



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E
GESTÃO AMBIENTAL

RENAN RIBEIRO MODESTO

**ANÁLISE DO MONITORAMENTO DE SEGURANÇA DE
BARRAGENS DE TERRA DO APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE: ESTUDO DE CASO DE
DIQUES DO COMPLEXO NO CENÁRIO DO ENCHIMENTO E
OPERAÇÃO**

TUCURUÍ - PA

2019

RENAN RIBEIRO MODESTO

**ANÁLISE DO MONITORAMENTO DE SEGURANÇA DE
BARRAGENS DE TERRA DO APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE: ESTUDO DE CASO DE
DIQUES DO COMPLEXO NO CENÁRIO DO ENCHIMENTO E
OPERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof.º Dr. Aarão Ferreira Lima Neto.

Coorientador: Prof.º Dr. Julio Augusto De Alencar Junior

TUCURUÍ - PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

M691a MODESTO, RENAN RIBEIRO
 ANÁLISE DO MONITORAMENTO DE SEGURANÇA DE
 BARRAGENS DE TERRA DO APROVEITAMENTO
 HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE; ESTUDO DE CASO DE
 DIQUES DO COMPLEXO NO CENÁRIO DO ENCHIMENTO
 E OPERAÇÃO / RENAN RIBEIRO MODESTO. — 2019.
 212 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Aarão Ferreira Lima Neto
 Coorientador(a): Prof. Dr. Julio Augusto de Alencar Junior
 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Campus
 Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará,
 Tucuruí, 2019.

 1. Diques de Terra. 2. Barragens de Terra. 3. UHE
 Belo Monte. 4. Monitoramento de Barragens. 5.
 Segurança de Barragem. I. Título.

RENAN RIBEIRO MODESTO


**ANÁLISE DO MONITORAMENTO DE SEGURANÇA DE
BARRAGENS DE TERRA DO APROVEITAMENTO
HIDRELÉTRICO DE BELO MONTE: ESTUDO DE CASO
DE DIQUES DO COMPLEXO NO CENÁRIO DO
ENCHIMENTO E OPERAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof.º Dr. Aarão Ferreira Lima Neto.
Coorientador: Prof.º Dr. Julio Augusto De Alencar Junior

Aprovada em 12 de dezembro de 2019.

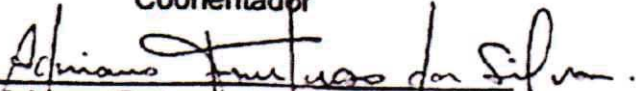
BANCA EXAMINADORA


Prof.º Dr. Aarão Ferreira Lima Neto (PEBGA/NDAE/UFGA)

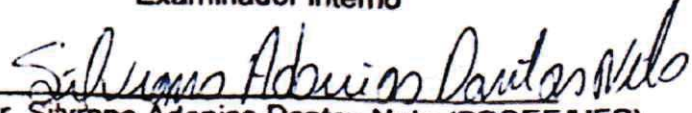
Orientador


Prof.º Dr. Julio Augusto De Alencar Junior (PEBGA/UFGA)

Coorientador


Prof.º Dr. Adriano Frutuoso da Silva (PEBGA/UFRR)

Examinador interno


Prof.º Dr. Silvrano Adonias Dantas Neto (PPGEE/UFC)

Examinadora externo

Dedico a comunidade acadêmica e a memória de todas as pessoas vítimas de acidente com barragens, em especial as envolvidas em Mariana-MG (2015) e Brumadinho-MG (2019).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder a dádiva de viver a realização de mais um sonho. A meus pais José Valnei e Rosaria por acreditar e me apoiar nessas longas jornadas. A toda minha família, especialmente ao meu irmão Renner Modesto e a Avelina Sales, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência em função da dedicação aos estudos.

Aos amigos próximos Aline Maria, André Cheguhem, Elis Silveira, Raffael Martins e Ricardo Rocha. E a meus afilhados Ana Laura Martins, Heitor Tavares e Maria Alice por todo ânimo e diversão no final dos dias exaustivos.

Aos amigos do campo profissional que por diversas formas contribuíram para a realização desta pesquisa, especialmente Bianca Alencar, Bruno Gomes, Marcelo Venâncio e Thalyta Pinheiro.

Aos amigos acadêmicos Denilson Almeida, Leonardo Moreira, Lucas Manoel, Luis Henrique Rambo, Max Roberto, por toda força no período das disciplinas, apoio nos seminários e auxílio nesta árdua caminhada.

À UFPA – Campus Universitário de Tucuruí e ao Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia pela excelência. A todos os professores do Programa Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA). Em especial a coordenadora Prof. Fernanda Gouveia e ao meu orientador Prof. Aarão Lima Neto pela orientação, por aceitar o desafio desta pesquisa, por todos os ensinamentos e acima de tudo acreditar neste trabalho. Agradecimentos sinceros ao Jedson Abrantes e Matheus Gondim, em nome da secretaria acadêmica, obrigado pela amizade, disponibilidade e profissionalismo.

À Norte Energia, na figura dos Engenheiros Humberto Nobrega, superintendente de operação e manutenção, e Marcelo Boaventura, gerente de segurança de barragens, pela transparência e fornecimento de toda documentação que foram fundamentais para a conclusão desse trabalho. E a toda equipe de segurança de barragens pelo acompanhamento e informações técnicas na fase de

coleta dos dados que resultaram na primeira pesquisa acadêmica brasileira na área de segurança de barragem utilizando o aproveitamento hidrelétrico da UHE de BELO MONTE como objeto de estudo. OBRIGADO.

