando a penetração de suas raízes no concreto e a contenção da umidade no local. O Quadro 16 apresenta a ficha de inspeção da tomada d'água.



Figura 45: Tomada d'água – vista lateral.



Figura 46: Tomada d'água – vista frontal.



Figura 47: Tomada d'água – vegetação presente nas adutoras de água bruta, vista 1.



Figura 48: Tomada d'água – vegetação presente nas adutoras de água bruta, vista 2.

Quadro 16: Ficha de inspeção da tomada de água.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
C.2	TOMADA DE ÁGUA													
1	Fissuras no concreto (trincas ou rachaduras)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração as superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Descalçamento da estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Juntas danificadas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Sinais de deslocamentos das estruturas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Presença de vegetação na estrutura	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
Comentários:														

4.5.4. Vertedouro e Bacia de dissipação

O vertedouro de concreto apresenta boas condições materiais. No dia da inspeção a estrutura estava vertendo, sendo o seu funcionamento satisfatório. Os drenos horizontais profundos (DHP) instalados nos degraus do vertedouro, apresentaram boas condições de funcionamento.



Figura 49: Vertedouro – vista frontal.



Figura 50: Vertedouro – DHP, visão geral.

A bacia de dissipação apresenta boas condições de funcionamento, não apresentando sinais visíveis, na área não submersa, de erosão, ferragens expostas no concreto ou qualquer prejuízo estrutural.

As surgências a jusante, relatadas nos relatórios anteriores, continuam. Visualmente pode se afirmar que o fluxo de água provém da bacia amortecedora, em ambos os pontos. Recomenda-se, que os pontos de fuga sejam identificados, para que se possa conter o vazamento.

A vegetação na região da bacia de dissipação apresentou pequeno crescimento. Recomenda-se que a manutenção e retirada da vegetação crescente seja frequente nessa estrutura para evitar a penetração das suas raízes no concreto.

De acordo com volume VII do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens da ANA, a presença da vegetação pode indicar a existência de água a contribuir para a degradação do concreto ou das juntas, onde é recomendado a limpeza da vegetação e tratamento das juntas, para evitar infiltrações, nomeadamente, nas bacias de dissipação.



Figura 51: Bacia de dissipação – visão geral.



Figura 52: Bacia de dissipação – surgência observada.

Quadro 18: Ficha de inspeção da bacia de dissipação.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
C.3	RÁPIDO/BACIA BACIA DE DISSIPÇÃO													
1	Rachaduras ou trincas no concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Ferragem do concreto exposta	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Deterioração da superfície do concreto	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Ocorrência de buracos na soleira	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Presença de entulhos na bacia	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Presença de vegetação na bacia	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
8	Falha no enrocamento da proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

4.5.5. Barragem – Ombreira Direita

A ombreira direita da barragem apresenta boa condição de conservação, não apresentando sinais de erosões, desmoronamento ou fragilidade na interface entre ombreira e barragem.



Figura 55: Ombreira direita – vista geral do talude de jusante.

4.5.5.1. Talude de montante - Margem Direita

O talude de montante apresenta boas condições de conservação.



Figura 56: Talude de montante MD – vista geral.

O Quadro 19 apresenta a ficha de inspeção do talude de montante da margem direita.

Quadro 19: Ficha de inspeção do talude de montante MD.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.1	TALUDE DE MONTANTE MD													
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
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	
8	Deslocamento de blocos de rocha pelo efeito de ondas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

4.5.5.2. Talude de jusante – Margem direita

O talude de jusante da margem direita apresenta boas condições de conservação. O enrocamento permanece estável e bem alinhado à interface com a crista.

A vegetação na estrutura cresceu um pouco em comparação a inspeção do mês de maio. Recomenda-se que a retirada da vegetação seja um processo frequente em todas as estruturas do empreendimento.

Na Figura 58 nota-se o bom alinhamento da canaleta de drenagem para com o barramento. Não apresentando sedimentos e/ou vegetação obstruindo-a. A retirada de toda vegetação crescente é de suma importância para que não enraíze nas estruturas do barramento, criando caminhos preferenciais à percolação da água, além da limpeza e retirada dos sedimentos ali depositados.

Foi verificada que a presença de colônias de formigas aumentou consideravelmente no talude. A erradicação de formigueiros, como já mencionado, deve ser uma atividade de rotina na estrutura da barragem pois se manifesta de forma generalizada e progressiva.

Pontos com falhas na cobertura vegetal e falhas com características erosivas foram observadas nessa região. Como já mencionado no relatório, recomenda-se a recomposição e manutenção para minimizar os impactos de agentes do intemperismo na estrutura, evitando processos erosivos e escorregamentos.



Figura 57: Talude de jusante MD – vista geral.



Figura 58: Talude de jusante MD – canaleta de drenagem.



Figura 59: Talude de jusante MD - colônias de formigas, vista 1.



Figura 60: Talude de jusante MD - colônias de formigas, vista 2.



Figura 61: Talude de jusante MD - falha na cobertura vegetal.



Figura 62: Talude de jusante MD - buraco originado pela retirada de uma colônia de cupim.

O Quadro 20 apresenta a ficha de inspeção do talude de jusante na margem direita.

Quadro 20: Ficha de inspeção do talude de jusante MD.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.3	TALUDE DE JUSANTE MD													
1	Erosões ou ravinamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
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	0
6	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Árvores e arbustos	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 toca 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 d'água ou áreas úmidas (surgências)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
14	Carreamento de material na água percolada pela barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

4.5.6. Reservatório

A área do reservatório apresenta boas condições de conservação, não apresentando vegetação flutuante excessiva. O Quadro 21 apresenta a ficha de inspeção do reservatório.



Figura 63: Reservatório – vista do talude de montante da margem direita.

Quadro 21: Ficha de inspeção do reservatório.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
D	RESERVATÓRIO													
1	Réguas danificadas ou faltando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
2	Construções em áreas de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Poluição por esgoto, lixo, pesticidas, etc.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Indícios de má qualidade da água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Assoreamento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Desmoronamento das margens	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Existência de vegetação aquática excessiva	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Desmatamentos na área de proteção	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Presença de animais e peixes mortos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Animais pastando	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

4.5.7. Crista

Na crista não foram identificados afundamentos, irregularidades relevantes ou propensão à fragmentação, apresentando boa condição de conservação de forma geral.

O Quadro 22 apresenta a ficha de inspeção da crista.



Figura 64: Crista – vista 1.



Figura 65: Crista – vista 2.

Quadro 22: Ficha de inspeção da crista.

Quadro 22: Planilha de Inspeção da Crista.														
COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.2	CRISTA													
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Fissuras longitudinais e trasversais	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	
4	Falha de revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Desabamento/afundamentos (recalques)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Defeitos na drenagem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Defeitos no meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Formigueiros, cupinzeiros ou toca de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Desalinhamento do meio fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Depressões devido à falta de sobrelevação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

4.5.8. Instrumentação

A instrumentação de auscultação civil no talude de jusante e vertedouro, assim como condições de réguas e pluviômetros, foram inspecionadas.

Foi realizada a instalação das réguas limnimétricas para medição da altura de lâmina d'água sobre a soleira do vertedouro.

O medidor de vazão continua obstruído impedindo uma medição precisa dos volumes afluentes ao medidor. A região onde está localizado o medidor de vazão foi bastante afetada pelo crescimento da vegetação. Os piezômetros e medidores de nível d'água serão abordados com maior detalhamento no item de monitoramento da instrumentação.

Em alguns instrumentos não foram identificadas placas de identificação (PZ's 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110 e 111). Recomenda-se a correta identificação dos instrumentos.

A ficha de inspeção da instrumentação é apresentada no Quadro 23.



Figura 66: Instrumentação – fuga d'água para lateral do medidor de vazão devido à obstrução e aumento da vegetação.



Figura 67: Instrumentação – régua limnimétrica na soleira do vertedouro.

Quadro 23: Ficha de inspeção da instrumentação.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.6 INSTRUMENTAÇÃO														
1	Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Falta de sinalização	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
3	Tampas de proteção danificadas ou corroídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Limpeza deficiente dos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	1
6	Falta de instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	0
7	Falta de registro de leituras da instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														
-Item 6 refere-se à falta de pluviômetro para medição dos volumes precipitados -Item 5 refere-se a falta de manutenção do Medidor de Vazão.														

4.5.9. Região à jusante

Na região à jusante, não foram identificadas anomalias, a região se apresenta em boas condições. A ficha de inspeção da região à jusante é apresentada no Quadro 24.

Quadro 24: Ficha de inspeção da região à jusante da barragem.

COD.	LOCALIZAÇÃO/ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.5	REGIÃO À JUSANTE DA BARRAGEM													
1	Desmatamentos na área de proteção e construções irregulares	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Erosão nos encontros barragem-obreira	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Desmoronamento nas margens	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Trincas nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Surgências de água e manchas de umidade	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Carreamento de finos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

4.6. PENDÊNCIAS DA INSPEÇÃO ATUAL

O Quadro 25 apresenta o resumo das anomalias identificadas, associadas às sugestões de melhorias propostas. Ressalta-se que todas as anomalias e sugestões apresentadas são abordadas de forma mais detalhada no relato da inspeção.

Quadro 25: Pendências da inspeção visual atual.

Estrutura	Local	Mês do relato	Descrição da anomalia	Solução proposta	Situação
Infraestrutura	Área da casa de bombas	ago/21	Materiais de construção acumulados próximo ao talude que cerca a casa de bombas.	Limpeza da região.	Estabilizado
		mai/22	Erosão na região da casa das bombas.	Conter o avanço da erosão.	Evoluindo
			Água drenada da casa de bombas empoçando na região.	Verificar origem da água	Evoluindo
	Estruturas civis danificadas	set/21	Calçadas, canaletas e pisos pontualmente danificados.	Manutenção das estruturas civis.	Estabilizado
Tomada d'água	Base da estrutura de concreto	ago/21	Crescimento de vegetação.	Retirar a vegetação.	Evoluindo
	Adutora de água bruta	ago/21	Crescimento de vegetação.	Retirar a vegetação.	Estabilizado
Vertedouro	Bacia amortecedora	set/21	Dois pontos de surgência de água à jusante.	Monitorar e estudar causas.	Evoluindo
Barragem de terra	Talude de montante	ago/21	Crescimento de vegetação próximo ao contato entre linha d'água e enrocamento.	Retirar a vegetação.	Evoluindo
	Talude de jusante	dez/21	Falta de vegetação próximos aos locais que foram feitos os poços de sondagem e na nas laterais do vertedouro.	Fazer a recuperação da vegetação.	Estabilizado
		ago/20	Existência de formigueiros.	Extermínio regular das colônias.	Evoluindo
		dez/20	Presença considerável de vegetação.	Retirar a vegetação, conforme orientações e exigências dos órgãos ambientais locais.	Evoluindo
		dez/21	Canaletas de drenagem margem esquerda obstruídas.	Retirar a vegetação e os sedimentos para desobstrução da canaleta.	Estabilizado
		ago/21	Falha na proteção vegetal superficial.	Recuperação da proteção.	Estabilizado
		nov/17	Régua danificada.	Instalação de régua padronizada.	Realizado
Instrumentação	Barragem	nov/17	Falta de pluviômetro.	Instalação de pluviômetro.	Necessário instalar
		mai/22	Piezômetros sem identificação	Instalar placas de identificação	Necessário instalar
		dez/20	Medidor de vazão obstruído.	Limpeza da calha e remoção da terra.	Evoluindo
	Pé do talude de jusante	dez/20	Medidor de vazão obstruído.	Limpeza da calha e remoção da terra.	Evoluindo

4.7. MONITORAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação de segurança civil da unidade é monitorada mensalmente, obedecendo aos procedimentos do Sistema Interno de Segurança de Barragens, implantado pela Gestora. Os resultados apresentados foram acompanhados por equipe de especialistas designada para a tarefa.

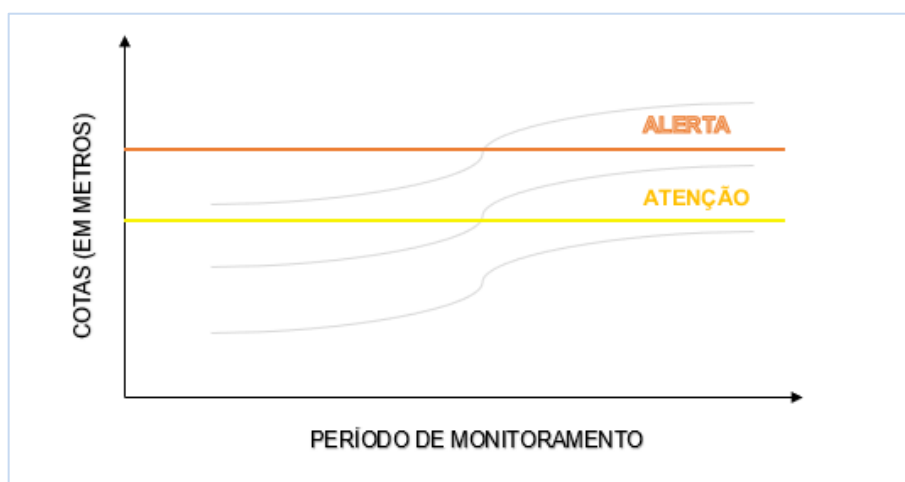
4.7.1. Monitoramento dos piezômetros

Como resultado do monitoramento dos piezômetros de tubo aberto, são apresentadas as leituras associadas aos dados gerais de cada instrumento. Da associação de dados, tem-se a cota piezométrica, calculada pela equação 1.

$$(cota\ piezométrica) = (cota\ de\ topo) - (leitura) \quad [Eq. 1]$$

Os resultados obtidos para cota piezométrica em cada instrumento são confrontados com dados da carta de risco e parâmetros de instalação e nível do reservatório. Em análise visual, são associados graficamente os parâmetros de cota em função do tempo, conforme apresentado na Figura 68.

Figura 68: Gráfico comparativo dos instrumentos.



Os níveis de atenção e alerta são considerados conforme estabelecimento no Plano de Segurança da Barragem Guariroba, apresentados no Quadro 26.

Quadro 26: Níveis de controle dos piezômetros de tubo aberto tipo casagrande.

ESTACA	INSTRUMENTO	NÍVEL NORMAL		NÍVEL DE ATENÇÃO		NÍVEL DE ALERTA	
		FS	Cota Piezométrica (m)	FS	Cota Piezométrica (m)	FS	Cota Piezométrica (m)
10+10,00 (1)	PZ-03	2,68	453,70	2,68	456,40	2,68	457,50
	PZ-101		457,90		458,50		459,06
	PZ-102		454,00		456,80		458,00
12+10,00 (1)	PZ-103	2,33	455,10	2,33	457,50	2,33	458,10
	PZ-104		453,60		455,40		456,80
20+15,00	PZ-02	1,95	451,50	1,75	454,30	1,68	455,70
	PZ-109		454,50		457,50		458,00
	PZ-110		452,00		454,90		456,00
22+5,00	PZ-01	2,41	453,20	2,06	455,90	1,90	456,70
	PZ-111		455,50		457,90		458,30

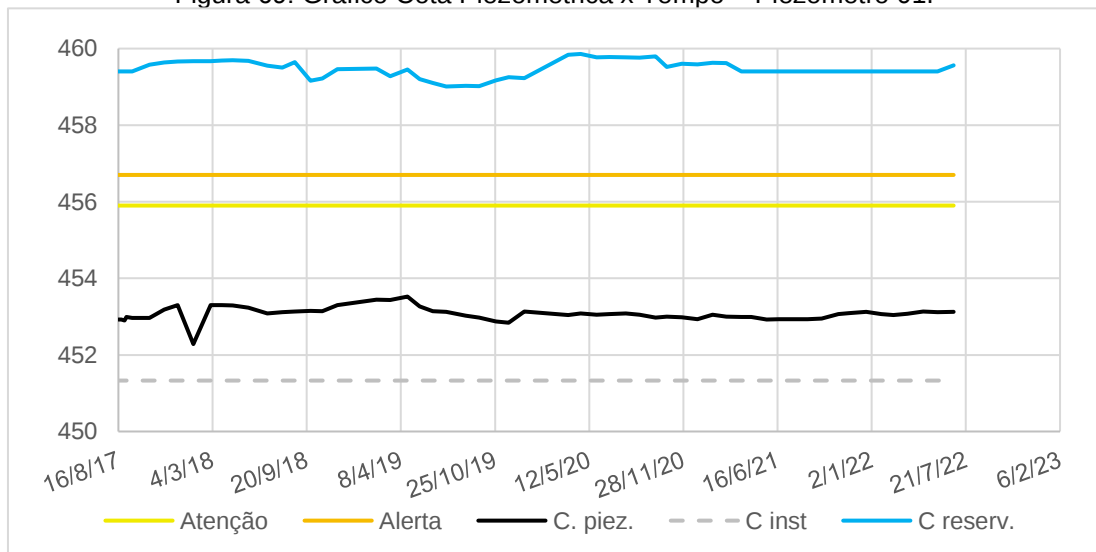
Fonte: PSB 2020, VLB Engenharia.

Quadro 27: Dados de monitoramento – Piezômetro 01.

PIEZÔMETRO		PZ-01	
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	451,330	
	Estaca	22+5,00	
	Afastamento	17,40 jus.	
Níveis de segurança	Alerta	≥ 456,70	
	Atenção	≥455,90	
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17	
	Data final	25/06/22	

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
31/03/21	Sol	459,40	5,71	458,70	7,37	452,99
21/04/21	Sol	459,40	5,71	458,70	7,37	452,99
24/05/21	Sol	459,40	5,78	458,70	7,37	452,92
19/06/21	Sol	459,40	5,77	458,70	7,37	452,93
24/07/21	Sol	459,40	5,77	458,70	7,37	452,93
19/08/21	Sol	459,40	5,77	458,70	7,37	452,93
18/09/21	Sol	459,40	5,75	458,70	7,37	452,95
23/10/21	Sol	459,40	5,64	458,70	7,37	453,06
15/11/21	Sol	459,40	5,61	458,70	7,37	453,09
21/12/21	Sol	459,40	5,58	458,70	7,37	453,12
22/01/22	Sol	459,40	5,64	458,70	7,37	453,06
17/02/22	Sol	459,40	5,66	458,70	7,37	453,04
19/03/22	Sol	459,40	5,63	458,70	7,37	453,07
21/04/22	Sol	459,40	5,57	458,70	7,37	453,13
22/05/22	Sol	459,40	5,59	458,70	7,37	453,11
25/06/22	Sol	459,56	5,58	458,70	7,37	453,12

Figura 69: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 01.



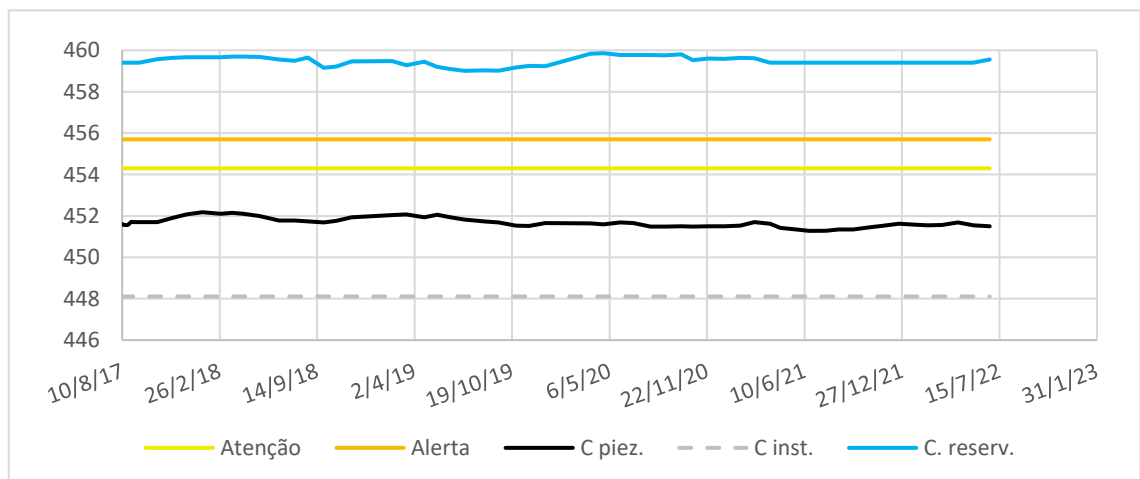
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 28: Dados de monitoramento – Piezômetro 02.

PIEZÔMETRO		PZ-02
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	448,110
	Estaca	20+15,00
	Afastamento	20,98 jus.
Níveis de segurança	Alerta	≥ 455,70
	Atenção	≥ 454,30
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
31/03/21	Sol	459,40	5,78	457,40	9,29	451,62
21/04/21	Sol	459,40	5,97	457,40	9,29	451,43
24/05/21	Sol	459,40	6,05	457,40	9,29	451,35
19/06/21	Sol	459,40	6,12	457,40	9,29	451,28
24/07/21	Sol	459,40	6,11	457,40	9,29	451,29
19/08/21	Sol	459,40	6,05	457,40	9,29	451,35
18/09/21	Sol	459,40	6,06	457,40	9,29	451,34
23/10/21	Sol	459,40	5,95	457,40	9,29	451,45
15/11/21	Sol	459,40	5,88	457,40	9,29	451,52
21/12/21	Sol	459,40	5,77	457,40	9,29	451,63
22/01/22	Sol	459,40	5,82	457,40	9,29	451,58
17/02/22	Sol	459,40	5,85	457,40	9,29	451,55
19/03/22	Sol	459,40	5,84	457,40	9,29	451,56
21/04/22	Sol	459,40	5,72	457,40	9,29	451,68
22/05/22	Sol	459,40	5,86	457,40	9,29	451,54
25/06/22	Sol	459,56	5,90	457,40	9,29	451,50

Figura 70: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 02.



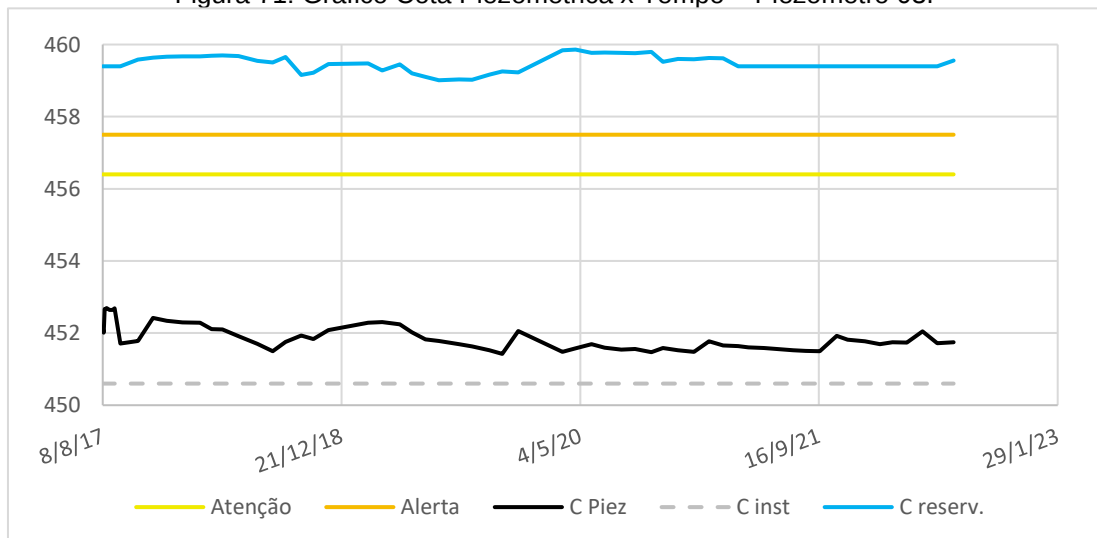
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 29: Dados de monitoramento – Piezômetro 03.

PIEZÔMETRO		PZ-03
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	450,600
	Estaca	10+10,00
	Afastamento	19,46 jus.
Níveis de segurança	Alerta	≥ 457,50
	Atenção	≥ 456,40
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
31/03/21	Sol	459,40	6,35	457,99	7,39	451,64
21/04/21	Sol	459,40	6,39	457,99	7,39	451,60
24/05/21	Sol	459,40	6,41	457,99	7,39	451,58
19/06/21	Sol	459,40	6,43	457,99	7,39	451,56
24/07/21	Sol	459,40	6,47	457,99	7,39	451,52
19/08/21	Sol	459,40	6,49	457,99	7,39	451,50
18/09/21	Sol	459,40	6,50	457,99	7,39	451,49
23/10/21	Sol	459,40	6,07	457,99	7,39	451,92
15/11/21	Sol	459,40	6,18	457,99	7,39	451,81
21/12/21	Sol	459,40	6,22	457,99	7,39	451,77
22/01/22	Sol	459,40	6,30	457,99	7,39	451,69
17/02/22	Sol	459,40	6,25	457,99	7,39	451,74
19/03/22	Sol	459,40	6,26	457,99	7,39	451,73
21/04/22	Sol	459,40	5,95	457,99	7,39	452,04
22/05/22	Sol	459,40	6,27	457,99	7,39	451,72
25/06/22	Sol	459,56	6,25	457,99	7,39	451,74

Figura 71: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 03.



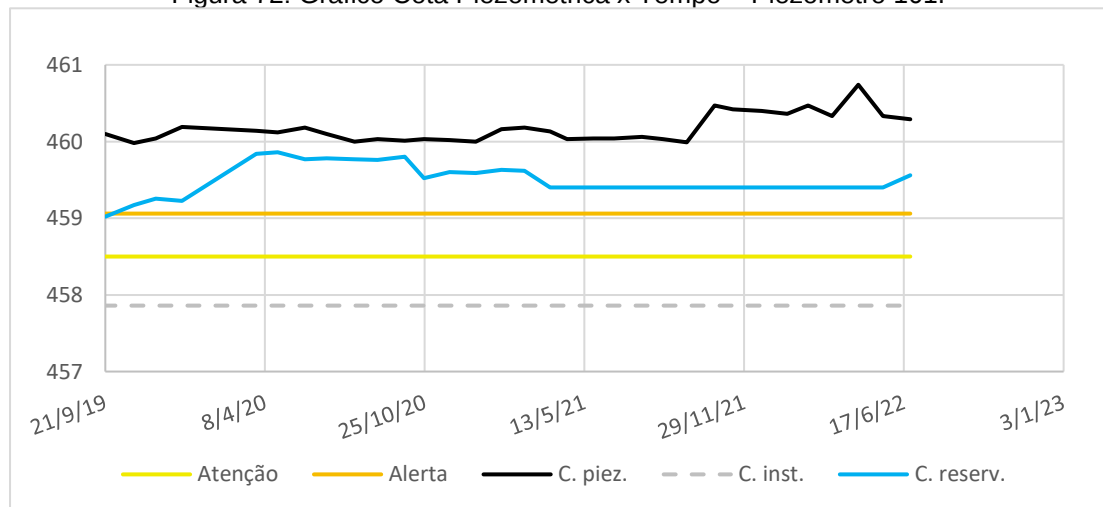
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 30: Dados de monitoramento – Piezômetro 101.

PIEZÔMETRO		PZ-101
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	457,860
	Estaca	10+10,00
	Afastamento	2,93 jus.
Níveis de segurança	Alerta	≥ 459,06
	Atenção	≥ 458,50
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
31/03/21	Sol	459,40	3,83	463,96	6,10	▶ 460,13
21/04/21	Sol	459,40	3,93	463,96	6,10	▶ 460,03
24/05/21	Sol	459,40	3,92	463,96	6,10	▶ 460,04
19/06/21	Sol	459,40	4,02	464,06	6,20	▶ 460,04
24/07/21	Sol	459,40	4,00	464,06	6,20	▶ 460,06
19/08/21	Sol	459,40	4,03	464,06	6,20	▶ 460,03
18/09/21	Sol	459,40	4,07	464,06	6,20	▶ 459,99
23/10/21	Sol	459,40	3,59	464,06	6,20	▶ 460,47
15/11/21	Sol	459,40	3,64	464,06	6,20	▶ 460,42
21/12/21	Sol	459,40	3,66	464,06	6,20	▶ 460,40
22/01/22	Sol	459,40	3,70	464,06	6,20	▶ 460,36
17/02/22	Sol	459,40	3,59	464,06	6,20	▶ 460,47
19/03/22	Sol	459,40	3,73	464,06	6,20	▶ 460,33
21/04/22	Sol	459,40	3,32	464,06	6,20	▶ 460,74
22/05/22	Sol	459,40	3,73	464,06	6,20	▶ 460,33
25/06/22	Sol	459,56	3,77	464,06	6,20	▶ 460,29

Figura 72: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 101.



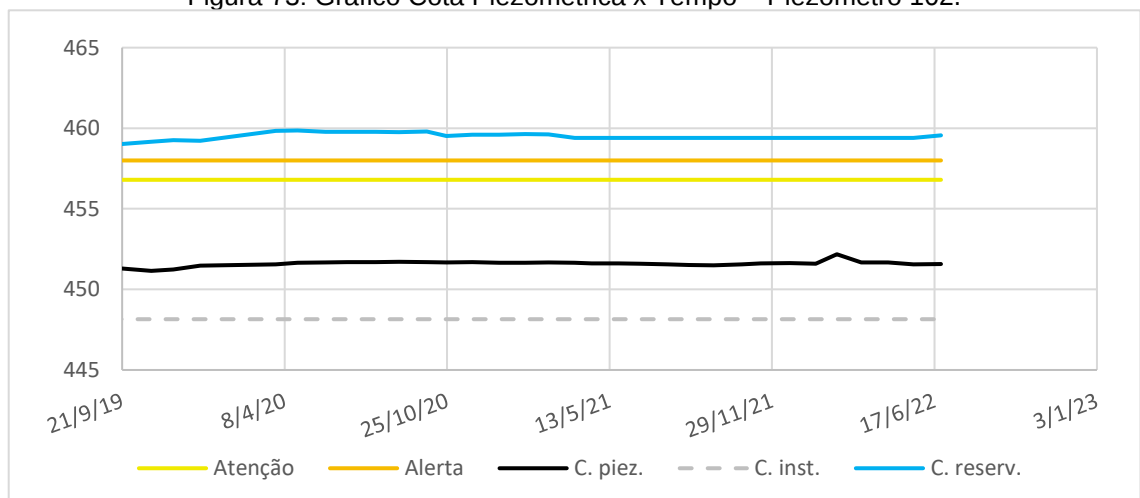
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL DE ALERTA.

Quadro 31: Dados de monitoramento – Piezômetro 102.

PIEZÔMETRO		PZ-102
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	448,150
	Estaca	10+10,00
	Afastamento	16,17 jus.,
Níveis de segurança	Alerta	≥ 458,00
	Atenção	≥ 456,80
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
31/03/21	Sol	459,40	9,60	461,25	13,10	451,65
21/04/21	Sol	459,40	9,63	461,25	13,10	451,62
24/05/21	Sol	459,40	9,64	461,25	13,10	451,61
19/06/21	Sol	459,40	9,74	461,34	13,19	451,60
24/07/21	Sol	459,40	9,79	461,34	13,19	451,55
19/08/21	Sol	459,40	9,82	461,34	13,19	451,52
18/09/21	Sol	459,40	9,85	461,34	13,19	451,49
23/10/21	Sol	459,40	9,78	461,34	13,19	451,56
15/11/21	Sol	459,40	9,72	461,34	13,19	451,62
21/12/21	Sol	459,40	9,70	461,34	13,19	451,64
22/01/22	Sol	459,40	9,75	461,34	13,19	451,59
17/02/22	Sol	459,40	9,16	461,34	13,19	452,18
19/03/22	Sol	459,40	9,66	461,34	13,19	451,68
21/04/22	Sol	459,40	9,67	461,34	13,19	451,67
22/05/22	Sol	459,40	9,78	461,34	13,19	451,56
25/06/22	Sol	459,56	9,77	461,34	13,19	451,57

Figura 73: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 102.



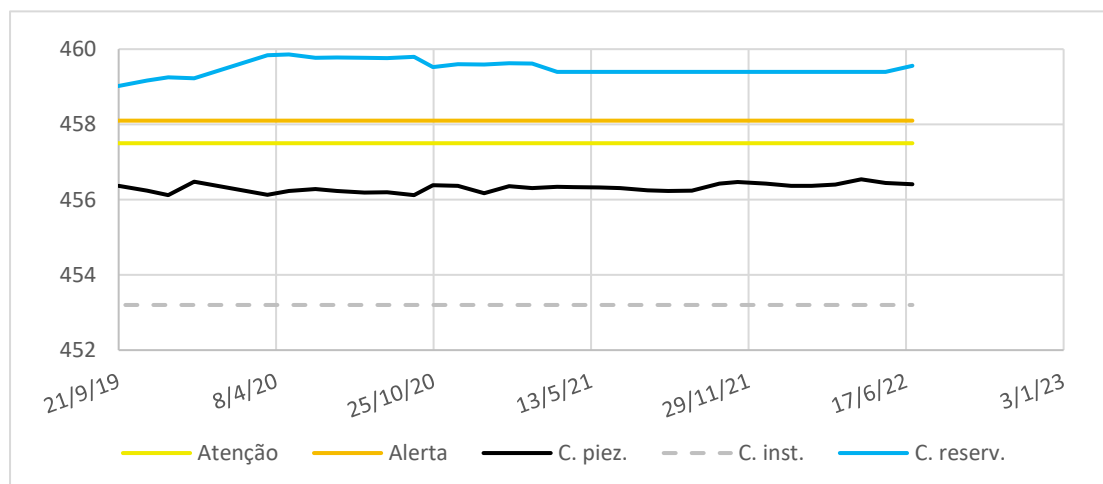
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 32: Dados de monitoramento – Piezômetro 103.

PIEZÔMETRO		PZ-103
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	453,200
	Estaca	12+10,00
	Afastamento	2,79 jus.
Níveis de segurança	Alerta	$\geq 458,10$
	Atenção	$\geq 457,50$
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
31/03/21	Sol	459,40	7,66	464,00	10,80	456,34
21/04/21	Sol	459,40	7,67	464,00	10,80	456,33
24/05/21	Sol	459,40	7,68	464,00	10,80	456,32
19/06/21	Sol	459,40	7,79	464,10	10,90	456,31
24/07/21	Sol	459,40	7,85	464,10	10,90	456,25
19/08/21	Sol	459,40	7,87	464,10	10,90	456,23
18/09/21	Sol	459,40	7,86	464,10	10,90	456,24
23/10/21	Sol	459,40	7,67	464,10	10,90	456,43
15/11/21	Sol	459,40	7,63	464,10	10,90	456,47
21/12/21	Sol	459,40	7,67	464,10	10,90	456,43
22/01/22	Sol	459,40	7,73	464,10	10,90	456,37
17/02/22	Sol	459,40	7,73	464,10	10,90	456,37
19/03/22	Sol	459,40	7,70	464,10	10,90	456,40
21/04/22	Sol	459,40	7,56	464,10	10,90	456,54
22/05/22	Sol	459,40	7,66	464,10	10,90	456,44
25/06/22	Sol	459,56	7,69	464,10	10,90	456,41

Figura 74: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 103.



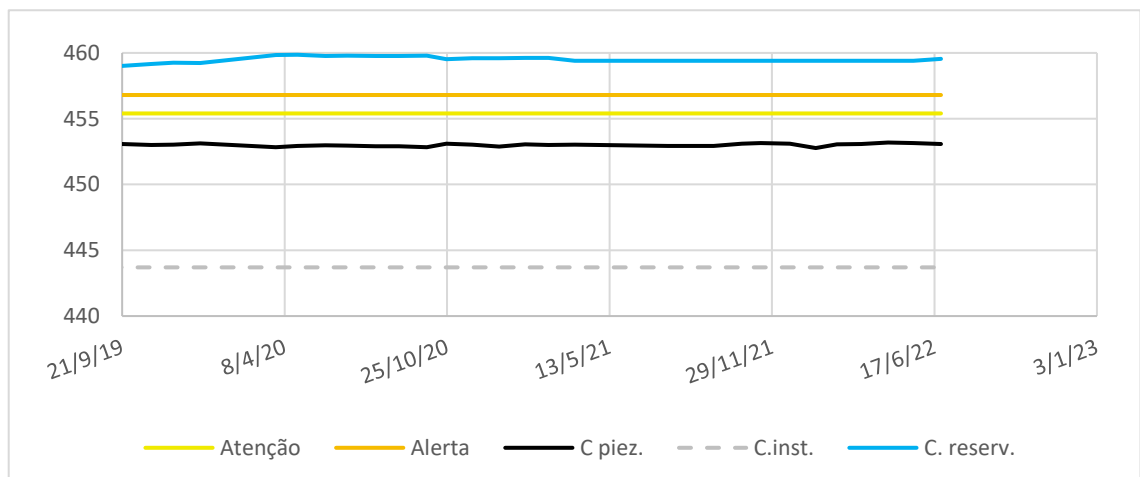
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 33: Dados de monitoramento – Piezômetro 104.

PIEZÔMETRO		PZ-104	
Dados Gerais		Cota instal. (fundo bulbo)	443,700
		Estaca	12+10,00
		Afastamento	15,81 jus.
Níveis de segurança		Alerta	≥ 456,80
		Atenção	≥ 455,40
Período de monitoramento		Data inicial	08/08/17
		Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	8,28	461,21	17,50	452,93
19/08/21	Sol	459,40	8,29	461,21	17,50	452,92
18/09/21	Sol	459,40	8,29	461,21	17,50	452,92
23/10/21	Sol	459,40	8,12	461,21	17,50	453,09
15/11/21	Sol	459,40	8,07	461,21	17,50	453,14
21/12/21	Sol	459,40	8,10	461,21	17,50	453,11
22/01/22	Sol	459,40	8,44	461,21	17,51	452,77
17/02/22	Sol	459,40	8,16	461,21	17,50	453,05
19/03/22	Sol	459,40	8,13	461,21	17,51	453,08
21/04/22	Sol	459,40	8,02	461,21	17,51	453,19
22/05/22	Sol	459,40	8,05	461,21	17,51	453,16
25/06/22	Sol	459,56	8,14	461,21	17,51	453,07

Figura 75: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 104.



COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

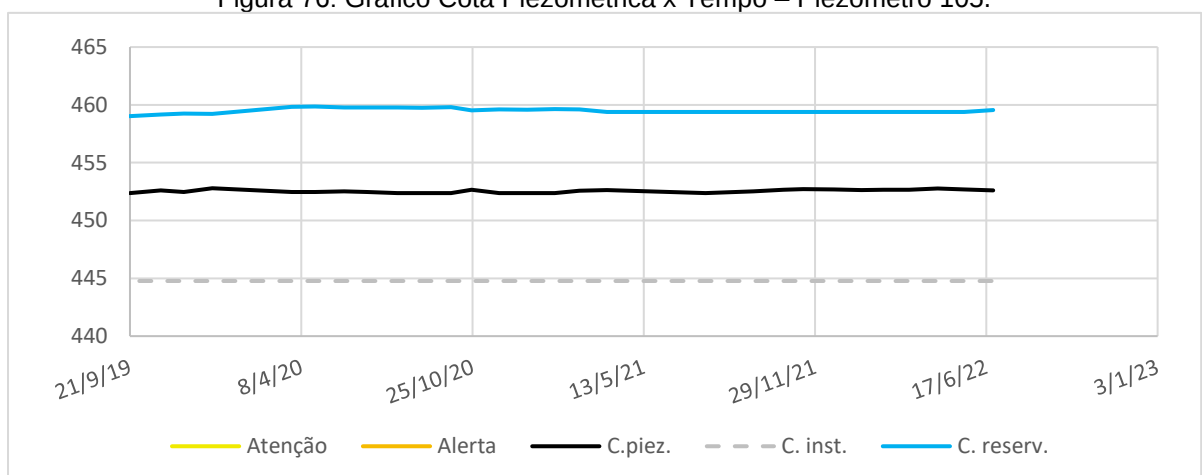
Quadro 34: Dados de monitoramento – Piezômetro 105.