“Aprender é descobrir aquilo que já se sabe.
Fazer é demonstrar que você sabe.
Ensinar é mostrar aos outros que eles sabem tanto quanto você.”
Richard Bach

RESUMO

No Brasil, a execução de barragens de terra ou diques de terra são métodos bastante comuns e utilizados principalmente para atender as demandas da mineração, irrigação ou armazenamento de água para produção de energia hidrelétrica. É de suma importância o monitoramento e análise de segurança dessas estruturas para reduzir riscos ambientais, fatores de segurança, fatores tecnológicos e observar continuamente o comportamento e desempenho frente ao projetado. A presente dissertação busca a compreensão desses procedimentos de monitoramento de segurança de barragens utilizando os diques 01-A, 01-B e 01-C do reservatório intermediário da UHE Belo Monte por meio do estudo dos diferentes processos para garantir a segurança das estruturas. O percurso metodológico adotado sucedeu por intermédio da coleta de informações técnicas referente às estruturas estudadas, análise dos projetos construtivos e verificação das metodologias adotadas que contemplam o enchimento dos reservatórios, leitura de todos os *checklists* que são inspeções de campo, além dos dados dos gráficos, resultados dos instrumentos de auscultação localizados no corpo dos barramentos no período do enchimento e operação que compreendeu os anos de 2015 a 2018. O tipo de pesquisa refere-se a um estudo de caso de natureza documental, visto que são analisados dados do monitoramento de segurança além do comportamento das estruturas. Os resultados revelam que quando comparados aos procedimentos de segurança adotados em âmbito internacional, existe uma carência dos órgãos fiscalizadores de segurança brasileiros referente a uma metodologia mais específica e clara quanto ao processo do primeiro enchimento de um reservatório, e em linhas gerais, os mecanismos de monitoramento não necessariamente se associam, uma não conformidade nas inspeções visuais não obriga o instrumental ter uma leitura fora da referência adotada como segurança. Todavia, quando diferentes não conformidades e/ou anomalias se apresentam concomitante tanto na inspeção visual, quanto no monitoramento por instrumentação essa situação requer ação corretiva em curto prazo, por ser considerado um cenário desfavorável a segurança da estrutura e pautado nessa correlação fortalece a tomadas decisões de intervenções a jusante das estruturas.

Palavras chave: Diques de Terra; Barragens de Terra; UHE Belo Monte; Monitoramento de Barragens; Segurança de Barragem.

ABSTRACT

In Brazil, an execution of earth dams or earth dams are quite common methods and used mainly to meet the demands of mining, irrigation or water storage for the production of hydroelectric energy. It is the importance or the monitoring and safety analysis of these rules to reduce environmental risks, safety factors, technological factors and observe the behavior and performance when planned. This dissertation seeks to understand dam safety monitoring procedures using items 01-A, 01-B and 01-C of the Belo Monte HPP intermediate reservoir by studying the different processes to ensure the safety of organizations. The methodological tracking adopted was carried out through the collection of technical information related to the studied structures, analysis of construction projects and verification of the methodologies adopted to contemplate the filling of reservoirs, reading of all or checklists that are field inspections, in addition to the data of the graphs, results of the auscultation instruments located in the body of the buses in the period of execution and operation that comprised the years 2015 to 2018. The type of research refers to a case study of documentary nature, since they are analyzed safety monitoring data in addition to the behavior of structures. The results reveal that, when compared to the safety procedures adopted at the international level, there is a shortage of the Brazilian safety inspection bodies, it refers to a more specific and clear methodology regarding the process of the first test of a reservoir, and in general lines , non-involved monitoring methods if associated, non-compliance in non-mandatory visual inspections or an instrumental reading outside the reference adopted as safety. However, when different non-conformities and / or anomalies present themselves both in visual inspection and in instrument monitoring, this action requires corrective action in the short term, as it is considered an unfavorable scenario in the security of the structure and associated with the strengthened correlation. to display a downstream of the structures.

Keywords: Earth dike; Earth dams; Hydroelectric of Belo Monte; Dam Monitoring; Dam safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Maiores Usinas Hidrelétricas do Brasil.....	5
Figura 2 - Arranjo Geral da UHE Belo Monte	6
Figura 3 - Seção transversal da barragem de Sadd El Kafara	9
Figura 4 - Perfil tipo de uma barragem zonada	12
Figura 5 - Barragem de terra homogênea com filtro vertical e tapete horizontal	13
Figura 6 - Barragem de terra zoneada com filtro vertical e tapete horizontal	14
Figura 7 - Barragem de terra-enrocamento (núcleo central)	14
Figura 8 - Barragem de terra-enrocamento (núcleo inclinado para montante)	14
Figura 9 - Fluxograma da hierarquia dos órgãos fiscalizadores de segurança de barragens, com destaque a ANEEL	22
Figura 10 - Efeitos do enchimento do reservatório numa barragem de enrocamento com núcleo de argila	38
Figura 11 - Piezômetros de Tubo Aberto (Tipo Casagrande) DIQUE 01-A – BELO MONTE	45
Figura 12 - Marco Superficial – DIQUE 01-A UHE – BELO MONTE.....	46
Figura 13 - Medidor de Vazão do tipo Triangular - DIQUE 01-A UHE – BELO MONTE	47
Figura 14 - Referência de Nível – DIQUE 01-A UHE – BELO MONTE	48
Figura 15 - UHE Belo Monte.....	50
Figura 16 - Localização do Empreendimento UHE Belo Monte.....	51
Figura 17 - Composição do Empreendimento UHE Belo Monte.....	52
Figura 18 - Reservatório intermediário e seus diques de contenção da UHE BELO MONTE	53
Figura 19 - Localização dos Diques 01-A, 01-B e 01-C – Sítio Belo Monte - UHE Belo Monte	58
Figura 20 - Planta E Instrumentação Do Dique 01-A.....	62
Figura 21 - Seção E Instrumentação Do Dique 01-A.....	63
Figura 22 - Planta E Instrumentação Do Dique 01-B.....	64
Figura 23 - Seção E Instrumentação Do Dique 01-B.....	65
Figura 24 - Planta E Instrumentação Do Dique 01-C	66
Figura 25 - Seção E Instrumentação Do Dique 01-C	67

Figura 26 - Resumo e caracterização dos procedimentos a serem seguidos em uma situação de emergência dos diques 01-A, 01-B e 01-C	86
Figura 27 - Reservatório Intermediário – Esquema de transposição entre bacias - UHE Belo Monte	87

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 - Sequência da construção da UHE BELO MONTE.....54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de geração do setor energético brasileiro por fonte.....	1
Tabela 2 - Descrições e funções das zonas de aterro de barragens	13
Tabela 3 - Capacidade de geração do setor energético por aproveitamento hídrico	16
Tabela 4 - Quantidade de empreendimentos em construção com a potência outorgada.....	16
Tabela 5 – Empreendimentos com construção não iniciada com a potência outorgada Empreendimentos com Construção não iniciada	17
Tabela 6 - Parâmetros analisados em barragem para a classificação da categoria de Risco	25
Tabela 7 - Quadro resumo dos itens a serem observados para classificação de barragens segundo a segurança (Barragens de acumulação de água).....	26
Tabela 8 - Determinação da periodicidade da inspeção de segurança em função do dano potencial e do risco.....	28
Tabela 9 - Conteúdo mínimo dos relatórios de inspeção	28
Tabela 10 - Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado	29
Tabela 11 - Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado com a alteração de classe em evidência quando comparada a resolução 91/2012 ANA.....	30
Tabela 12 - Matriz de classificação de barragem para aproveitamento hidrelétrico .	30
Tabela 13 - Frequências mínimas recomendadas para a leitura da instrumentação de barragens de terra-enrocamento.....	39
Tabela 14 - Características de projetos, geometria e descrições construtivas dos Diques	59
Tabela 15 - <i>Check-list</i> das condições operacionais	71
Tabela 16 - <i>Check-list</i> do talude de montante.....	72
Tabela 17 - <i>Check-list</i> da crista.....	72
Tabela 18 - <i>Check-list</i> do talude de jusante	73
Tabela 19 - <i>Check-list</i> das ombreiras	75
Tabela 20 - <i>Check-list</i> da instrumentação de auscultação.....	75
Tabela 21 - <i>Check-list</i> da faixa de jusante	76
Tabela 22 – Período dos <i>Checklists</i> das Inspeções visuais dos diques 01-A, 01-B e 01-C da UHE Belo Monte	90

Tabela 23 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade condições operacionais entre 2015 a 2018	91
Tabela 24 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade talude de montante entre 2015 a 2018	93
Tabela 25 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade crista entre 2015 a 2018	94
Tabela 26 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade talude de jusante entre 2015 a 2018	95
Tabela 27 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade ombreiras entre 2015 a 2018	97
Tabela 28 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade talude de jusante entre 2015 a 2018	98
Tabela 29 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade faixa de jusante entre 2015 a 2018	100
Tabela 30 - Valores de controle dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-A	102
Tabela 31 - Valores de controle dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-B	103
Tabela 32 - Valores de controle dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-C	104
Tabela 33 - Valores de atenção e alerta para os marcos superficiais instalados no Dique 01-A, 01-B e 01C	130
Tabela 34 - Valor de referência para os medidores de vazão.....	138
Tabela 35 – Dados dos instrumentos de referência no nível dos diques 01-A, 01-B e 01-C	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição do complexo Belo Monte por estruturas	7
Quadro 2 - Levantamento de ocorrências em barragens com aproveitamento hidrelétrico no Brasil	19
Quadro 3 - Níveis de Segurança com Respectivas Caracterizações	34
Quadro 4 - Relação das Situações de Emergência e Respektivos Níveis de Emergência e Fichas de Emergência.....	36
Quadro 5 - Causas e medidas corretivas para os erros de medição	48
Quadro 6 - Causas e evidências associadas aos modos de falha passíveis de ocorrer nos diques	68
Quadro 7 - Localização dos Piezômetros tipo Casagrande Dique 01-A.....	78
Quadro 8 - Localização dos Piezômetros tipo Casagrande Dique 01-B.....	79
Quadro 9 - Localização dos Piezômetros tipo Casagrande Dique 01-C.....	79
Quadro 10 - Localização dos Marcos Superficiais Dique 01-A.....	80
Quadro 11 - Localização dos Marcos Superficiais Dique 01-B.....	81
Quadro 12 - Localização dos Marcos Superficiais Dique 01-C.....	81
Quadro 13 - Localização do Medidor de Vazão Dique 01-A.....	82
Quadro 14 - Localização do Medidor de Vazão Dique 01-B.....	82
Quadro 15 - Localização do Medidor de Vazão Dique 01-C.....	83
Quadro 16 - Localização das Referências de Nível Dique 01-A.....	83
Quadro 17 - Localização das Referências de Nível Dique 01-B.....	83
Quadro 18 - Localização das Referências de Nível Dique 01-C.....	84
Quadro 19 - Frequências de leitura dos instrumentos dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	85
Quadro 20 - Resumo dos instrumentos de auscultação dos diques 01-A, 01-B e 01-C da UHE Belo Monte.....	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-01) do dique 01-A.....	105
Gráfico 2 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-01) do dique 01-A.....	106
Gráfico 3 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-02) do dique 01-A.....	106
Gráfico 4 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-02) do dique 01-A.....	107
Gráfico 5 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-03) do dique 01-A.....	107
Gráfico 6 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-03) do dique 01-A.....	108
Gráfico 7 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-04) do dique 01-A.....	108
Gráfico 8 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-04) do dique 01-A.....	109
Gráfico 9 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-05) do dique 01-A.....	109
Gráfico 10 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-05) do dique 01-A.....	110
Gráfico 11 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-06) do dique 01-A.....	110
Gráfico 12 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-06) do dique 01-A.....	111
Gráfico 13 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-01) do dique 01-B.....	111
Gráfico 14 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-01) do dique 01-B.....	112
Gráfico 15 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-02) do dique 01-B.....	112