PIEZÔMETRO		PZ-105
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	444,770
	Estaca	15+18,00
	Afastamento	7,79 jus.
Níveis de segurança	Alerta	Instrumento instalado no vertedouro *
	Atenção	
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	0,00	452,37	7,60	452,37
19/08/21	Sol	459,40	Opaco	452,37	7,60	
18/09/21	Sol	459,40	0,56	453,07	8,30	452,51
23/10/21	Sol	459,40	0,40	453,07	8,30	452,67
15/11/21	Sol	459,40	0,35	453,07	8,30	452,72
21/12/21	Sol	459,40	0,39	453,07	8,30	452,68
22/01/22	Sol	459,40	0,43	453,07	8,30	452,64
17/02/22	Sol	459,40	0,42	453,07	8,30	452,65
19/03/22	Sol	459,40	0,41	453,07	8,30	452,66
21/04/22	Sol	459,40	0,30	453,07	8,30	452,77
22/05/22	Sol	459,40	0,38	453,07	8,30	452,69
25/06/22	Sol	459,56	0,47	453,07	8,30	452,60

*Não há níveis de atenção e alerta associados.

Figura 76: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 105.



NÃO HÁ NÍVEIS DE ATENÇÃO E ALERTA ASSOCIADOS.

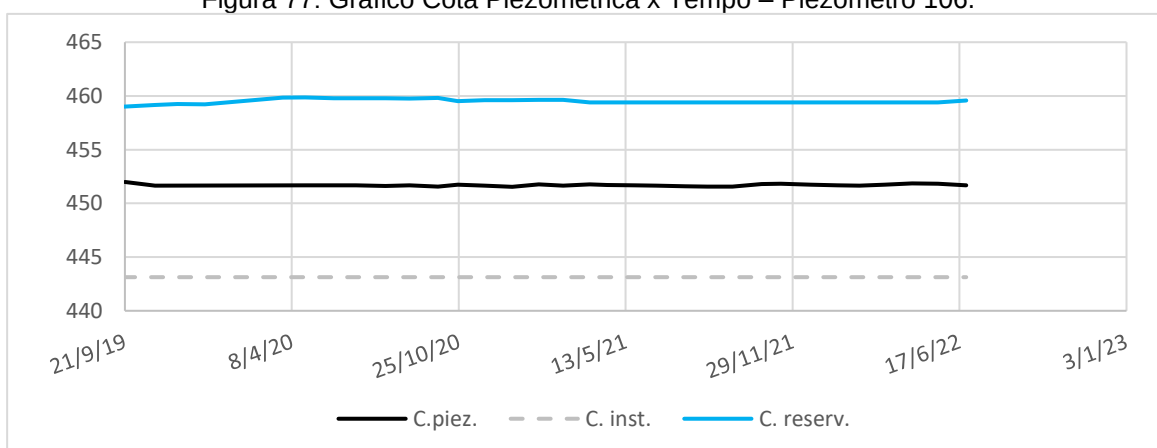
Quadro 35: Dados de monitoramento – Piezômetro 106.

PIEZÔMETRO		PZ-106
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	443,130
	Estaca	15+18,00
	Afastamento	25,63 jus.
Níveis de segurança	Alerta	Instrumento instalado no vertedouro *
	Atenção	
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	8,73	460,33	17,20	451,60
19/08/21	Sol	459,40	8,77	460,33	17,20	451,56
18/09/21	Sol	459,40	8,77	460,33	17,20	451,56
23/10/21	Sol	459,40	8,54	460,33	17,20	451,79
15/11/21	Sol	459,40	8,50	460,33	17,20	451,83
21/12/21	Sol	459,40	8,58	460,33	17,20	451,75
22/01/22	Sol	459,40	8,64	460,33	17,20	451,69
17/02/22	Sol	459,40	8,67	460,33	17,20	451,66
19/03/22	Sol	459,40	8,60	460,33	17,20	451,73
21/04/22	Sol	459,40	8,48	460,33	17,20	451,85
22/05/22	Sol	459,40	8,50	460,33	17,20	451,83
25/06/22	Sol	459,56	8,64	460,33	17,20	451,69

*Não há níveis de atenção e alerta associados.

Figura 77: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 106.



NÃO HÁ NÍVEIS DE ATENÇÃO E ALERTA ASSOCIADOS.

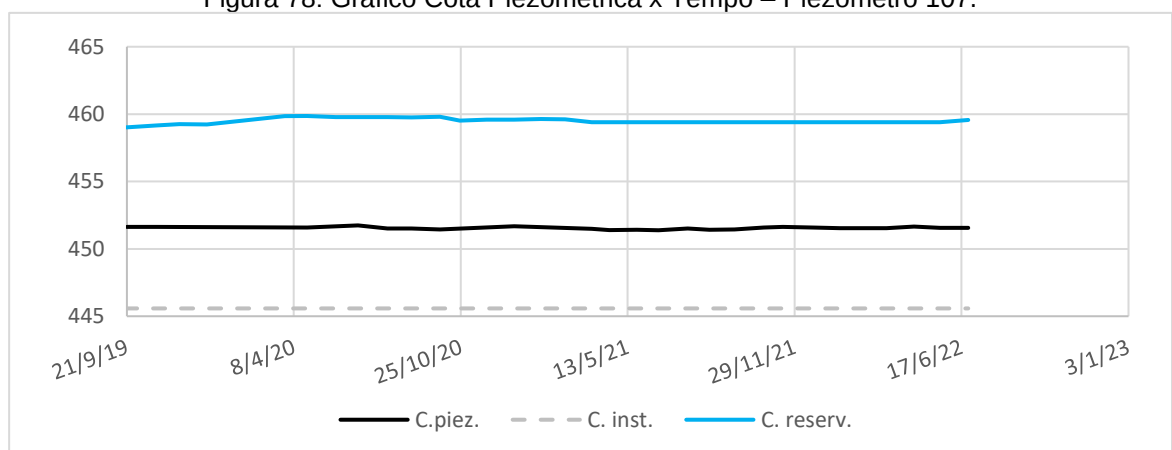
Quadro 36: Dados de monitoramento – Piezômetro 107.

PIEZÔMETRO		PZ-107
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	445,580
	Estaca	18+10,00
	Afastamento	7,21 jus.
Níveis de segurança	Alerta	Instrumento instalado no vertedouro *
	Atenção	
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	0,47	451,98	6,40	451,51
19/08/21	Sol	459,40	0,56	451,98	6,40	451,42
18/09/21	Sol	459,40	0,54	451,98	6,40	451,44
23/10/21	Sol	459,40	0,39	451,98	6,40	451,59
15/11/21	Sol	459,40	0,36	451,98	6,40	451,62
21/12/21	Sol	459,40	0,39	451,98	6,40	451,59
22/01/22	Sol	459,40	0,44	451,98	6,40	451,54
17/02/22	Sol	459,40	0,45	451,98	6,40	451,53
19/03/22	Sol	459,40	0,44	451,98	6,40	451,54
21/04/22	Sol	459,40	0,33	451,98	6,40	451,65
22/05/22	Sol	459,40	0,41	451,98	6,40	451,57
25/06/22	Sol	459,56	0,42	451,98	6,40	451,56

*Não há níveis de atenção e alerta associados.

Figura 78: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 107.



NÃO HÁ NÍVEIS DE ATENÇÃO E ALERTA ASSOCIADOS.

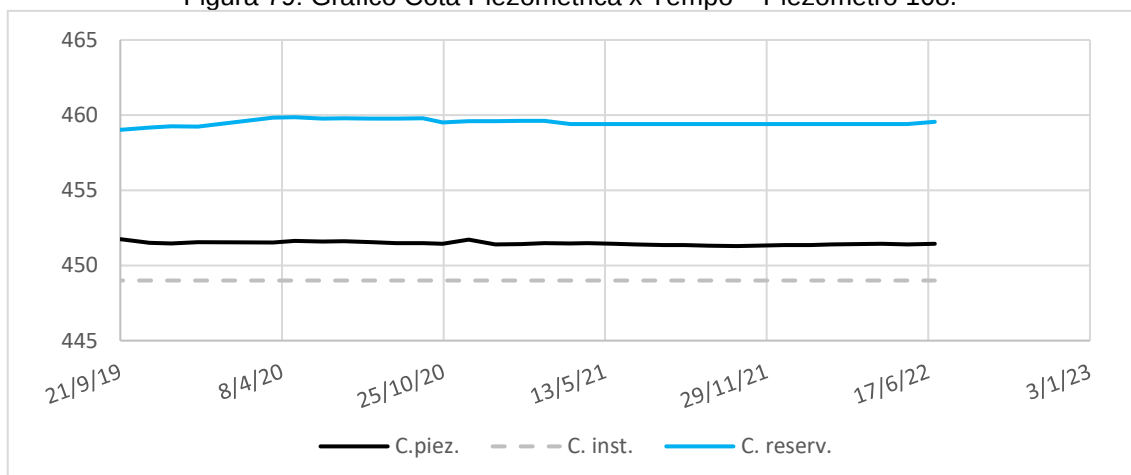
Quadro 37: Dados de monitoramento – Piezômetro 108.

PIEZÔMETRO		PZ-108
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	449,000
	Estaca	18+10,00
	Afastamento	25,37 jus.
Níveis de segurança	Alerta	Instrumento instalado no vertedouro *
	Atenção	
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	9,03	460,38	11,38	451,35
19/08/21	Sol	459,40	9,02	460,38	11,38	451,36
18/09/21	Sol	459,40	9,07	460,38	11,38	451,31
23/10/21	Sol	459,40	9,09	460,38	11,38	451,29
15/11/21	Sol	459,40	9,07	460,38	11,38	451,31
21/12/21	Sol	459,40	9,03	460,38	11,38	451,35
22/01/22	Sol	459,40	9,03	460,38	11,38	451,35
17/02/22	Sol	459,40	8,97	460,38	11,38	451,41
19/03/22	Sol	459,40	8,96	460,38	11,38	451,42
21/04/22	Sol	459,40	8,94	460,38	11,38	451,44
22/05/22	Sol	459,40	8,97	460,38	11,38	451,41
25/06/22	Sol	459,56	8,94	460,38	11,38	451,44

*Não há níveis de atenção e alerta associados.

Figura 79: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 108.



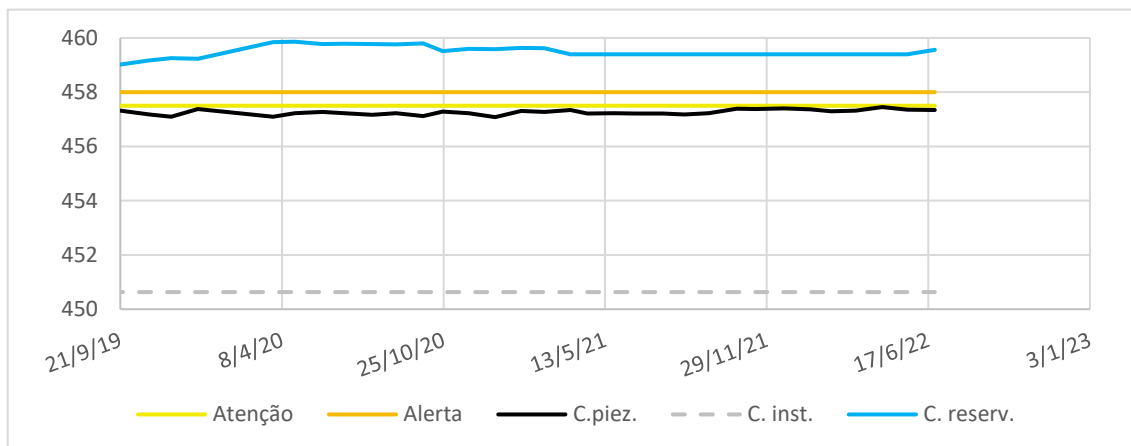
NÃO HÁ NÍVEIS DE ATENÇÃO E ALERTA ASSOCIADOS.

Quadro 38: Dados de monitoramento – Piezômetro 109.

PIEZÔMETRO		PZ-109
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	450,630
	Estaca	20+15,00
	Afastamento	1,90 jus.
Níveis de segurança	Alerta	≥ 458,00
	Atenção	≥ 457,50
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	6,79	464,00	13,37	457,21
19/08/21	Sol	459,40	6,82	464,00	13,37	457,18
18/09/21	Sol	459,40	6,78	464,00	13,37	457,22
23/10/21	Sol	459,40	6,61	464,00	13,37	457,39
15/11/21	Sol	459,40	6,62	464,00	13,37	457,38
21/12/21	Sol	459,40	6,60	464,00	13,37	457,40
22/01/22	Sol	459,40	6,63	464,00	13,37	457,37
17/02/22	Sol	459,40	6,70	464,00	13,37	457,30
19/03/22	Sol	459,40	6,68	464,00	13,37	457,32
21/04/22	Sol	459,40	6,55	464,00	13,37	457,45
22/05/22	Sol	459,40	6,65	464,00	13,37	457,35
25/06/22	Sol	459,56	6,66	464,00	13,37	457,34

Figura 80: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 109.



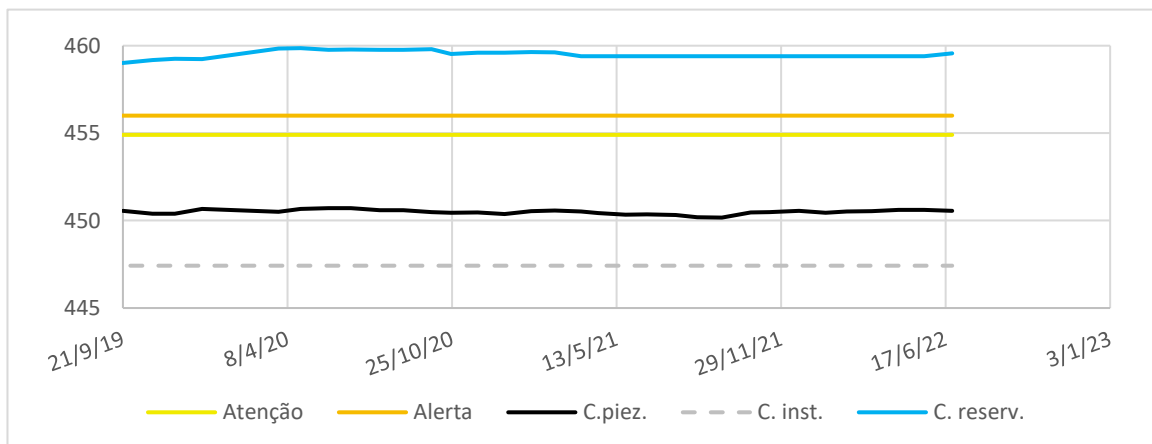
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 39: Dados de monitoramento – Piezômetro 110.

PIEZÔMETRO		PZ-110
Dados Gerais	Cota instal. (fundo bulbo)	447,420
	Estaca	20+15,00
	Afastamento	18,53 jus.
Níveis de segurança	Alerta	≥ 456,00
	Atenção	≥ 454,90
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/17
	Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	8,26	458,57	11,15	450,31
19/08/21	Sol	459,40	8,38	458,57	11,15	450,19
18/09/21	Sol	459,40	8,40	458,57	11,15	450,17
23/10/21	Sol	459,40	8,11	458,57	11,15	450,46
15/11/21	Sol	459,40	8,08	458,57	11,15	450,49
21/12/21	Sol	459,40	8,01	458,57	11,15	450,56
22/01/22	Sol	459,40	8,13	458,57	11,15	450,44
17/02/22	Sol	459,40	8,05	458,57	11,15	450,52
19/03/22	Sol	459,40	8,03	458,57	11,15	450,54
21/04/22	Sol	459,40	7,96	458,57	11,15	450,61
22/05/22	Sol	459,40	7,96	458,57	11,15	450,61
25/06/22	Sol	459,56	8,01	458,57	11,15	450,56

Figura 81: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 110.



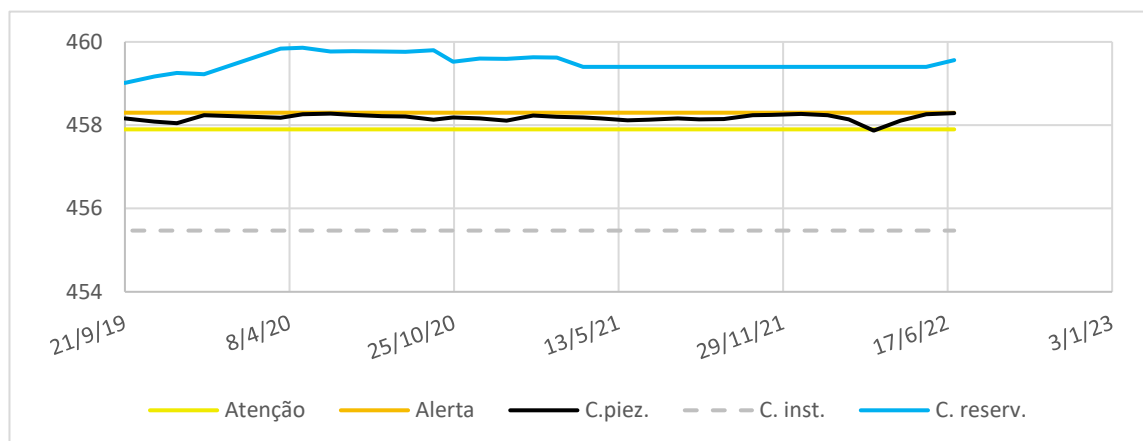
COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL NORMAL.

Quadro 40: Dados de monitoramento – Piezômetro 111.

PIEZÔMETRO		PZ-111	
Dados Gerais		Cota instal. (fundo bulbo)	455,470
		Estaca	22+5,00
		Afastamento	2,48 jus.
Níveis de segurança		Alerta	≥ 458,30
		Atenção	≥ 457,90
Período de monitoramento		Data inicial	08/08/17
		Data final	25/06/22

Data	Cond. tempo	Cota reserv. (m)	Leitura (m)	Cota topo (m)	Prof. (m)	Cota Piezom. (m)
24/07/21	Sol	459,40	5,70	463,86	8,39	▶ 458,16
19/08/21	Sol	459,40	5,72	463,86	8,39	▶ 458,14
18/09/21	Sol	459,40	5,71	463,86	8,39	▶ 458,15
23/10/21	Sol	459,40	5,62	463,86	8,39	▶ 458,24
15/11/21	Sol	459,40	5,61	463,86	8,39	▶ 458,25
21/12/21	Sol	459,40	5,59	463,86	8,39	▶ 458,27
22/01/22	Sol	459,40	5,62	463,86	8,39	▶ 458,24
17/02/22	Sol	459,40	5,72	463,86	8,39	▶ 458,14
19/03/22	Sol	459,40	5,99	463,86	8,39	457,87
21/04/22	Sol	459,40	5,75	463,86	8,39	▶ 458,11
22/05/22	Sol	459,40	5,60	463,86	8,39	▶ 458,26
25/06/22	Sol	459,56	5,57	463,86	8,39	▶ 458,29

Figura 82: Gráfico Cota Piezométrica x Tempo – Piezômetro 111.



COTA PIEZOMÉTRICA EM NÍVEL DE ATENÇÃO.

4.7.2. Monitoramento dos medidores de nível d'água

Como resultado do monitoramento dos medidores de nível d'água, são apresentadas as leituras associadas aos dados gerais de cada instrumento. Da associação de dados, tem-se o nível freático, calculado pela equação 2.

$$(\text{nível freático}) = (\text{cota de topo}) - (\text{leitura}) \quad [\text{Eq. 2}]$$

Os resultados obtidos para nível freático em cada instrumento são confrontados com dados da carta de risco e parâmetros de instalação e nível do reservatório. Em análise visual, são associados graficamente os parâmetros de cota em função do tempo, conforme apresentado na Figura 68, de forma similar à análise gráfica dos piezômetros. Os níveis de atenção e alerta são considerados conforme estabelecimento no Plano de Segurança da Barragem Guariroba, apresentados no Quadro 41.

Quadro 41: Níveis de controle dos medidores de nível d'água.