Gráfico 16 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-02) do dique 01-B.....	113
Gráfico 17 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-03) do dique 01-B.....	113
Gráfico 18 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-03) do dique 01-B.....	114
Gráfico 19 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-04) do dique 01-B.....	114
Gráfico 20 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-04) do dique 01-B.....	115
Gráfico 21 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-01) do dique 01-C	115
Gráfico 22 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-01) do dique 01-C.....	116
Gráfico 23 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-02) do dique 01-C	116
Gráfico 24 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-02) do dique 01-C.....	117
Gráfico 25 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-03) do dique 01-C	117
Gráfico 26 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-03) do dique 01-C.....	118
Gráfico 27 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-04) do dique 01-C	118
Gráfico 28 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-04) do dique 01-C.....	119
Gráfico 29 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-05) do dique 01-C	119
Gráfico 30 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-05) do dique 01-C.....	120
Gráfico 31 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-06) do dique 01-C	120
Gráfico 32 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-06) do dique 01-C.....	121

Gráfico 33 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-07) do dique 01-C	121
Gráfico 34 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-07) do dique 01-C.....	122
Gráfico 35 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-08) do dique 01-C	122
Gráfico 36 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-08) do dique 01-C.....	123
Gráfico 37 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-09) do dique 01-C	123
Gráfico 38 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-09) do dique 01-C.....	124
Gráfico 39 – Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-10) do dique 01-C	124
Gráfico 40 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-10) do dique 01-C.....	125
Gráfico 41 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-11) do dique 01-C	125
Gráfico 42 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-11) do dique 01-C.....	126
Gráfico 43 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-12) do dique 01-C	126
Gráfico 44 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-12) do dique 01-C.....	127
Gráfico 45 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-13) do dique 01-C	127
Gráfico 46 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-13) do dique 01-C.....	128
Gráfico 47 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 01 (MS-D01A-01) do dique 01-A.....	131
Gráfico 48 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 02 (MS-D01A-02) do dique 01-A.....	131

Gráfico 49 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 03 (MS-D01A-03) do dique 01-A.....	132
Gráfico 50 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 04 (MS-D01A-04) do dique 01-A.....	132
Gráfico 51 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 01 (MS-D01B-01) do dique 01-B.....	133
Gráfico 52 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 02 (MS-D01B-02) do dique 01-B.....	133
Gráfico 53 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 03 (MS-D01B-03) do dique 01-B.....	133
Gráfico 54 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 04 (MS-D01B-04) do dique 01-B.....	134
Gráfico 55 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 05 (MS-D01B-05) do dique 01-B.....	134
Gráfico 56 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 01 (MS-D01C-01) do dique 01-C.....	135
Gráfico 57 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 02 (MS-D01C-02) do dique 01-C.....	135
Gráfico 58 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 03 (MS-D01C-03) do dique 01-C.....	135
Gráfico 59 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 04 (MS-D01C-04) do dique 01-C.....	136
Gráfico 60 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 05 (MS-D01C-05) do dique 01-C.....	136
Gráfico 61 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 06 (MS-D01C-06) do dique 01-C.....	136
Gráfico 62 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 07 (MS-D01C-07) do dique 01-C.....	137
Gráfico 63 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 08 (MS-D01C-08) do dique 01-C.....	137
Gráfico 64 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01A-01) do dique 01-A.....	139
Gráfico 65 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01B-01) do dique 01-B.....	139

Gráfico 66 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01C-01) do dique 01-C	140
Gráfico 67 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01C-02) do dique 01-C	140
Gráfico 68 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01C-03) do dique 01-C	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações da Geração
CBDB	Comitê Brasileiro de Grandes Barragens
CCBM	Consórcio Construtor Belo Monte
CGHs	Centrais Geradoras de Hidrelétricas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CNSB	Conselho Nacional de Segurança de Barragens
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DP	Dano Potencial
DPA	Dano Potencial Associado
EPBM	Engenharia do Proprietário Belo Monte
ICOLD	International Commission On Large Dams
NOS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAE	Plano de Ação Emergencial
PAEBM	Plano de Ação de Emergência das Barragens de Mineração
PBC	Projeto Básico Consolidado
PCHs	Pequenas Centras Hidrelétricas
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança de Barragens
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
UHE	Usina Hidrelétrica
UHEs	Usinas Hidrelétricas
ZAS	Zona de Autosalvamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo Geral	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2 Justificativa	4
1.3 Limitações da pesquisa	6
1.4 Estrutura do trabalho	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Barragens: tópicos gerais	9
2.1.1 Tipos de barragens	10
2.1.2 Barragens de terra	11
2.1.3 Barragens para aproveitamento hidrelétrico.....	15
2.2 Segurança de Barragens	17
2.2.1 Histórico de acidentes com barragem no Brasil	18
2.2.2 Legislação e Normas vigentes	20
2.2.3 Detecção, Avaliação e Classificação das situações de emergência	33
2.2.4 Cenário crítico de transição no enchimento do reservatório.....	38
2.3 Procedimentos de monitoramento de segurança	40
2.3.1 Auscultação de barragem.....	41
2.3.1.1 <i>Inspeções Visuais</i>	42
2.3.1.2 <i>Monitoramento por instrumentação</i>	43
2.3.1.3 <i>Princípios e instrumentos para a medição de poropressões</i>	44
2.3.1.4 <i>Princípios e Instrumentos Para a Medição De Deslocamentos</i>	45
2.3.1.5 <i>Princípios e Instrumentos Para a Medição De Vazões</i>	46
2.3.1.6 <i>Princípios e instrumentos para a medição do nível d'água</i>	47
2.3.1.7 <i>Erros De Leitura Em Instrumentos de Auscultação</i>	48
3.1 Caracterização do Complexo Belo Monte	50
3.3 Diques 01-A, 01-B e 01-C Sítio Belo Monte	58
3.3.1 Características dos Dique 01-A, 01-B e 01-C.....	59
3.3.2 Evidências e potenciais situações de emergência dos diques 01-A, 01-B e 01-C	68
3.3.3 Auscultação dos diques 01-A, 01-B e 01-C.....	69