ESTACA	INSTRUMENTO	NÍVEL NORMAL		NÍVEL DE ATENÇÃO		NÍVEL DE ALERTA	
		FS	Cota Piezométrica (m)	FS	Cota Piezométrica (m)	FS	Cota Piezométrica (m)
10+10,00	MNA-17	2,68	453,70	2,68	456,50	2,68	457,60
	MNA-18		453,40		455,80		456,90
	MNA-19 (1)		457,00		457,80		458,50
12+10,00	MNA-16	2,33	452,80	2,33	453,70	2,33	455,50
	MNA-15		453,70		455,60		456,80
	MNA-14		453,90		455,80		457,10
	MNA-13 (1)		452,80		453,40		455,30
	MNA-12 (1)		453,30		455,20		456,40
	MNA-11 (1)		453,30		454,80		456,30
20+15,00	MNA-10	1,95	450,80	1,75	452,30	1,68	454,00
	MNA-09		451,50		454,20		455,60
	MNA-08		452,50		455,50		456,40
22+5,00	MNA-07	2,41	452,00	2,06	454,20	1,90	455,60
	MNA-06		452,80		455,40		456,30
	MNA-05		453,60		456,20		457,00
	MNA-04 (1)		454,00		455,00		455,90
	MNA-03 (1)		455,70		456,50		457,50
24+10,00	MNA-02 (1)	-	454,80	-	454,70	-	456,50

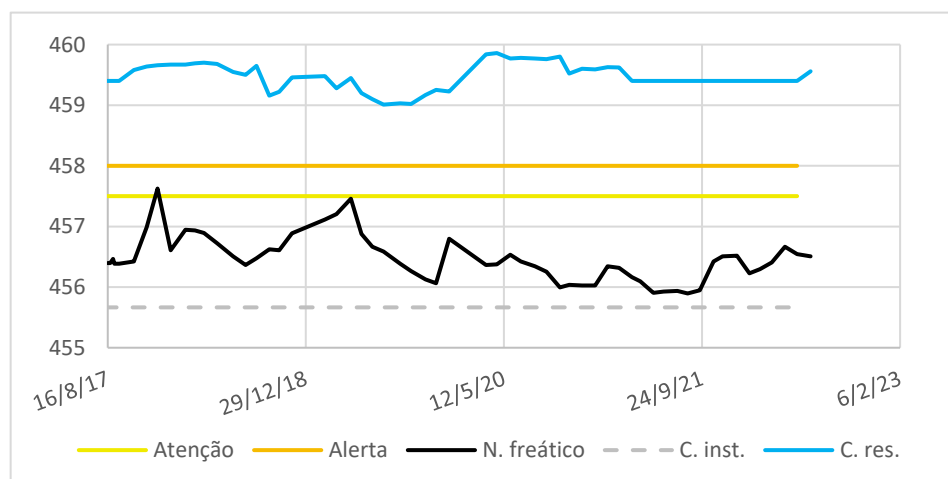
Fonte: PSB 2020, VLB Engenharia.

Quadro 42: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 01.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-01
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	455,67
	Estaca	25+10,00
	Afastamento	14,73
Níveis de segurança	Nível alerta	458,00
	Nível atenção	457,50
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	4,05	459,99	455,94
19/08/21	459,40	4,09	459,99	455,90
18/09/21	459,40	4,04	459,99	455,95
23/10/21	459,40	3,56	459,99	456,43
15/11/21	459,40	3,48	459,99	456,51
21/12/21	459,40	3,47	459,99	456,52
22/01/22	459,40	3,76	459,99	456,23
17/02/22	459,40	3,69	459,99	456,30
19/03/22	459,40	3,58	459,99	456,41
21/04/22	459,40	3,32	459,99	456,67
22/05/22	459,40	3,44	459,99	456,55
25/06/22	459,56	3,48	459,99	456,51

Figura 83: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 01.



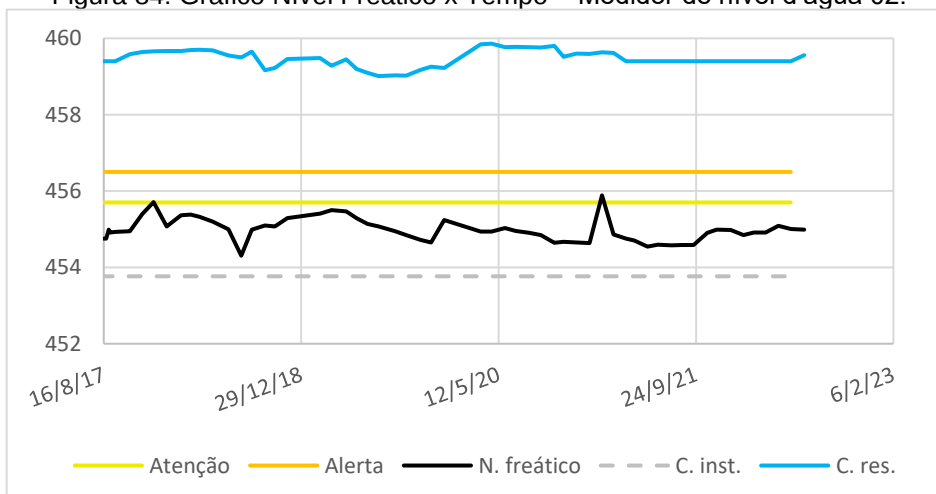
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 43: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 02.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-02
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	453,77
	Estaca	24+10,00
	Afastamento	20,73
Níveis de segurança	Nível alerta	456,50
	Nível atenção	455,70
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,57	458,15	454,58
19/08/21	459,40	3,56	458,15	454,59
18/09/21	459,40	3,56	458,15	454,59
23/10/21	459,40	3,24	458,15	454,91
15/11/21	459,40	3,16	458,15	454,99
21/12/21	459,40	3,17	458,15	454,98
22/01/22	459,40	3,30	458,15	454,85
17/02/22	459,40	3,23	458,15	454,92
19/03/22	459,40	3,23	458,15	454,92
21/04/22	459,40	3,06	458,15	455,09
22/05/22	459,40	3,14	458,15	455,01
25/06/22	459,56	3,16	458,15	454,99

Figura 84: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 02.



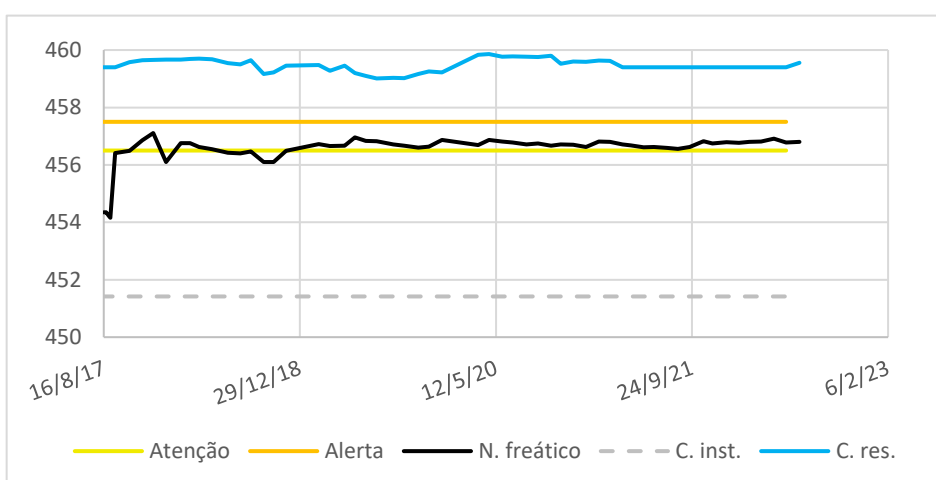
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 44: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 03.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-03
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	451,42
	Estaca	22+5,00
	Afastamento	13,65
Níveis de segurança	Nível alerta	457,50
	Nível atenção	456,50
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,31	459,90	▶ 456,59
19/08/21	459,40	3,34	459,90	▶ 456,56
18/09/21	459,40	3,28	459,90	▶ 456,62
23/10/21	459,40	3,07	459,90	▶ 456,83
15/11/21	459,40	3,15	459,90	▶ 456,75
21/12/21	459,40	3,11	459,90	▶ 456,79
22/01/22	459,40	3,13	459,90	▶ 456,77
17/02/22	459,40	3,10	459,90	▶ 456,80
19/03/22	459,40	3,08	459,90	▶ 456,82
21/04/22	459,40	2,98	459,90	▶ 456,92
22/05/22	459,40	3,12	459,90	▶ 456,78
25/06/22	459,56	3,10	459,90	▶ 456,80

Figura 85: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 03.



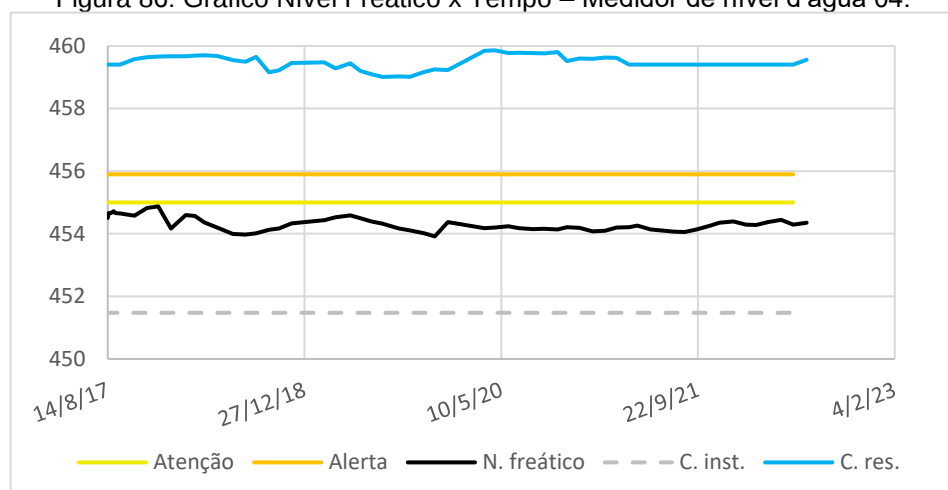
NÍVEL FREÁTICO EM ATENÇÃO.

Quadro 45: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 04.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-04
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	451,48
	Estaca	22+5,00
	Afastamento	24,63
Níveis de segurança	Nível alerta	455,90
	Nível atenção	455,00
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	2,15	456,22	454,07
19/08/21	459,40	2,16	456,22	454,06
18/09/21	459,40	2,08	456,22	454,14
23/10/21	459,40	1,95	456,22	454,27
15/11/21	459,40	1,86	456,22	454,36
21/12/21	459,40	1,82	456,22	454,40
22/01/22	459,40	1,92	456,22	454,30
17/02/22	459,40	1,93	456,22	454,29
19/03/22	459,40	1,84	456,22	454,38
21/04/22	459,40	1,77	456,22	454,45
22/05/22	459,40	1,92	456,22	454,30
25/06/22	459,56	1,86	456,22	454,36

Figura 86: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 04.



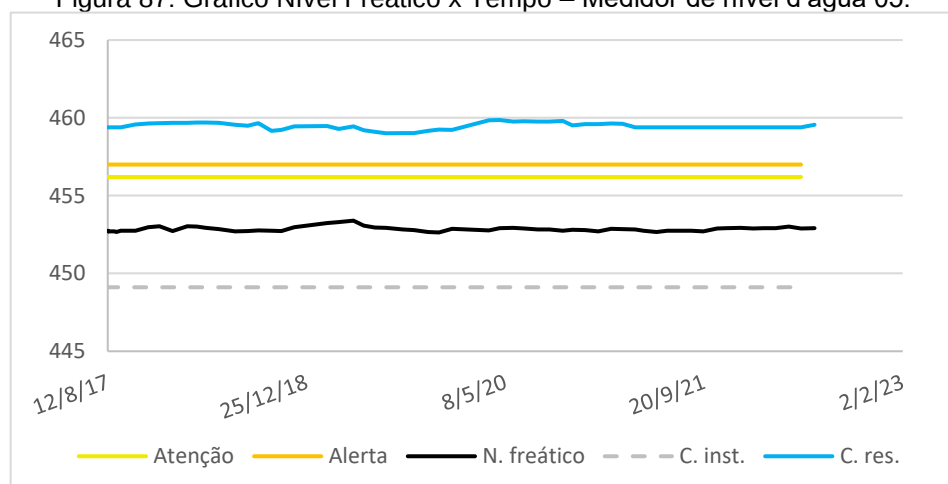
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 46: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 05.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-05
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	449,11
	Estaca	22+5,00
	Afastamento	14,09
Níveis de segurança	Nível alerta	457,00
	Nível atenção	456,20
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	7,10	459,84	452,74
19/08/21	459,40	7,09	459,84	452,75
18/09/21	459,40	7,13	459,84	452,71
23/10/21	459,40	6,95	459,84	452,89
15/11/21	459,40	6,94	459,84	452,90
21/12/21	459,40	6,92	459,84	452,92
22/01/22	459,40	6,96	459,84	452,88
17/02/22	459,40	6,94	459,84	452,90
19/03/22	459,40	6,94	459,84	452,90
21/04/22	459,40	6,84	459,84	453,00
22/05/22	459,40	6,96	459,84	452,88
25/06/22	459,56	6,93	459,84	452,91

Figura 87: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 05.



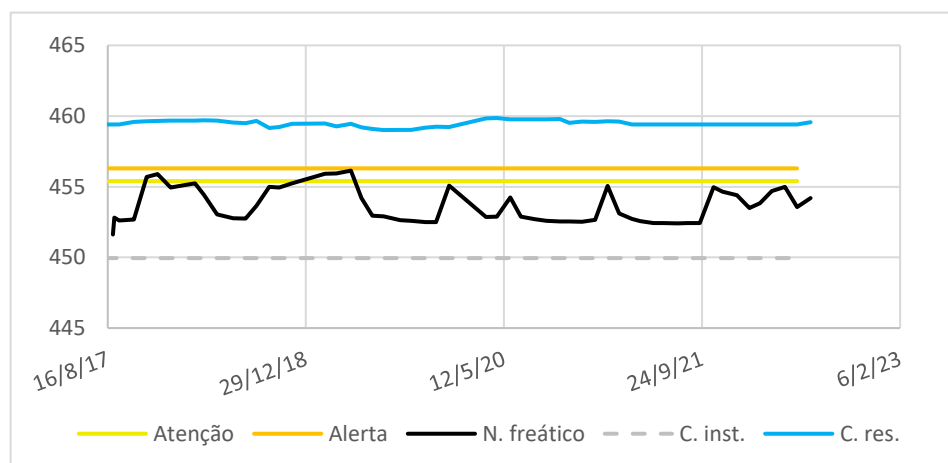
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 47: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 06.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-06
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	449,95
	Estaca	22+5,00
	Afastamento	20,91
Níveis de segurança	Nível alerta	456,30
	Nível atenção	455,40
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	4,90	457,30	452,40
19/08/21	459,40	4,88	457,30	452,42
18/09/21	459,40	4,87	457,30	452,43
23/10/21	459,40	2,34	457,30	454,96
15/11/21	459,40	2,66	457,30	454,64
21/12/21	459,40	2,89	457,30	454,41
22/01/22	459,40	3,81	457,30	453,49
17/02/22	459,40	3,47	457,30	453,83
19/03/22	459,40	2,60	457,30	454,70
21/04/22	459,40	2,31	457,30	454,99
22/05/22	459,40	3,74	457,30	453,56
25/06/22	459,56	3,10	457,30	454,20

Figura 88: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 06.



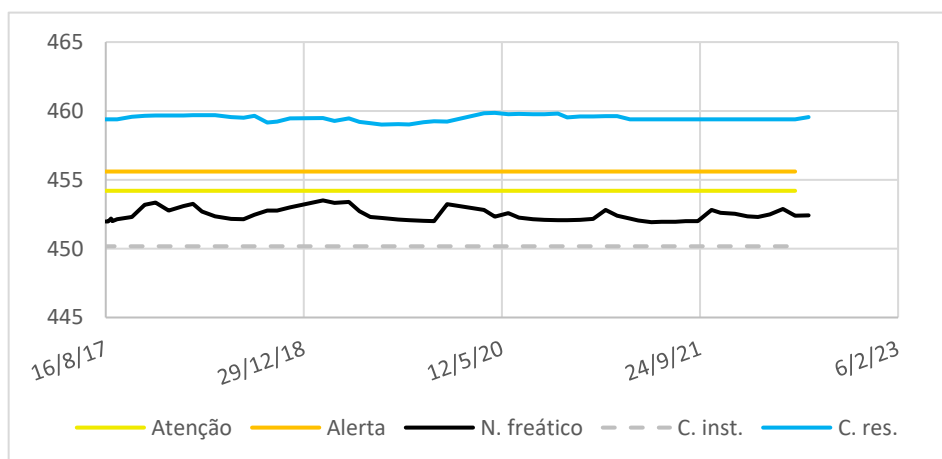
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 48: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 07.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-07
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	450,17
	Estaca	22+5,00
	Afastamento	27,68
Níveis de segurança	Nível alerta	455,60
	Nível atenção	454,20
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,32	455,27	451,95
19/08/21	459,40	3,28	455,27	451,99
18/09/21	459,40	3,27	455,27	452,00
23/10/21	459,40	2,45	455,27	452,82
15/11/21	459,40	2,68	455,27	452,59
21/12/21	459,40	2,75	455,27	452,52
22/01/22	459,40	2,92	455,27	452,35
17/02/22	459,40	2,97	455,27	452,30
19/03/22	459,40	2,79	455,27	452,48
21/04/22	459,40	2,40	455,27	452,87
22/05/22	459,40	2,88	455,27	452,39
25/06/22	459,56	2,85	455,27	452,42

Figura 89: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 07.



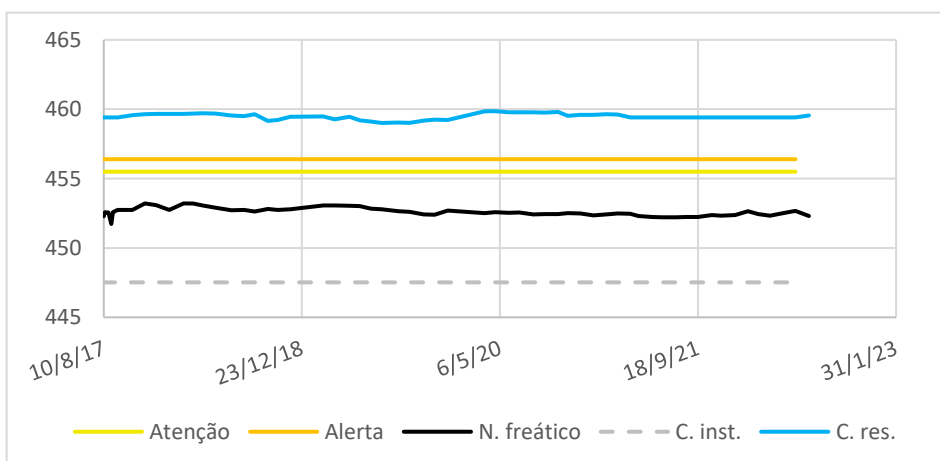
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 49: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 08.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-08
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	447,52
	Estaca	20+15,00
	Afastamento	14,66
Níveis de segurança	Nível alerta	456,40
	Nível atenção	455,50
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	7,02	459,22	452,20
19/08/21	459,40	6,98	459,22	452,24
18/09/21	459,40	6,99	459,22	452,23
23/10/21	459,40	6,85	459,22	452,37
15/11/21	459,40	6,90	459,22	452,32
21/12/21	459,40	6,85	459,22	452,37
22/01/22	459,40	6,57	459,22	452,65
17/02/22	459,40	6,77	459,22	452,45
19/03/22	459,40	6,90	459,22	452,32
21/04/22	459,40	6,70	459,22	452,52
22/05/22	459,40	6,55	459,22	452,67
25/06/22	459,56	6,92	459,22	452,30

Figura 90: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 08.