3.3.3.1 Auscultação dos diques – Por inspeção visual.....	70
3.3.3.2 Auscultação do diques 01-A, 01-B e 01-C – Por instrumentação.....	77
3.3.3.3 Frequências de Leitura dos instrumentos dos Dique 01-A, 01-B e 01-C.....	84
3.3.4 Gestão de Riscos dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	85
3.4 Acompanhamento do enchimento dos reservatórios.....	87
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
4.1 Auscultação dos Diques 01-A, 01-B E 01-C por Meio de Inspeções visuais	90
4.1.1 Inspeções visuais modalidade condições operacionais	91
4.1.2 Inspeções visuais modalidade talude a montante	92
4.1.3 Inspeções visuais modalidade crista	94
4.1.4 Inspeções visuais modalidade talude de jusante	95
4.1.5 Inspeções visuais modalidade ombreiras.....	96
4.1.6 Inspeções visuais modalidade instrumentação de auscultação	98
4.1.7 Inspeções visuais modalidade faixa de jusante.....	99
4.2 Auscultação dos Diques 01-A, 01-B E 01-C por meio de instrumentação .	100
4.2.2 Instrumentação por marcos superficiais.....	129
4.2.3 Instrumentação por medidores triangulares de vazão.....	138
4.2.4 Instrumentação por referência de nível.....	142
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	143
5.1 Conclusões	143
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	145
REFERÊNCIAS.....	147
ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS – Diques 01-A, 01-B E 01-C – PSB/2016.....	155
ANEXO B – FICHAS DE EMERGÊNCIA – NÍVEL DE EMERGÊNCIA 1 A 4	163
ANEXO C – EVOLUÇÃO DO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO – RESUMO.	177
APÊNDICE A – SEQUÊNCIA FOTOGRÁFICA DO PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO E EXECUÇÃO DA INTERVENÇÃO A JUSANTE DO DIQUE 1.....	179
APÊNDICE B – SEQUÊNCIA FOTOGRÁFICA DO PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO E EXECUÇÃO DA INTERVENÇÃO A JUSANTE DO DIQUE 1B.....	182

1 INTRODUÇÃO

A evolução demográfica brasileira é uma das variáveis que mais colabora para o crescimento da demanda por produção de energia. Em consequência disso a ampliação, o controle, o crescimento, a modernização e a segurança no setor energético também acompanham esse desenvolvimento. O aproveitamento hidrelétrico já tem base consolidada nesse cenário, e corresponde a principal fonte geradora do sistema nacional, conforme apresenta a tabela 1.

Tabela 1 - Capacidade de geração do setor energético brasileiro por fonte.

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%*
Central Geradora Hidrelétrica	693	691.131	690.133	0,43
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	50	0
Central Geradora Eólica	546	13.450.139	13.427.343	8,35
Pequena Central Hidrelétrica	427	5.178.959	5.130.531	3,19
Central Geradora Solar Fotovoltaica	2.258	1.433.573	1.426.773	0,89
Usina Hidrelétrica	218	101.892.288	97.075.157	60,37
Usina Termelétrica	2.999	42.630.823	41.059.179	25,53
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,24
Total	7.144	167.266.963	160.799.166	100

*Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

Fonte: Adaptado do BIG - Banco de Informações de Geração - ANEEL (2018)

Souza (2017) caracteriza as barragens como estruturas essenciais para a promoção de insumos básicos demandados pela população, logo, um barramento pode propiciar o atendimento da demanda agrícola, como a irrigação para fornecimento de alimentos, controle de enchentes, permite que se tenha um aproveitamento hidrelétrico em uma bacia hidrográfica, facilita a navegação fluvial, pode ser área de recreação e outros serviços em atendimento ao aumento da população. Porém, a mesma autora, apesar de descrever os benefícios socioambientais, ressalta que essas estruturas apresentam um alto risco potencial e há necessidade de que elas se enquadrem nos parâmetros de segurança, incluindo trabalhos de acompanhamento e monitoramento por meio de instrumentação de auscultação e inspeção visual.

De acordo com Medeiros (2013), o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), da *International Commission on Large Dams* (ICOLD), do Banco Mundial (*World Bank*) e Comissão Mundial de Barragens (*World Commission on Dams*), ressaltam que uma barragem avaliada e segura necessita, primeiramente, ter o desempenho estrutural aceitável, não apresentar evidências de ameaça e também, possuir riscos ambientais reduzidos. Esses parâmetros são alcançados por diversos e distintos critérios, e isso aumenta a complexidade de análise e contribui para falta de explicação para a maioria dos acidentes advindos de barragens no Brasil, além de atrasar o avanço do conhecimento na área.

O período mais crítico de um barramento é o enchimento do reservatório. Sobre isso, Divino (2010) descreve esse momento como o crucial para a comprovação dos cálculos estruturais do projetista além de ser a melhor ocasião para verificar o comportamento da estrutura, logo, é nesse tempo que começa a saturação das camadas e o surgimento de anomalias.

Quando se fala em manutenção de barragens, devemos analisar as medidas existentes. Para isso, geralmente, são duas ações aplicáveis, podendo ser caracterizadas como preventivas e corretivas. Sob esse prisma, Silveira (2015) ressalta que o monitoramento deve se modernizar junto com as técnicas de instrumentação e auscultação de barragens. Em equipamentos onde apresentaram erros recorrentes ou mal estado de conservação deve haver reinstrumentação imediata para que as tomadas de decisão das ações não sejam afetadas.

Em auscultação de barragem que é um dos procedimentos do monitoramento de segurança, há uma gama de metodologias que visam o objetivo comum: a leitura, a interpretação, a avaliação do comportamento e a caracterização de eventuais anomalias que possam pôr em risco a integridade da estrutura. Ferc (2003) afirma que a auscultação pode ser feita por inspeções visuais onde o processo se caracteriza qualitativo diante inspeções de campo, e por meio instrumental onde o alcance dos dados é através do processamento ordenado da leitura dos equipamentos locados no aterro e nas fundações do barramento.

Kuperman *et al.* (2005) destaca que os processos de auscultação devem ser elaborados em união por toda vida útil da estrutura, de maneira que forneça

ao leitor e/ou avaliador informações necessárias e que não caibam dúvidas nas etapas de projeto, de implantação, de operação ou de manutenção da barragem. Nesse sentido, Franco (2005) reforça que se cumprirem essas orientações haverá análises mais precisas, e o leitor poderá verificar se em um período isolado há riscos em desenvolvimento ou se o mesmo tem potencialidade de surgimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os procedimentos do monitoramento de segurança de barragens de terra do Complexo Hidrelétrico da UHE Belo Monte no cenário de transição entre a implantação, enchimento dos reservatórios e operação, utilizando os Diques 01-A, 01-B e 01-C, situados no reservatório intermediário no perímetro do sítio Belo Monte, como modelo.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Descrever como são realizados os procedimentos de monitoramento de segurança de barragens no complexo Belo Monte e comparar essa metodologia as recomendações internacionais de segurança de barragem;
- Levantar por meio dos registros de *check lists* as ocorrências das anomalias verificadas nos Diques 01-A, 01-B e 01-C. E descrever cada caso nas fases antes do enchimento em 2015 e operação no período de 2016 a 2018;
- Analisar através dos dados os resultados de leitura dos instrumentos de auscultação nos Diques 01-A, 01-B e 01-C entre 2015 a 2018 quando comparados aos valores de parâmetro adotados na fase de projeto;
- Relatar a existência de correlação entre as metodologias do monitoramento de segurança dos diques Dique 01-A, 01-B e 01-C.

1.2 Justificativa

No aproveitamento hidrelétrico existem diversos fatores de risco que devemos considerar, tais como: fatores ambientais, fatores de segurança, fatores tecnológicos, fatores oriundos do comportamento das estruturas, bem como o *piping*, que é um fenômeno muito comum trazido pela erosão, logo, todos ocasionarão a falha no desempenho das estruturas do barramento. Bowles *et al* (1999) relatam que, para elaboração de uma análise eficiente de risco para a segurança de barragens, deve-se começar com a identificação dos pontos críticos em potencial em um significativo intervalo de extremos como nos períodos de cheias, períodos com habitual operação ou em condições excepcionais. Nesse contexto, o período delimitado nos objetivos específicos, a UHE Belo Monte vivencia o momento de transição da implantação a operação.

O estudo de segurança de barragens aumenta o nível de conhecimento sobre os procedimentos de monitoramento e justifica os incisos VI e VII da Art. 2º do capítulo I, incisos I, II, III, IV, V e VII do Art. 3º do capítulo II, inciso I do Art. 4º do capítulo III da Lei Federal nº 12.334/2010, que é a responsável por estabelecer 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.

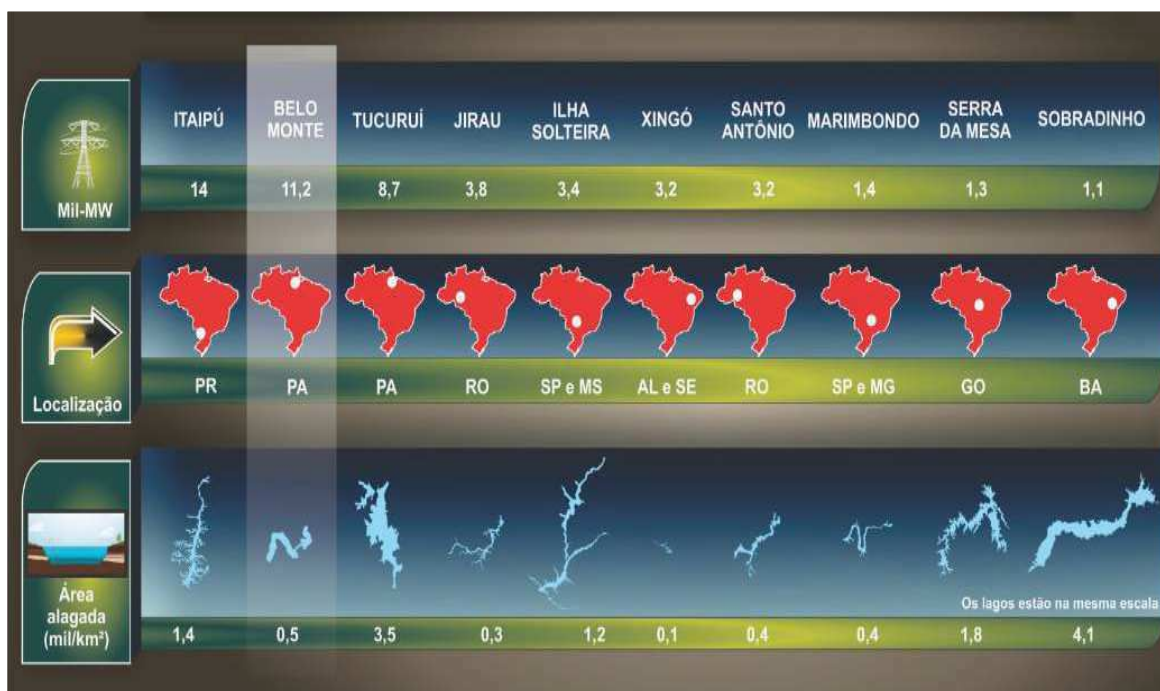
Embora o Plano de Segurança de Barragens (PSB) de 2016, com suas classificações quanto à categoria de risco e ao seu dano potencial associado para a UHE Belo Monte existir (ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS – Diques 01-A, 01-B E 01-C – PSB/2016), é importante destacar tendo em vista que o empreendimento encontra-se em fase de construção, alguns itens associados ao PSB não se apresentam disponíveis. Portanto, o estudo dos procedimentos de monitoramento de segurança é de fundamental importância para que, a partir da finalização das obras e/ou início integral da operação do complexo Belo Monte, os volumes do PSB dos Diques 01-A, 01-B E 01-C sejam revisados e atualizados.