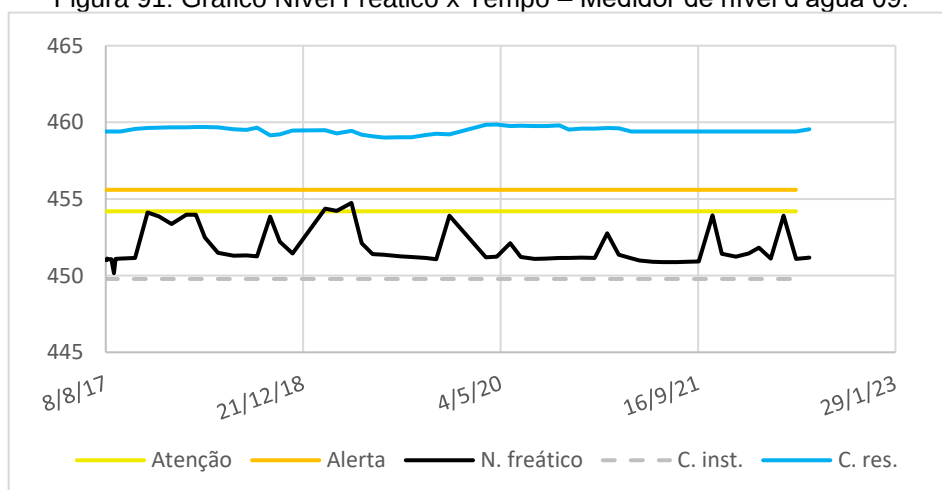
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 50: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 09.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-09
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	449,78
	Estaca	20+15,00
	Afastamento	21,47
Níveis de segurança	Nível alerta	455,60
	Nível atenção	454,20
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	5,63	456,52	450,89
19/08/21	459,40	5,61	456,52	450,91
18/09/21	459,40	5,60	456,52	450,92
23/10/21	459,40	2,60	456,52	453,92
15/11/21	459,40	5,10	456,52	451,42
21/12/21	459,40	5,29	456,52	451,23
22/01/22	459,40	5,08	456,52	451,44
17/02/22	459,40	4,71	456,52	451,81
19/03/22	459,40	5,42	456,52	451,10
21/04/22	459,40	2,61	456,52	453,91
22/05/22	459,40	5,44	456,52	451,08
25/06/22	459,56	5,34	456,52	451,18

Figura 91: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 09.



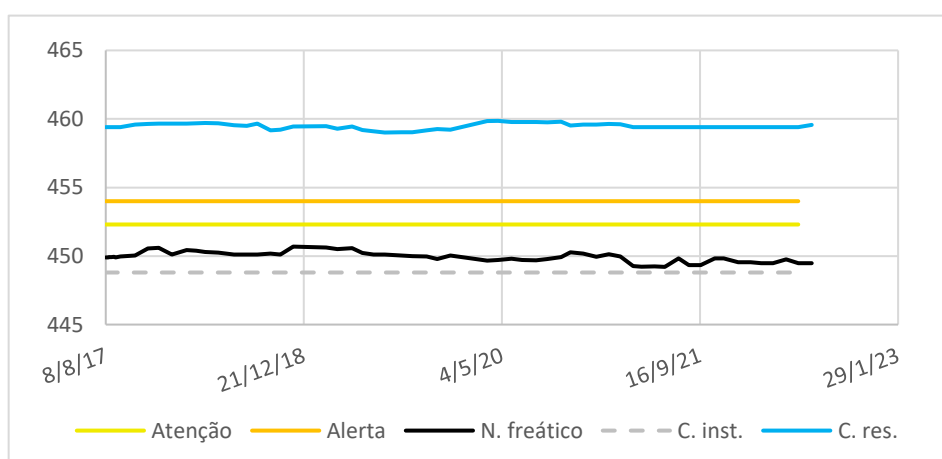
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 51: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 10.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-10
Dados Gerais	Estrutura:	MD
	Cota de instalação	448,80
	Estaca	20+15,00
	Afastamento	28,13
Níveis de segurança	Nível alerta	454,00
	Nível atenção	452,30
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,45	453,27	449,82
19/08/21	459,40	3,94	453,27	449,33
18/09/21	459,40	3,92	453,27	449,35
23/10/21	459,40	3,43	453,27	449,84
15/11/21	459,40	3,44	453,27	449,83
21/12/21	459,40	3,73	453,27	449,54
22/01/22	459,40	3,72	453,27	449,55
17/02/22	459,40	3,80	453,27	449,47
19/03/22	459,40	3,79	453,27	449,48
21/04/22	459,40	3,50	453,27	449,77
22/05/22	459,40	3,80	453,27	449,47
25/06/22	459,56	3,78	453,27	449,49

Figura 92: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 10.



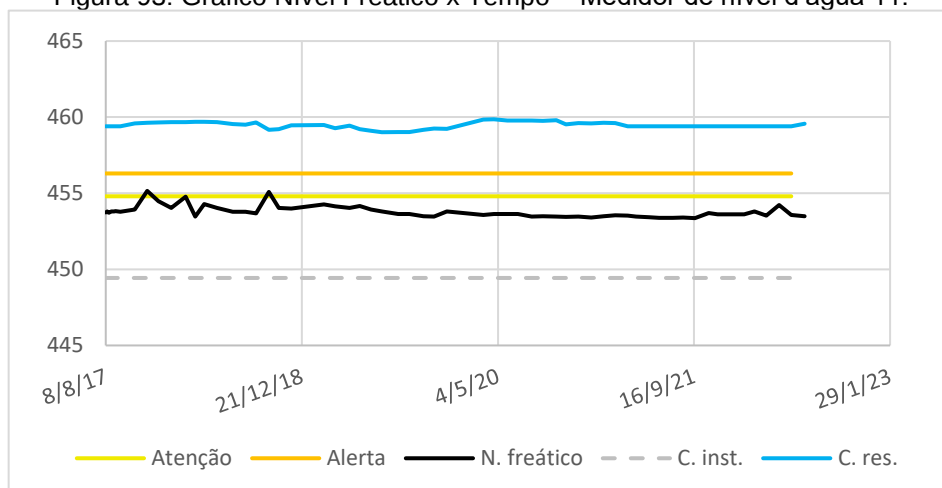
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 52: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 11.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-11
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	449,43
	Estaca	15+10,00
	Afastamento	14,63
Níveis de segurança	Nível alerta	456,30
	Nível atenção	454,80
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	6,23	459,61	453,38
19/08/21	459,40	6,21	459,61	453,40
18/09/21	459,40	6,25	459,61	453,36
23/10/21	459,40	5,91	459,61	453,70
15/11/21	459,40	6,00	459,61	453,61
21/12/21	459,40	5,99	459,61	453,62
22/01/22	459,40	6,00	459,61	453,61
17/02/22	459,40	5,82	459,61	453,79
19/03/22	459,40	6,08	459,61	453,53
21/04/22	459,40	5,38	459,61	454,23
22/05/22	459,40	6,04	459,61	453,57
25/06/22	459,56	6,13	459,61	453,48

Figura 93: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 11.



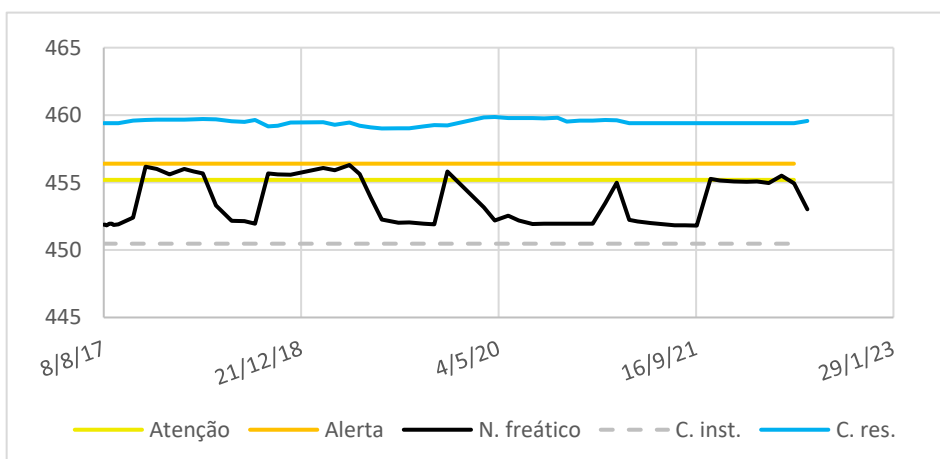
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 53: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 12.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-12
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	450,47
	Estaca	15+10,00
	Afastamento	21,29
Níveis de segurança	Nível alerta	456,40
	Nível atenção	455,20
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	5,17	457,01	451,84
19/08/21	459,40	5,17	457,01	451,84
18/09/21	459,40	5,20	457,01	451,81
23/10/21	459,40	1,73	457,01	▶ 455,28
15/11/21	459,40	1,85	457,01	455,16
21/12/21	459,40	1,92	457,01	455,09
22/01/22	459,40	1,95	457,01	455,06
17/02/22	459,40	1,92	457,01	455,09
19/03/22	459,40	2,04	457,01	454,97
21/04/22	459,40	1,50	457,01	▶ 455,51
22/05/22	459,40	2,07	457,01	454,94
25/06/22	459,56	3,99	457,01	453,02

Figura 94: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 12.



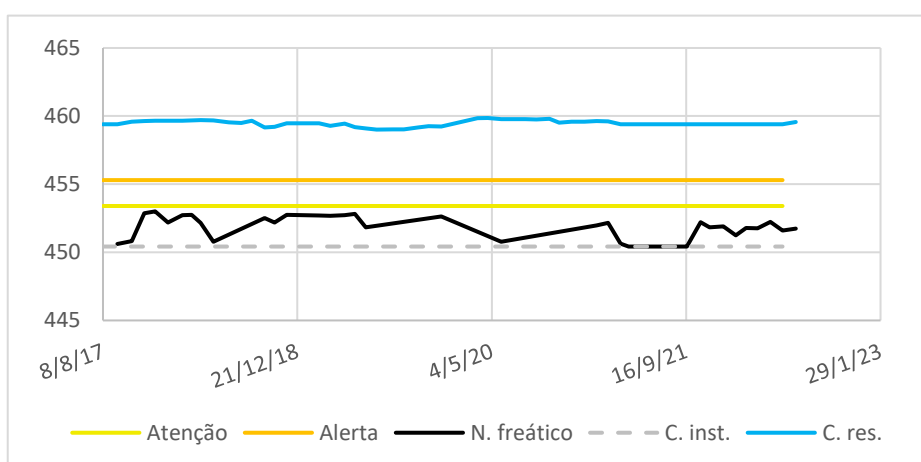
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 54: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 13.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-13
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	450,43
	Estaca	15+10,00
	Afastamento	28,58
Níveis de segurança	Nível alerta	455,30
	Nível atenção	453,40
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	seco	454,08	450,43
19/08/21	459,40	seco	454,08	450,43
18/09/21	459,40	seco	454,08	450,43
23/10/21	459,40	1,86	454,08	452,22
15/11/21	459,40	2,24	454,08	451,84
21/12/21	459,40	2,18	454,08	451,90
22/01/22	459,40	2,82	454,08	451,26
17/02/22	459,40	2,28	454,08	451,80
19/03/22	459,40	2,30	454,08	451,78
21/04/22	459,40	1,84	454,08	452,24
22/05/22	459,40	2,48	454,08	451,60
25/06/22	459,56	2,34	454,08	451,74

Figura 95: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 13.



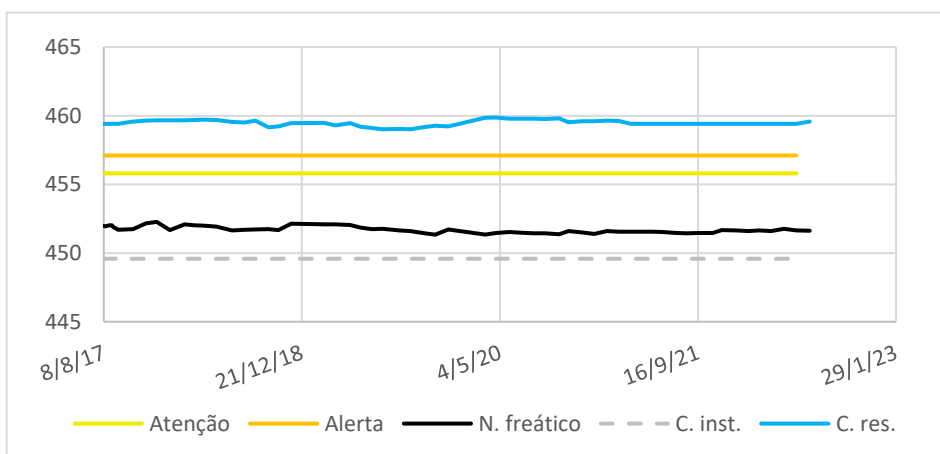
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 55: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 14.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-14
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	449,59
	Estaca	12+10,00
	Afastamento	13,25
Níveis de segurança	Nível alerta	457,10
	Nível atenção	455,80
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	8,71	460,18	451,47
19/08/21	459,40	8,73	460,18	451,45
18/09/21	459,40	8,72	460,18	451,46
23/10/21	459,40	8,71	460,18	451,47
15/11/21	459,40	8,50	460,18	451,68
21/12/21	459,40	8,53	460,18	451,65
22/01/22	459,40	8,58	460,18	451,60
17/02/22	459,40	8,52	460,18	451,66
19/03/22	459,40	8,58	460,18	451,60
21/04/22	459,40	8,42	460,18	451,76
22/05/22	459,40	8,54	460,18	451,64
25/06/22	459,56	8,56	460,18	451,62

Figura 96: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 14.



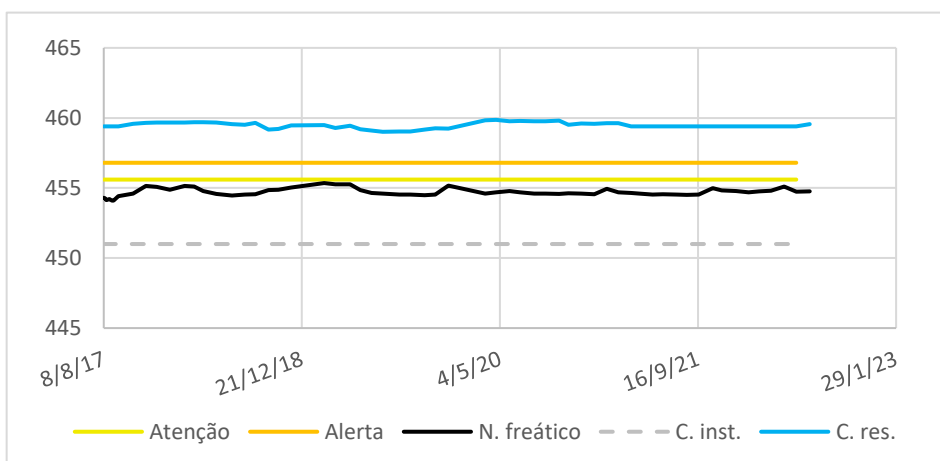
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 56: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 15.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-15
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	451,00
	Estaca	12+10,00
	Afastamento	20,00
Níveis de segurança	Nível alerta	456,80
	Nível atenção	455,60
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,43	457,95	454,52
19/08/21	459,40	3,45	457,95	454,50
18/09/21	459,40	3,42	457,95	454,53
23/10/21	459,40	2,96	457,95	454,99
15/11/21	459,40	3,12	457,95	454,83
21/12/21	459,40	3,17	457,95	454,78
22/01/22	459,40	3,26	457,95	454,69
17/02/22	459,40	3,19	457,95	454,76
19/03/22	459,40	3,14	457,95	454,81
21/04/22	459,40	2,84	457,95	455,11
22/05/22	459,40	3,21	457,95	454,74
25/06/22	459,56	3,19	457,95	454,76

Figura 97: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 15.



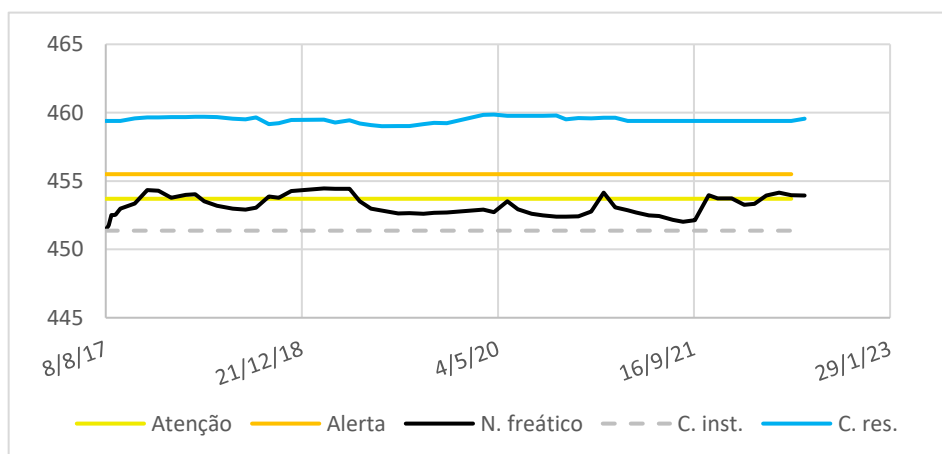
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 57: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 16.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-16
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	451,37
	Estaca	12+10,00
	Afastamento	26,96
Níveis de segurança	Nível alerta	455,50
	Nível atenção	453,70
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,45	455,61	452,16
19/08/21	459,40	3,59	455,61	452,02
18/09/21	459,40	3,48	455,61	452,13
23/10/21	459,40	1,65	455,61	▶ 453,96
15/11/21	459,40	1,89	455,61	▶ 453,72
21/12/21	459,40	1,88	455,61	▶ 453,73
22/01/22	459,40	2,36	455,61	453,25
17/02/22	459,40	2,29	455,61	453,32
19/03/22	459,40	1,66	455,61	▶ 453,95
21/04/22	459,40	1,46	455,61	▶ 454,15
22/05/22	459,40	1,65	455,61	▶ 453,96
25/06/22	459,56	1,66	455,61	▶ 453,95

Figura 98: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 16.



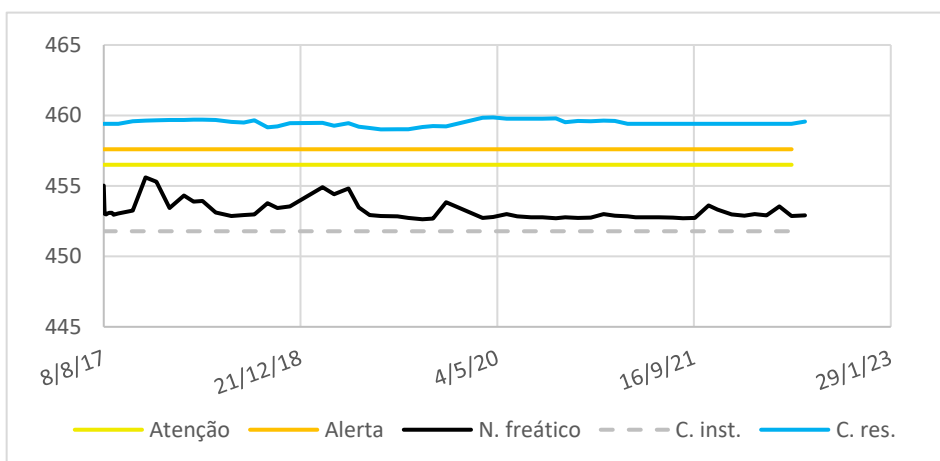
NÍVEL FREÁTICO EM ATENÇÃO.

Quadro 58: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 17.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-17
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	451,78
	Estaca	10+10,00
	Afastamento	19,98
Níveis de segurança	Nível alerta	457,60
	Nível atenção	456,50
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	5,56	458,31	452,75
19/08/21	459,40	5,60	458,31	452,71
18/09/21	459,40	5,58	458,31	452,73
23/10/21	459,40	4,71	458,31	453,60
15/11/21	459,40	4,99	458,31	453,32
21/12/21	459,40	5,33	458,31	452,98
22/01/22	459,40	5,42	458,31	452,89
17/02/22	459,40	5,32	458,31	452,99
19/03/22	459,40	5,40	458,31	452,91
21/04/22	459,40	4,76	458,31	453,55
22/05/22	459,40	5,45	458,31	452,86
25/06/22	459,56	5,40	458,31	452,91

Figura 99: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 17.



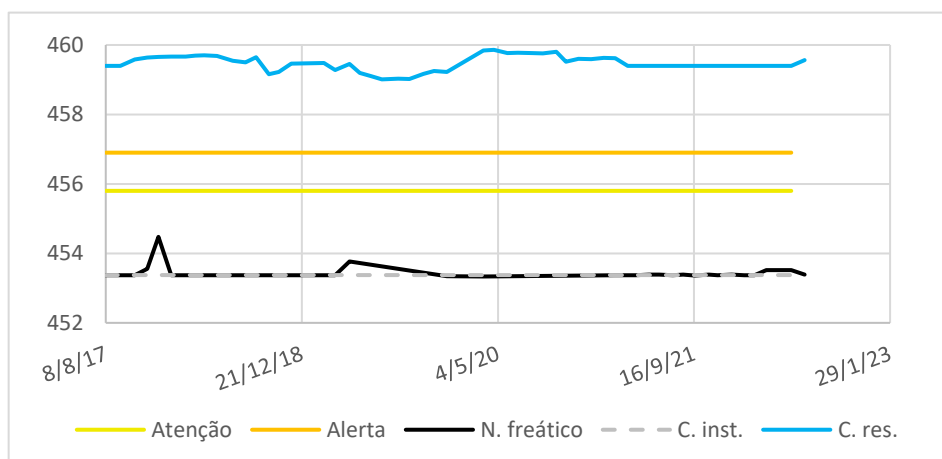
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 59: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 18.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-18
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	453,38
	Estaca	10+10,00
	Afastamento	23,84
Níveis de segurança	Nível alerta	456,90
	Nível atenção	455,80
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,54	456,92	453,38
19/08/21	459,40	3,53	456,92	453,39
18/09/21	459,40	3,55	456,92	453,37
23/10/21	459,40	3,53	456,92	453,39
15/11/21	459,40	3,54	456,92	453,38
21/12/21	459,40	3,53	456,92	453,39
22/01/22	459,40	3,54	456,92	453,38
17/02/22	459,40	3,54	456,92	453,38
19/03/22	459,40	3,40	456,92	453,52
21/04/22	459,40	3,40	456,92	453,52
22/05/22	459,40	3,40	456,92	453,52
25/06/22	459,56	3,53	456,92	453,39

Figura 100: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 18.



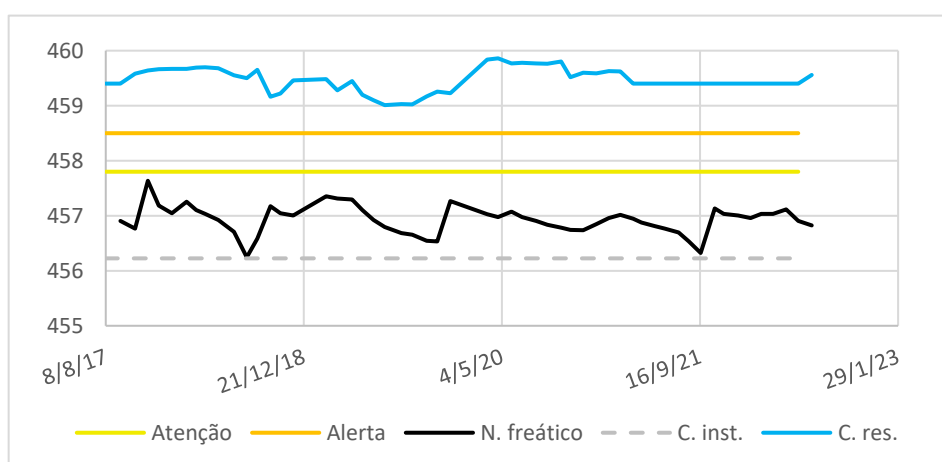
NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

Quadro 60: Dados de monitoramento – Medidor de nível d'água 19.

MEDIDOR DE NÍVEL D'ÁGUA		MNA-19
Dados Gerais	Estrutura:	ME
	Cota de instalação	456,23
	Estaca	10+10,00
	Afastamento	15,16
Níveis de segurança	Nível alerta	458,50
	Nível atenção	457,80
Período de monitoramento	Data inicial	08/08/2017
	Data final	25/06/2022

Data	Cota reserv. (m)	Leit. (m)	Cota topo (m)	Nível freático (m)
24/07/21	459,40	3,05	459,75	456,70
19/08/21	459,40	3,21	459,75	456,54
18/09/21	459,40	3,42	459,75	456,33
23/10/21	459,40	2,61	459,75	457,14
15/11/21	459,40	2,71	459,75	457,04
21/12/21	459,40	2,74	459,75	457,01
22/01/22	459,40	2,79	459,75	456,96
17/02/22	459,40	2,71	459,75	457,04
19/03/22	459,40	2,71	459,75	457,04
21/04/22	459,40	2,63	459,75	457,12
22/05/22	459,40	2,84	459,75	456,91
25/06/22	459,56	2,92	459,75	456,83

Figura 101: Gráfico Nível Freático x Tempo – Medidor de nível d'água 19.



NÍVEL FREÁTICO NORMAL.

4.7.3. Monitoramento dos medidores de vazão

Como resultado do monitoramento do medidor de vazão triangular, são apresentadas as leituras associadas aos dados gerais do instrumento. Conforme a fórmula de Thomson, apresentada na equação 3, é calculada a vazão (Q), em função da altura de lâmina d'água (h).

$$Q = 1,40 * h^{\frac{5}{2}} \quad [\text{Eq. 3}]$$

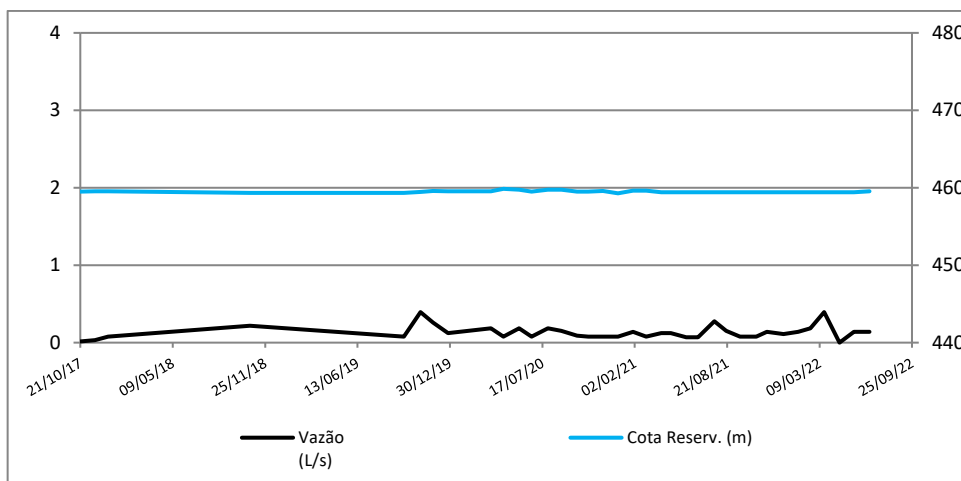
Como dito anteriormente, o medidor de vazão MV – 01 apresentou-se entupido na inspeção.

Quadro 61: Dados de monitoramento – Medidor de vazão triangular.

Medidor de Vazão	MV-01
Estrutura	MD jus.
Estaca	9+5,814
Afast. (m)	64,984

Data da leitura	Cota Reserv. (m)	Leitura (cm)	Vazão (L/s)
29/01/21	459,63	2,50	0,14
27/02/21	459,62	2,00	0,08
31/03/21	459,40	2,40	0,12
21/04/21	459,40	2,40	0,12
24/05/21	459,40	1,90	0,07
19/06/21	459,40	1,90	0,07
24/07/21	459,40	3,30	0,28
19/08/21	459,40	2,60	0,15
18/09/21	459,40	2,00	0,08
23/10/21	459,40	2,00	0,08
15/11/21	459,40	2,50	0,14
21/12/21	459,40	2,30	0,11
22/01/22	459,40	2,50	0,14
17/02/22	459,40	2,80	0,18
19/03/22	459,40	3,80	0,39
21/04/22	459,40	0,00	0,00
22/05/22	459,40	2,50	0,14
25/06/22	459,56	2,50	0,14

Figura 102: Vazão x tempo – Medidor de vazão triangular.



4.7.4. Resumo geral da instrumentação

RESUMO GERAL

MNA-01	Normal
MNA-02	Normal
MNA-03	Atenção
MNA-04	Normal
MNA-05	Normal
MNA-06	Normal
MNA-07	Normal
MNA-08	Normal
MNA-09	Normal
MNA-10	Normal
MNA-11	Normal

RESUMO GERAL

MNA-12	Normal
MNA-13	Normal
MNA-14	Normal
MNA-15	Normal
MNA-16	Atenção
MNA-17	Normal
MNA-18	Normal
MNA-19	Normal
PZ-01	Normal
PZ-02	Normal
PZ-03	Normal

RESUMO GERAL

PZ-101	Alerta
PZ-102	Normal
PZ-103	Normal
PZ-104	Normal
PZ-105	Normal
PZ-106	Normal
PZ-107	Normal
PZ-108	Normal
PZ-109	Normal
PZ-110	Normal
PZ-111	Atenção
MV-01	Normal

Os instrumentos PZ-101, PZ-111, MNA-03 e MNA-16 continuam apresentando cotas piezométricas (PZ) e níveis freático (MNA), acima do nível normal (alerta/atenção).

Para estes instrumentos, recomenda-se a reavaliação dos cálculos e estudos utilizados para a determinação dos níveis (VLB), uma vez que existem protocolos de ações a serem adotados, em função dos resultados do monitoramento que os coloca nos níveis acima do normal.

4.8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A inspeção e monitoramento dos instrumentos da barragem apresentaram comportamento normal (com exceção aos instrumentos citados no item anterior) com resultados dentro da faixa média apresentada nas medições anteriores. A principal exceção é descrita abaixo:

- Realizar estudos conclusivos para determinar as causas e a origem das surgências que ocorrem na bacia de dissipação, que permitam intervenção de saneamento e correção da anomalia.

4.9. AVALIAÇÃO DAS INPEÇÕES DE SEGURANÇA DA BARRAGEM GUARIROBA

A partir da inspeção apresentada neste trabalho, juntamente com as inspeções realizadas nos meses subsequentes (julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) na mesma barragem, foi possível realizar uma avaliação examinando as inspeções de segurança realizadas.

Para tal análise, foi desenvolvido um método comparativo ponderando as relações entre as anomalias notificadas e as soluções propostas. A base da análise são as fichas de inspeção apresentadas em cada relatório emitido (exemplificada na inspeção apresentada)

Assim, para que se possa analisar a atividade do empreendedor, todas as quantificações foram feitas em relação ao número de notificações recebidas, prezando pela expressão da realidade, considerando que uma mesma anomalia pode ser notificada mais de uma vez ao longo do tempo. Portanto, considerando a metodologia de preenchimento das fichas de inspeção do empreendimento, foram consideradas:

- A) Uma nova notificação:** quando preenchido em situação de primeira vez (PV), permanece constante (PC), aumentou (AU) ou diminuiu (DI), considerando que, para a última, apesar da melhora, o problema não foi sanado;
- B) Uma notificação totalmente acatada:** aquela que, após notificada, foi classificada como situação de “desapareceu (DS)”;

- C) Uma notificação parcialmente acatada:** aquela que, após notificada, foi classificada como situação de “diminuiu (DI)”;
- D) Uma pendência:** quando preenchido em situação de permanece constante (PC), aumentou (AU) ou diminuiu (DI), considerando que a mesma anomalia está sendo notificada mais de uma vez;
- E) Ausência de anomalia:** todos os parâmetros de avaliação das fichas classificados como “não existente (NE)”.

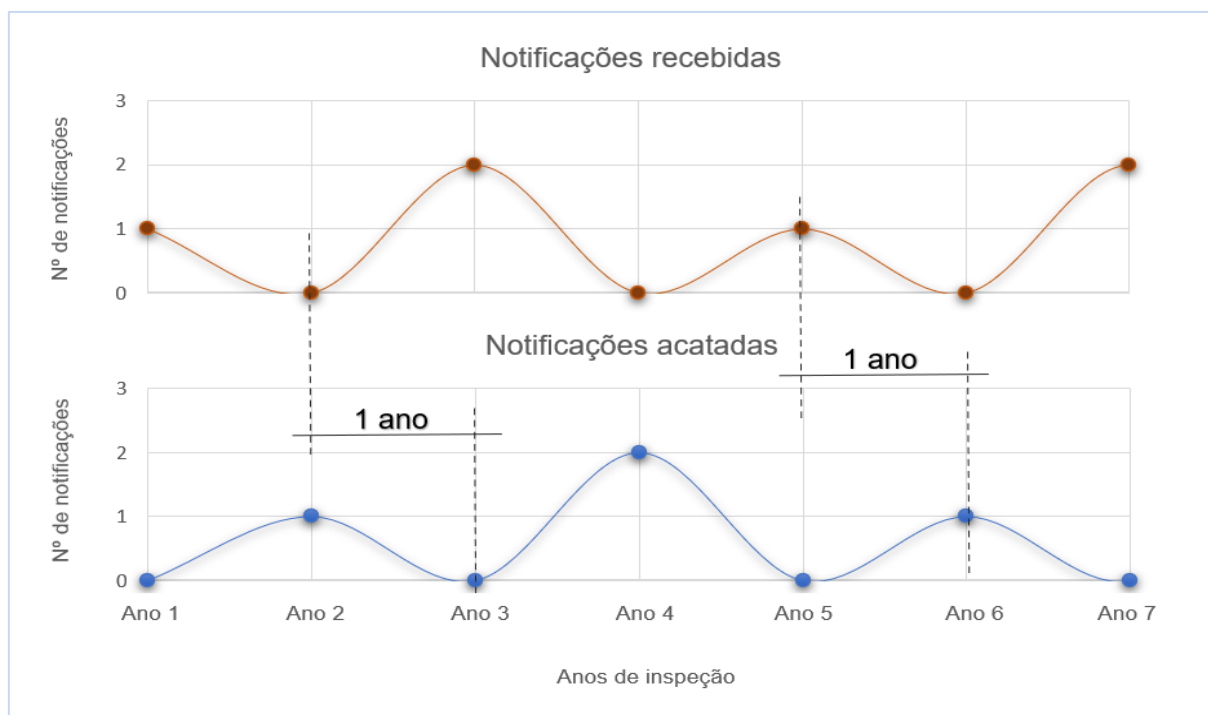
Estabelecidos os critérios, foram realizadas quantificações primárias, por mês de inspeção e por estrutura, incluindo:

- i)** Quantidade de notificações recebidas;
- ii)** Quantidade de notificações totalmente acatadas;
- iii)** Quantidade de notificações parcialmente acatadas;
- iv)** Quantidade de pendências;

Conforme resultados obtidos nas quantificações primárias, se procederam as avaliações de desempenho locais, do atendimento às necessidades de cada estrutura do empreendimento, e globais, considerando o desempenho ao longo de todos os anos de inspeção.

Para cada estrutura, foram expressas, graficamente, a evolução do número de notificações recebidas e do número de notificações acatadas ao longo das inspeções. Em uma situação ideal, onde, em todas as inspeções, se verifica o atendimento à todas as notificações da inspeção anterior, o comportamento de ambos os gráficos deve coincidir, com o deslocamento de um ano no eixo das abcissas, conforme exemplo da Figura 103.

Figura 103 – Representação gráfica das análises locais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi representado, no eixo das abcissas, o intervalo de tempo entre as inspeções (cerca de 1 mês), uma vez que, na inspeção mais antiga disponibilizada, constam pendências (identificadas como PC, DI ou AU) e, portanto, serão representadas, graficamente, prezando por uma representação fiel à realidade. Além disso, para aquelas estruturas que podem ser subdivididas, foram avaliados os pontos de concentração das notificações recebidas e também daquelas acatadas, de forma a se obter, com maior clareza, o foco das anomalias identificadas.

As análises locais serão apresentadas individualmente para cada estrutura, seguindo a divisão presente nas fichas de inspeção do empreendimento. Essas análises serão apresentadas apenas para as estruturas do empreendimento que receberam notificações no período analisado, entendendo-se um bom estado de conservação daquelas não notificadas.

4.10. ANÁLISE LOCAL DAS INSPEÇÕES NA BARRAGEM GUARIROBA

4.10.1. Infraestrutura

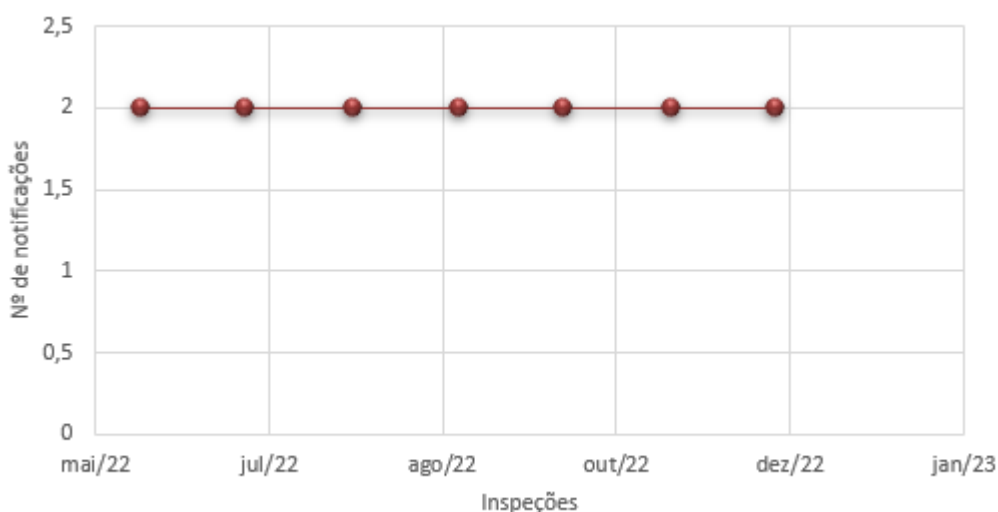
A infraestrutura não apresentou nenhuma anomalia nas sete inspeções revisadas.

4.10.2. Casa de bombas

Nas sete inspeções realizadas, a casa de bombas apresentou as mesmas anomalias, sendo estas: fissuras no concreto de sua estrutura e a presença de vegetação. A anomalia de vegetação apresentou diferenças de intensidade ao longo das inspeções (“DI” e “AU”) porém não foi sanada.

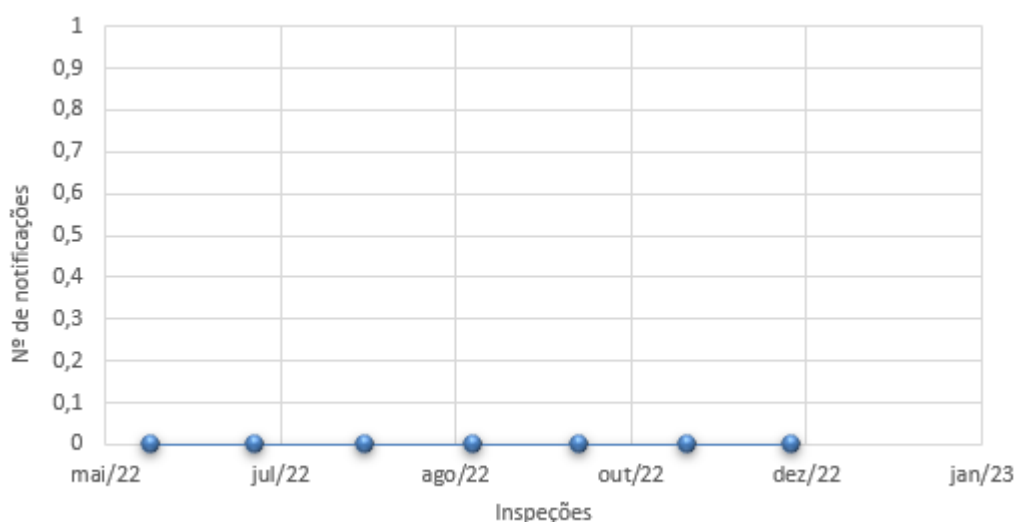
Na Figura 104 é apresentado o número de notificações recebidas e na Figura 105 as notificações acatadas para a casa de bombas ao longo dos anos.