A escolha dos Diques 01-A, 01-B E 01-C para aplicação da pesquisa e composição da presente pesquisa se justifica nos diferentes históricos do comportamento das estruturas que as mesmas tiveram diante do enchimento e

operação. Mesmo sendo estruturas executadas com o mesmo sistema construtivo, com localização próxima, os Diques 01-A e 01-B sofreram intervenções. Diferente do Dique 01-C.

Apesar de ser a segunda maior usina hidrelétrica do Brasil em termos de potência instalada, onde alcançará a totalidade de 11.233 MW no final de 2019 (Figura 1), a UHE Belo Monte, por ter pouca idade, não conta com pesquisas orientadas para o estudo dos procedimentos de monitoramento de segurança de barragens no cenário crítico entre a implantação e o início da operação, período que será estudado, e pode ser um ponto negativo na gestão de segurança e a tomada de decisão para executar intervenções quando identificadas.

Figura 1 - Maiores Usinas Hidrelétricas do Brasil

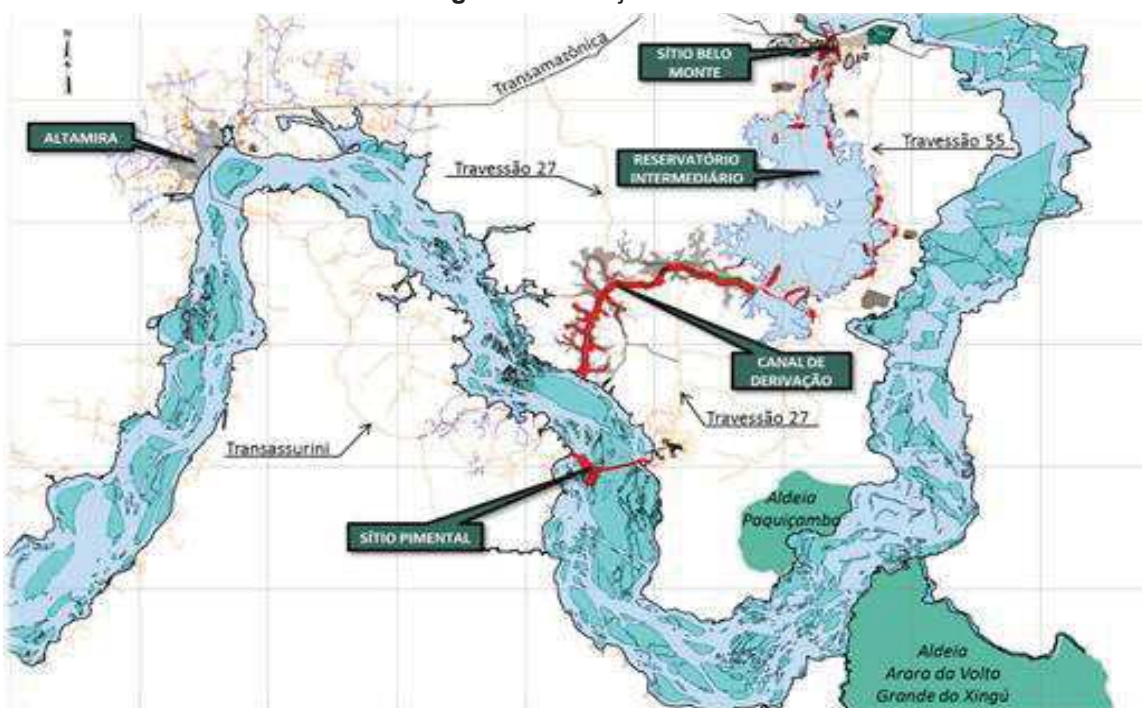


Fonte: Relatório de apresentação novos colaboradores (2018)

1.3 Limitações da pesquisa

No arranjo geral nota-se que o complexo Belo Monte é formado por sítios, sendo eles: Pimental, Belo Monte e Bela Vista. Além de haver o sistema de adução da casa de força principal, constituído pelo maior canal artificial para geração hidrelétrica do mundo, denominado de Canal de Derivação e pelo Reservatório Intermediário, um reservatório artificial conformado or 28 diques (Figura 2).

Figura 2 - Arranjo Geral da UHE Belo Monte



Fonte: Plano de ações emergenciais – PAE Dique 01-A BELO MONTE (2016)

O estudo será realizado considerando exclusivamente os Diques 01-A, 01-B e 01-C localizados no reservatório intermediário dentro do perímetro do sítio Belo Monte, ou seja, há uma limitação do cenário analisado quando comparado à quantidade de estruturas que compõe o Empreendimento (Quadro 1).

Porém, cabe ressaltar que, por se tratar de uma pesquisa que visa primordialmente analisar os procedimentos de monitoramento de segurança e o comportamento do barramento, tal limitação não impõe qualquer tipo restrição à

qualidade dos dados obtidos e não representa impactos relevantes para a análise dos resultados, considerando ainda que a maioria das estruturas que conformam o reservatório intermediário tem as mesmas características construtivas do dique em questão, sendo executados em solo compactado com seção homogênea.

Quadro 1 - Composição do complexo Belo Monte por estruturas

SÍTIO	NÚMERO	ESTRUTURA GEOTÉCNICA
Pimental	1	Barragem do Canal Direito
	2	Barragem de Ligação da Ilha da Serra
	3	Barragem Lateral Esquerda
Belo Monte	4	Barragem de Fechamento da Margem Esquerda
	5	Barragem de Fechamento da Margem Direita
	6	Barragem da Vertente de Santo Antônio
Reservatório Intermediário - Diques	7	Dique 1
	8	Dique 1A
	9	Dique 1B
	10	Dique 1C
	11	Dique 6A
	12	Dique 6B
	13	Dique 6C
	14	Dique 7B
	15	Dique 8A
	16	Dique 8B
	17	Dique 10B
	18	Dique 11
	19	Dique 12
	20	Dique 13
	21	Dique 14A
	22	Dique 14B
	23	Dique 14C
	24	Dique 14D
	25	Dique 14F
	26	Dique 14G
	27	Dique 18
	28	Dique 19B
	29	Dique 19C
	30	Dique 19D
	31	Dique 19E
	32	Dique 27
	33	Dique 28
	34	Dique 29

Fonte: Plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE GERAL (2016)

1.4 Estrutura do Trabalho

Para organização didática da discussão, a presente dissertação está dividida em cinco capítulos, incluindo esta introdução e as conclusões e sugestões para trabalhos futuros. O Capítulo 2 foi dedicada ao Referencial Teórico, onde buscou-se o levantamento bibliográfico sobre os aspectos gerais no tocante os tipos e estrutura de barragens, focando principalmente naquelas com aproveitamento hidrelétrico executadas com solo compactado com seção homogênea. Acidentes, segurança de barragens, legislação e normas vigentes. Detecção, avaliação e classificação das situações de emergência, cenário crítico de transição no enchimento do reservatório. E, por fim, os tipos de monitoramento e as metodologias empregadas.