Figura 104 - Número de notificações recebidas para a casa de bombas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 105 - Número de notificações acatadas para a casa de bombas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

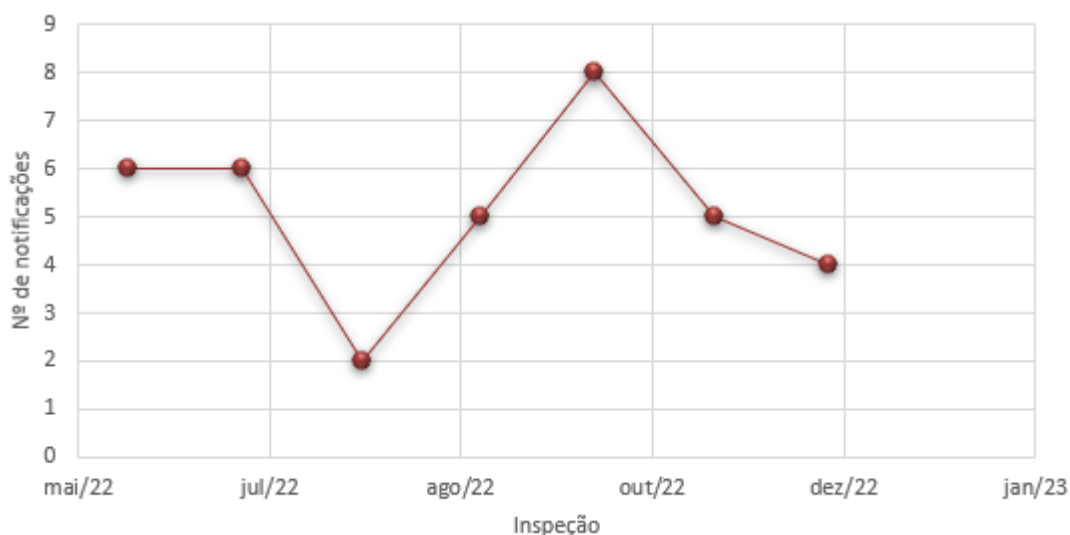
4.10.3. Barragem

A barragem, que engloba os taludes de montante, de jusante e a crista foi a estrutura com maior recorrência de anomalias do empreendimento, com cerca de 33% de todas as notificações do estudo. Das estruturas que o englobam, os taludes de jusantes (margem direita e esquerda) foram os mais notificados.

A inspeção do mês de agosto foi a que apresentou menor número de anomais reportadas (2) e o mês de outubro apresentou o maior número de anomalias reportadas (8).

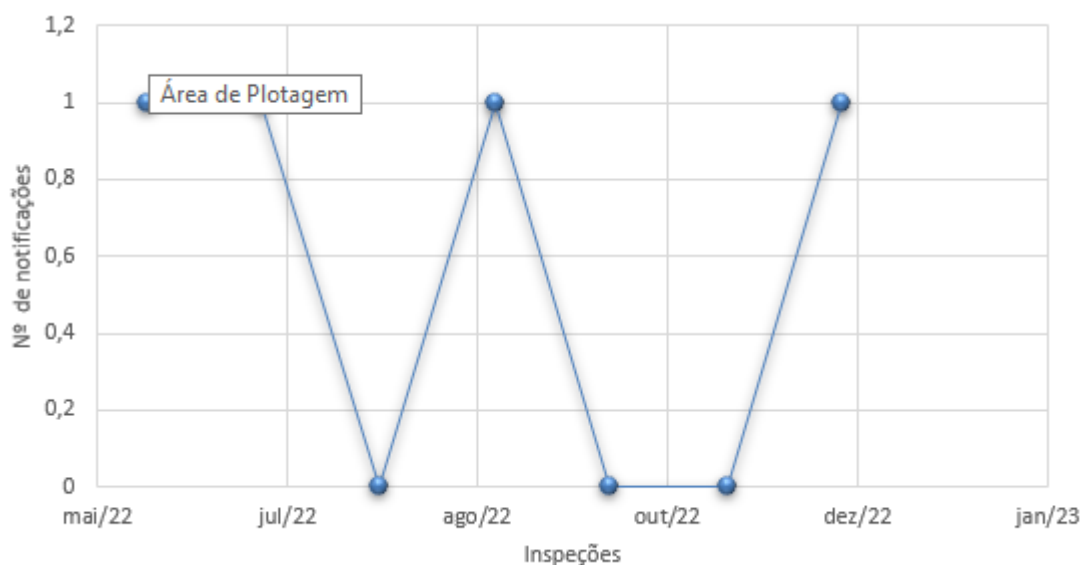
Na Figura 106 e na Figura 107 são apresentadas as notificações recebidas e acatadas ao longo dos anos para as estruturas da barragem.

Figura 106 - Número de notificações recebidas para o barramento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

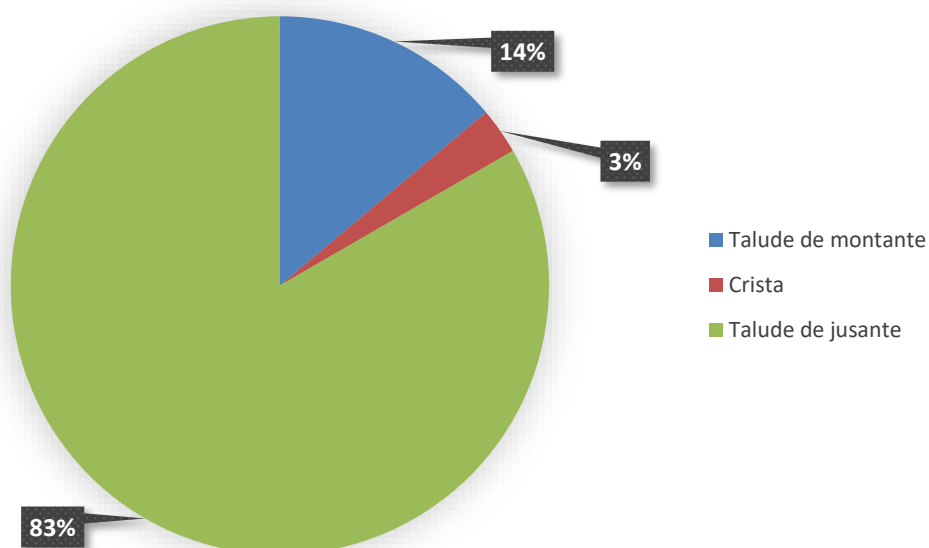
Figura 107-Número de notificações acatadas para o barramento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior porcentagem das notificações recebidas se concentrou no talude de jusante, seguido por talude de montante e crista (Figura 108).

Figura 108- Concentração das notificações recebidas nas estruturas do barramento.



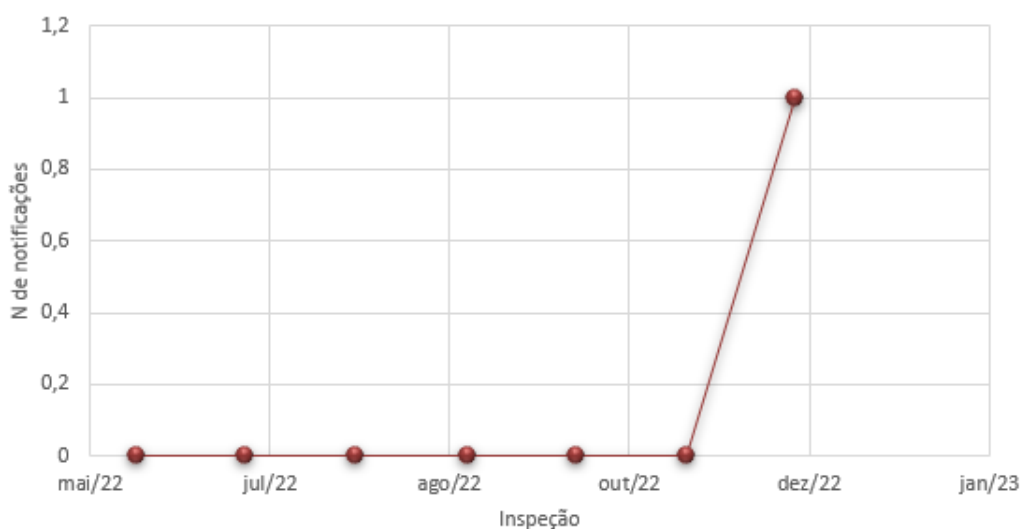
Fonte: Elaborado pelo autor.

O talude de jusante possuiu toda a concentração das soluções aplicadas para o barramento. O talude de jusante e a crista, apesar de apresentarem 17% das anomalias, não tiveram nenhuma solução aplicada.

4.10.4. Vertedouro

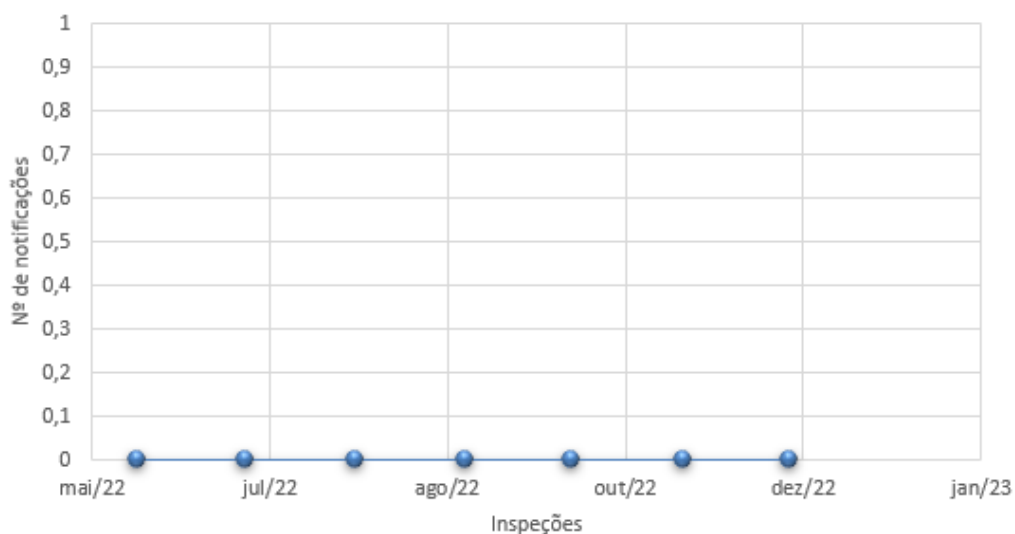
O vertedouro da estrutura não apresentou nenhuma notificação nas primeiras 6 inspeções analisada, mas, na inspeção de dezembro de 2022, verificou-se a presença de árvores e arbustos na região vertedoura. Por conta disso, não é possível se ter solução. Na Figura 109 é apresentado o número de notificações recebidas pela estrutura vertente ao longo dos anos e na Figura 110 o número de notificações acatadas nesse período.

Figura 109 - Número de notificações recebidas para a estrutura vertente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 110 - Número de notificações acatadas para a estrutura vertente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.10.5. Bacia de dissipação

Nas duas primeiras inspeções (junho e julho) a bacia de dissipação apresentou apenas uma anomalia, referente a presença de vegetação na bacia, o que pode causar sérios problemas caso suas raízes perfurem a estrutura de concreto da bacia.

A partir da inspeção do mês de agosto, em decorrência da queda das estruturas de acesso, notou-s a exposição do concreto e o acúmulo de entulhos. Como pode ser observado na Figura 111. A estrutura de barramento da bacia de dissipação possui três pontes ao longo do seu eixo as quais contém passarelas com madeiras soltas ou inexistentes.

A bacia de dissipação, apesar de funcional, possui alguns pontos de atenção, como a existência de duas surgências à jusante da barragem (Figura 112). Visualmente supõe-se que o fluxo de água provém da bacia amortecedora, em ambos os pontos; todavia, somente assim não é possível constatar se a água não está percolando por baixo do vertedouro em um caminho montante-jusante.

Mesmo com essas notificações, durante os 7 meses de estudo desse trabalho, nenhuma notificação foi acatada.

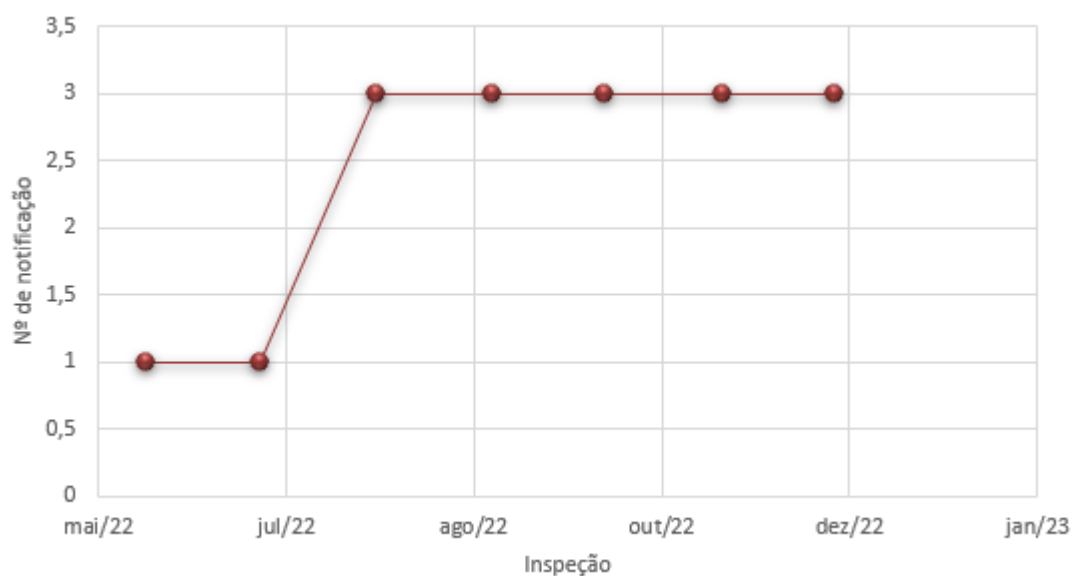
Figura 111 - Ponte quebrada e entulhos, retratada no relatório da inspeção de agosto.



Figura 112 - Pontos de surgência



Figura 113 - Número de notificações recebidas para a bacia de dissipação.

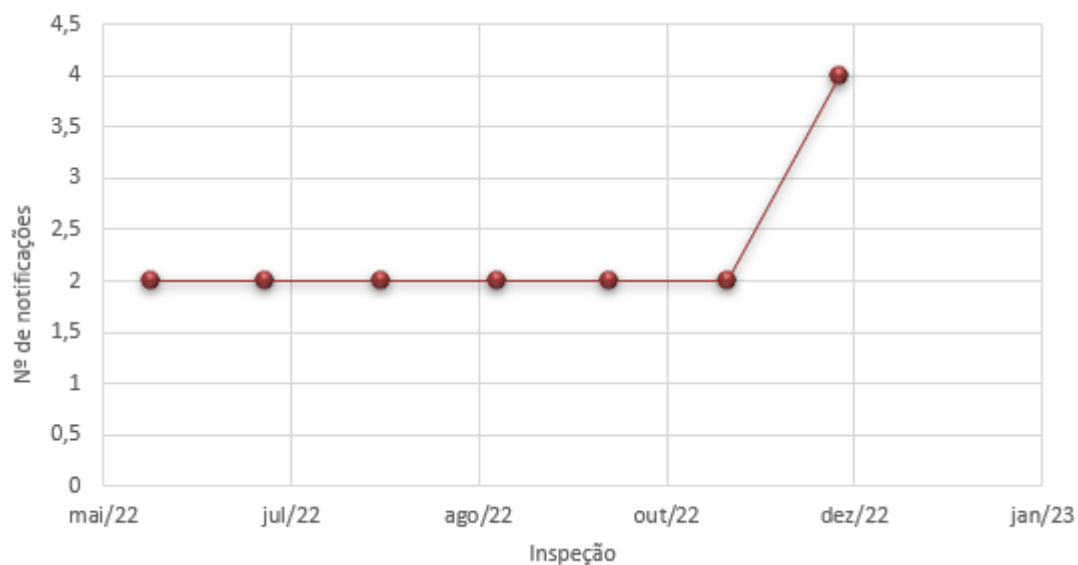


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.10.6. Tomada d'água

A tomada d'água apresentou duas notificações durante grande parte da pesquisa (de junho a novembro), porém no mês de dezembro foram evidenciadas mais duas anomalias, causando um pico no gráfico da Figura 114. Nenhuma das notificações registradas foram acatadas.

Figura 114 - Número de notificações recebidas para a tomada d'água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

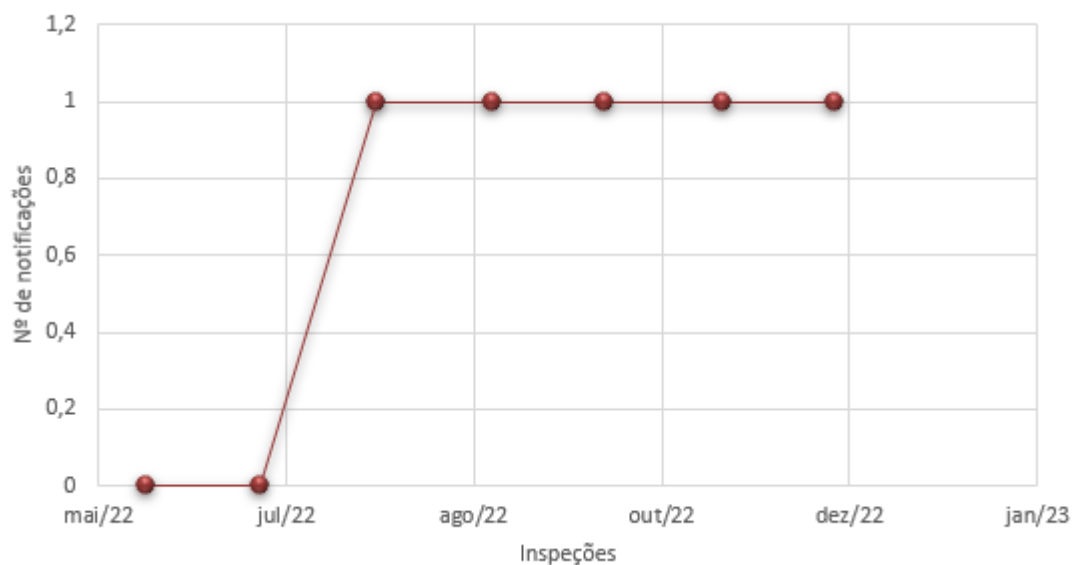
4.10.7. Reservatório

O reservatório apresentou apenas uma notificação no mês de junho, a falta de régua para aferição do nível do mesmo. Tal notificação foi acatada e solucionada no mês de junho.

4.10.8. Região a jusante

Nas inspeções de junho e julho, a região a jusante não apresentava nenhum irregularidade. A partir da inspeção do mês de agosto foi possível notar uma erosão no pé da barragem. Porém, até o final do estudo (mês de dezembro) a anomalia não foi solucionada.

Figura 115 - Número de notificações recebidas para a região a jusante.



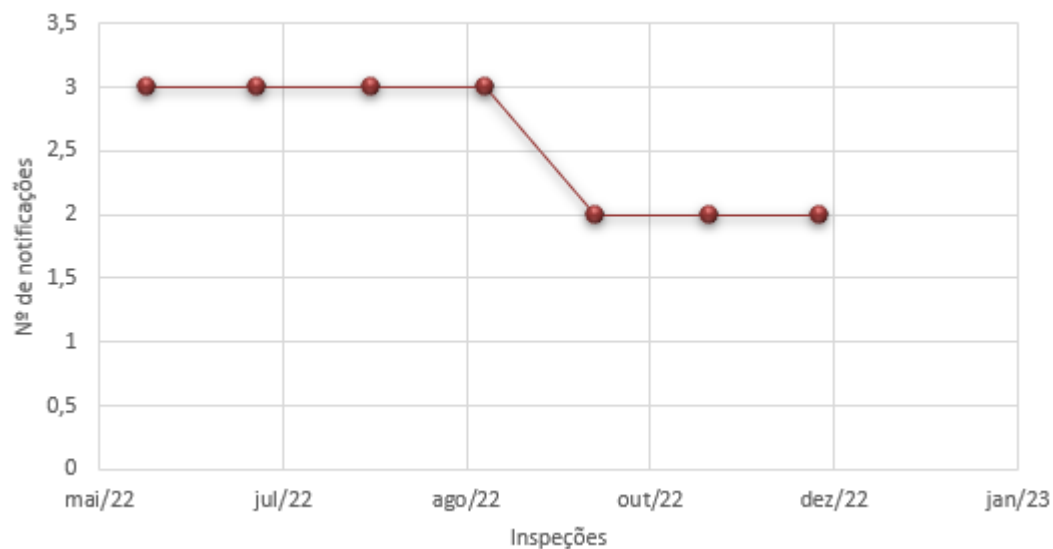
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.10.9. Instrumentação

A instrumentação, apresentou um problema na sinalização de piezômetros e medidores de nível d'água até o mês de outubro, quando foi solucionada.

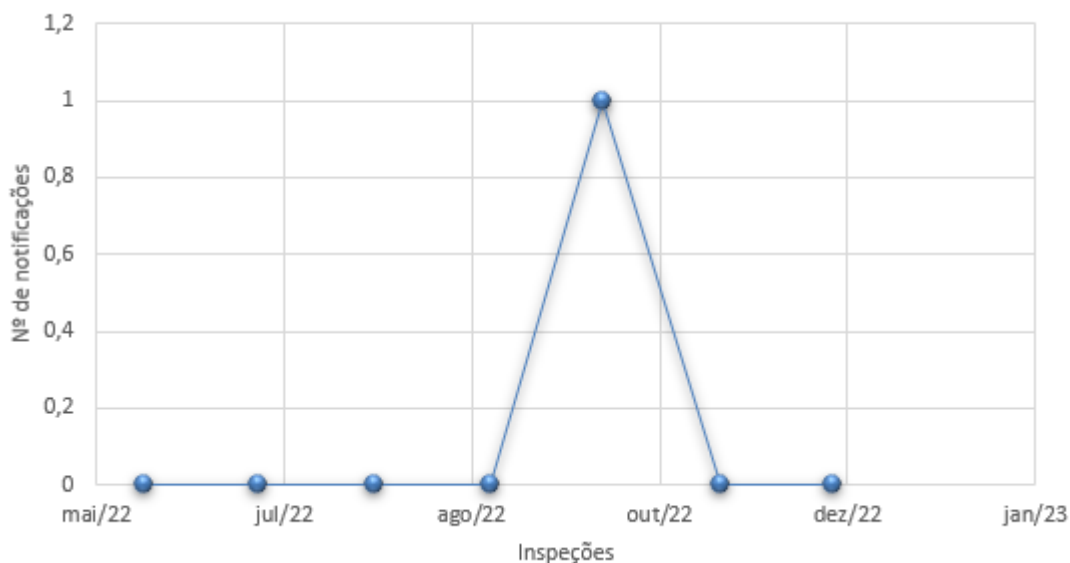
A obstrução de um medidor de vazão a jusante do pé da barragem e a falta de instrumentos pluviométricos, foram notificados durante todos os meses de estudo e não foram solucionados.

Figura 116 - Número de notificações recebidas para a instrumentação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 117 - Número de notificações acatadas para a instrumentação.

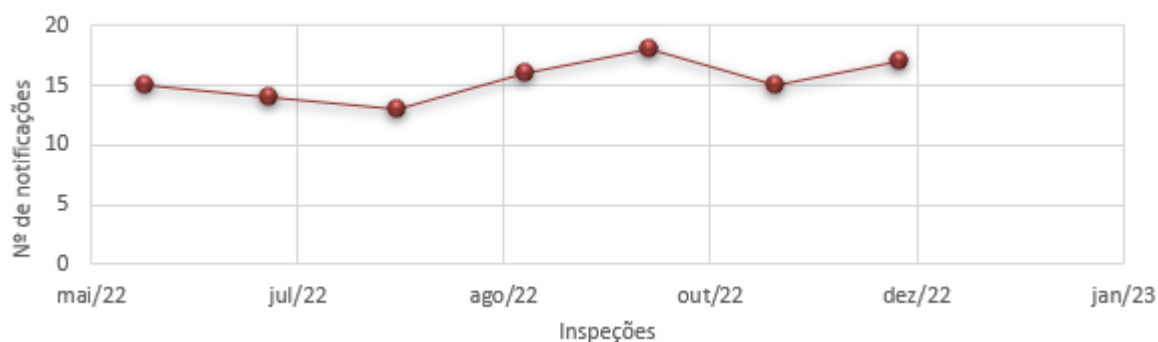


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.11. ANÁLISE GLOBAL DAS INSPEÇÕES NA BARRAGEM GUARIROBA

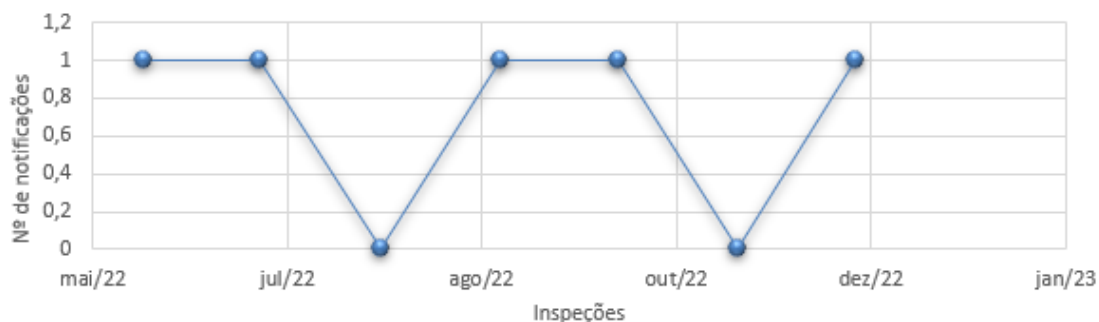
Quando analisado de modo global, verifica-se que a quantidade total de notificações recebidas ao longo das inspeções manteve-se quase constantes. Na inspeção de setembro houve um aumento no número de notificações recebidas quando comparado as demais inspeções, refletindo a queda do número de notificações acatadas, sendo indicada a intensificação no planejamento e aplicação das ações de manutenção do empreendimento. A Figura 118 e a Figura 119 apresentam, respectivamente, a quantidade de notificações recebidas e acatadas pelo empreendedor ao longo dos anos.

Figura 118 - Quantidade de notificações recebidas ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

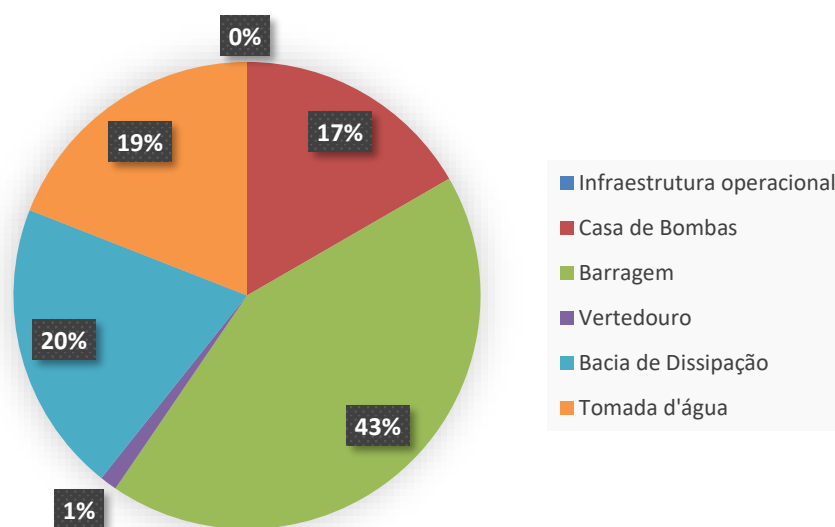
Figura 119-Quantidade de notificações acatadas ao longo dos anos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as notificações recebidas 43% está concentrada na barragem, em seguida na bacia de dissipação (20%) e na tomada d'água (19%). A menor parcela delas está localizada no vertedouro (1%) e na infraestrutura operacional (0%). Dessas pendências, as que necessitam maior atenção quanto a sua resolução, por possuírem um nível de perigo de atenção, são as formigueiros e vegetação crescente nos taludes de jusante, limpeza do medidor de vazão, surgências e pontes de acesso quebradas na bacia de dissipação e a falha na cobertura vegetal dos taludes. A Figura 120 apresenta a concentração de notificações recebidas pelo empreendimento.

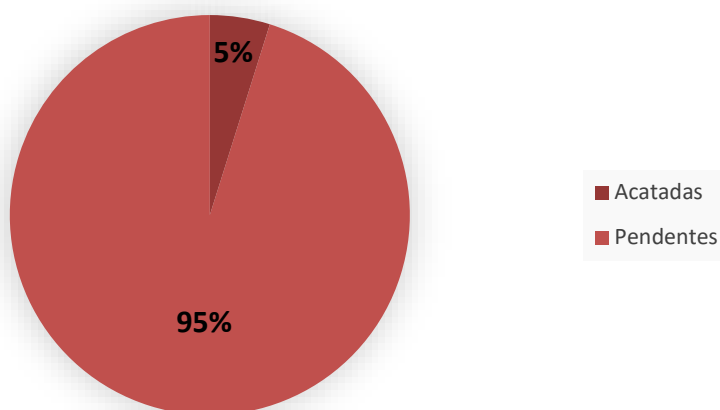
Figura 120- Concentração das notificações recebidas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do total de notificações recebidas pela Barragem Guariroba, 5% foram acatadas pelo empreendedor (Figura 121).

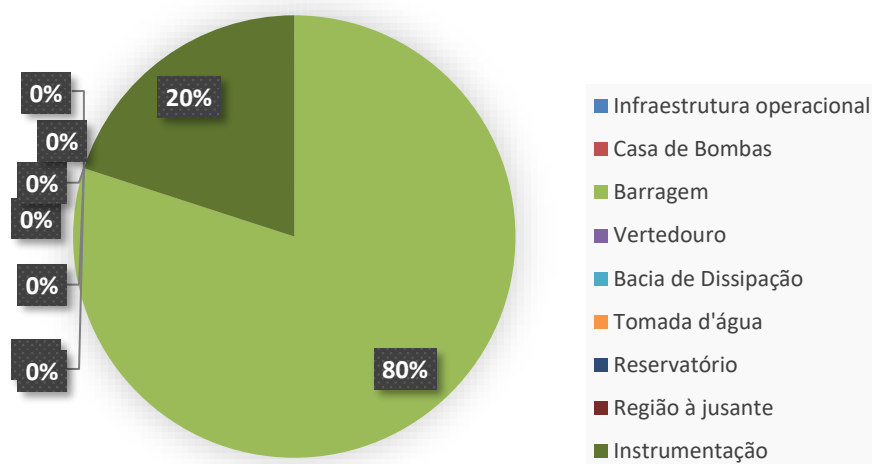
Figura 121 - Recepção das recomendações pelo empreendedor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estrutura que apresentou um maior número de notificações acatadas quanto as anomalias identificadas foi a barragem, em seguida da instrumentação. Para o restante das estruturas não foram identificadas soluções. A Figura 122 apresenta a concentração de notificações acatadas para cada estrutura da barragem.

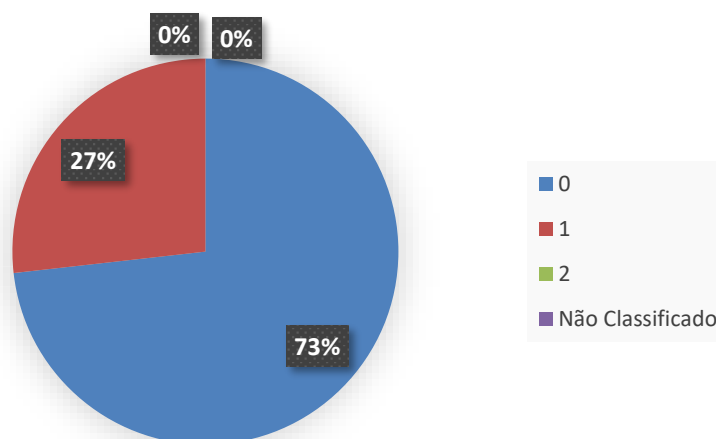
Figura 122 - Concentração das notificações acatadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No que diz respeito as notificações não acatadas, 27% delas apresentaram nível de perigo 1, de atenção (Figura 123), sendo a principal delas as surgências observadas na bacia de dissipação.

Figura 123 - Nível de perigo das notificações não acatadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança de barragens é um aspecto fundamental para todas as entidades envolvidas, como as autoridades legais e os empreendedores e todos os colaboradores envolvidos. Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições.

As inspeções de segurança entram nesse contexto como uma etapa fundamental no tratamento de riscos existentes em uma barragem. Se não feita, impossibilitam o conhecimento, com antecedência/urgência, da necessidade de recuperar barragens que apresentem anomalias/ameaças.

Portanto, a partir da análise literária abordada no estudo e o estudo de caso complementar ao objetivo do trabalho, pode-se notar a importância das inspeções e, principalmente, a avaliação do que é visto nas inspeções. Estas inspeções, associadas a análise de dados fornecidas a partir da instrumentação que está realizando o monitoramento da barragem são a maneira mais eficiente e importante de se realizar o monitoramento de barragem.

Mesmo o empreendedor não atendendo algumas das solicitações realizadas, a importância da documentação e da percepção (por parte da empresa responsável pela inspeção) do que pode gerar riscos futuros a barragem, é muito válida. Inspeções de segurança, realizadas de forma correta e profissional, contribuem e muito para a verificação da segurança do empreendimento e podem, evitar novas tragédias ocasionadas pela ruptura de barragens.

No Brasil, a segurança de barragens é uma área com muito potencial, porém ainda está em desenvolvimento, pois as leis são recentes e com os últimos acontecimentos (Mariana/MG e Brumadinho/MG) estão sofrendo alterações. Cabe aos profissionais da área, cumprirem as sanções impostas pela lei, para que possam minimizar ao máximo o risco de mais uma ruptura no país. Cabe aos órgãos fiscalizadores, a fiscalização severa do cumprimento da lei e, em caso de negligências, tomar as decisões cabíveis e pertinentes para que as leis e resoluções sejam cumpridas e respeitadas

6. CONCLUSÕES

Para atingir uma compressão do objetivo geral deste estudo, fez-se uma revisão literária descrevendo as principais características de segurança que envolvem uma barragem de terra e enrocamento, desde a legislação que rege esse tema no Brasil, até a apresentação de possíveis anomalias a se verificar nas estruturas.

Depois, em acordo com o primeiro objetivo específico apresentado, foi devidamente apresentado o relatório de inspeção do mês de junho da Barragem Guariroba. Apresentando e ilustrando todos os pontos observados na inspeção.

O segundo objetivo específico foi realizado, avaliando as inspeções realizadas do mês de junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro. A análise permitiu concluir que, das 103 notificações recebidas durante o período de estudo, apenas 5 foram atendidas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Ricardo Rossato. Dimensionamento e acompanhamento executivo de uma barragem de terra para irrigação: um estudo de caso. Orientador: M. Sc. Jaelson Budny. 2015. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2015.

Agência Nacional de Águas (ANA). Curso Segurança de Barragens. MÓDULO II : INSPENÇÃO E AUSCULTAÇÃO DE BARRAGENS. Unidade I. Disponível em <https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2179/11/Unidade_1-modulo2.pdf >. Acesso em janeiro de 2023.

Agência Nacional de Águas (ANA). Definições Importantes sobre Segurança de Barragens. Disponível em <https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/outros/definicoes-importantes-sobre-seguranca-de-barragem.pdf >. Acesso em dezembro de 2022.

Agência Nacional de Águas (ANA). MÓDULO I – BARRAGENS: ASPECTOS LEGAIS, TÉCNICOS E SÓCIOAMBIENTAIS. Unidade 10: Barragens de Concreto. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/326468134_BARRAGENS_DE_CONCRETO >. Acesso em janeiro de 2023.

Agência Nacional de Águas (ANA). Relatório de segurança de barragens 2011. Brasília: ANA, 2013.

Agência Nacional de Águas (ANA). Relatório de segurança de barragens 2020. Brasília: ANA, 2021.

Agência Nacional de Águas (ANA). SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS. Disponível em <https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-07-manual-de-politicas-e-praticas-de-seguranca-de-barragens-manual-para-empreendedores-guia-de-orientacao-e-formularios-para-inspecao-de-seguranca-de-barragem.pdf >. Acesso em janeiro de 2023.

Agência Nacional de Águas (ANA).Curso Segurança de Barragens. MÓDULO II: INSPENÇÃO E AUSCULTAÇÃO DE BARRAGENS. Unidade II. Disponível em < https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2179/12/Unidade_2-modulo2.pdf >. Acesso em janeiro de 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens: Guia Prático de Pequenas Barragens. Brasília, 2016. 120 p. v.8.

BRASIL. Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 set. 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília, 2002.

Bureau of Reclamation. Design of Small Dams, 1987.. Disponível em < <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf> > Acesso em janeiro de 2023.

CAMPESTRINI, Hildebrando et al. *Enciclopédia das Águas de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande, MS: IHGMS, 2014.

COLLISCHONN, Walter. Análise do Rompimento Hipotético da Barragem de Ernestina - RS. 1997. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

COSTA, W.D. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2012.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras**: Casos históricos, materiais de construção, projeto. 2ª ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2004.

FILHO, Marcos de Ávila Pimenta. Análise da erosão interna de solos em barragens com base na distribuição de vazios. Orientador: Terezinha de Jesus Espósito. 2013. 124f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: < https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9E5H5B/1/geotecniatransportes_marcosavilapimentafilho_dissertacao.pdf >. Acesso em janeiro de 2023.

INTERNATIONAL COMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). World Register – General Synthesis. Disponível em < https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp >. Acesso em dezembro de 2022.

Isabella Fernandes Cardoso, Julia Cossetti, Luisa Morgan Bernardo. ANÁLISE DE ANOMALIAS EM BARRAGENS DA BACIA DO RIO ITAÚNAS. Disponível em < <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/02/revista-esfera-tecnologia-v06-n02-artigo02.pdf> >. Acesso em janeiro de 2023.

João Francisco Alves Silveira. Deformações e Deslocamentos em Maciços de Barragem. Setembro, 1982. Disponível em < <https://www.portaldageotecnia.com.br/site2021/wp-content/uploads/2021/08/Deformacoes-e-Deslocamentos-em-Macicos-de-Barragem-Relato-do-Tema-IV.1.pdf> >. Acesso em janeiro de 2023.

MARANGON, M. Geotecnia de Fundações e Obras de Terra. Disponível em < <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/MARANGON-OT-05-Barragens-de-Terra-e-Enroncamento-2018-1.pdf> >. Acesso em dezembro de 2022.

MASSAD, F. Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia – com exercícios resolvidos. 2ª ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2010.

MEIRELLES, F. S. C. et al. Curso segurança de barragens: Módulo I – Barragens: Aspectos legais, técnicos e socioambientais. Unidade 9: Barragens de terra e enrocamento. 2020. Disponível

em<<https://capacitacao2.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2179>> Acesso em: dezembro de 2022.

MELLO, F.M.; SANDRONI, S.S.; GUIDICINI, G. Lições Aprendidas com Acidentes e Incidentes em Barragens e Obras Anexas no Brasil. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021.

MSIB, Manual de Segurança e Inspeção de Barragens - 2002 - Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2002. Disponível em < https://www.mi.gov.br/infraestrutura/hidrica/publicacoes/manual_barragens.asp >. Acesso em janeiro de 2023

PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos – com exercícios resolvidos. 3ª ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2006.

Puc-RIO. Instrumentação. Disponível em < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11080/11080_5.PDF >. Acesso em janeiro de 2023.

SANTOS, Wesley Artur Mariz. Estudo das condições gerais da barragem de Itans no município de Caicó / RN. Orientador: Marcilene Vieira da Nóbrega. 2019. 58 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Campus Angicos, Angicos, 2019. Disponível em: < https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/2386/2/WesleyAMS_MONO.pdf >. Acesso em janeiro de 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS – SNISB. SNISB, © 2022. Consultar barragens. Disponível em< <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem>. > Acesso em: dezembro de 2022.

TSCHIEDEL, A. F. Apresentação da defesa de Tese de Doutorado. 2022.