Na parte dedicada à Metodologia da Pesquisa expõe-se as principais etapas para a preparação da pesquisa, como os métodos para a obtenção de dados do monitoramento de segurança; acompanhamento das inspeções e leitura dos dados oriundos dos instrumentos de auscultação dos diques, definição do período analisado para parametrizar o cenário de transição entre implantação, enchimento dos reservatórios e operação.

Já no capítulo 4, apresentação e análise dos resultados, apresenta os resultados alcançados sobre os procedimentos do monitoramento de segurança da UHE Belo Monte, as principais ocorrências e evoluções identificadas, parâmetros adotados na decisão de intervenções na transição do período crítico e valores de atenção e alerta.

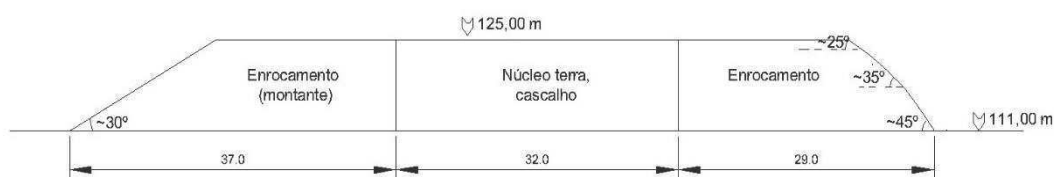
No capítulo 5 referente as conclusões e sugestões para trabalhos futuros, apresentou as conclusões gerais fundamentadas a partir dos resultados obtidos no acompanhamento dos procedimentos de monitoramento de segurança, examinando os objetivos iniciais apresentado para esta dissertação. Sugestão de tema para futuras pesquisas na área de engenharia de barragem contemplando a linha de segurança.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Barragens: tópicos gerais

A execução de estruturas de barramento é uma das técnicas mais antigas para alcançar benefícios para as civilizações. Uma das barragens mais antigas no mundo é a de Sadd El Kafara, situada no Egito (FAHLBUSCH, 2009). Com a imagem da seção transversal podemos notar que, embora tenha grande dimensão, sendo 14 m de altura, 98 m de largura e 108 m de extensão, o barramento de Sadd El Kafara apresenta similaridades com as contemporâneas barragens com núcleo central de argila (Figura 3).

Figura 3 - Seção transversal da barragem de Sadd El Kafara.



Fonte: Fahlbusch (2009)

A literatura também revela que essas estruturas, por muito tempo, foram monumentos que representavam a força e poder econômico dos povos. Porém, Peng *et al.* (2012) descreve que somente no final dos anos 40 do século XX houve a expressiva necessidade de construções de grandes barragens para o atendimento da infraestrutura, geração de energia, controle de enchentes entre outros benefícios.

Aguiar (2014) ressalta que quando falamos do histórico de barragens, grande parte dos dados podem ser estimados. Porém, muitos deles não foram documentados, e que só depois do ano 1000 a.C. as causas relacionadas a barramentos começaram a ser catalogadas. O mesmo autor revela ainda que acidentes com essas estruturas são registrados desde a construção das mesmas, portanto, acontecimentos desfavoráveis sempre estiveram presentes.

Os barramentos são estruturas vitais para desenvolvimento da sociedade, quando corretamente planejados, projetados, construídos e mantidos eles agregam expressivamente para o suprimento das necessidades por água e energia. Nesse sentido, Icold (2008) ressalta que as barragens também compensam as variações temporais que são os fenômenos do ciclo da água, logo, os reservatórios são indispensáveis para o acúmulo e fornecimento regular de água e podem ter múltiplas finalidades.

O artigo 2º, Inciso I da Lei Federal 12334/10 define barragem como sendo *qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas.*

2.1.1 Tipos de barragens

As estruturas de um barramento são classificadas em distintas classes que variam de acordo com a finalidade da classificação. O material empregado na construção da estrutura é o tipo mais comum para que possamos classificar a barragem. Quando construídos, todo barramento independente do processo executivo seu papel será armazenar e/ou controlar o fluxo da água e resíduos. Isso sem levar em consideração o modelo operacional, se para geração de energia, se para acúmulo de água, se para a disposição de rejeitos da mineração ou depósitos de resíduos industriais.

Para o CNRH (2012), a função das barragens vai muito além do controle do fluxo, portanto deve-se considerar que essas obras são dotadas de estruturas associadas que contribuem para a estabilidade, operação e manutenção, sendo elas o próprio barramento, a crista, a borda livre, os taludes a montante e a jusante, as ombreiras ou encontros, as fundações, a drenagem interna, vertedouro ou extravasor, as comportas, o canal de descarga, o dissipador de energia, a tomada d'água e casa de força. Diante disso, o interesse desta dissertação concentra-se em barragens com maciço de aterro compactado e seção homogênea.

2.1.2 Barragens de terra

Barragens de terra são um dos tipos de barramento mais construídos no Brasil. Importante ressaltar que o emprego do enrocamento na engenharia de barragens para o aproveitamento hidrelétrico tem excelente aceitação devido à facilidade de exploração dos insumos como pedras e rochas, e sua função principal de proteção do talude contra a erosão.

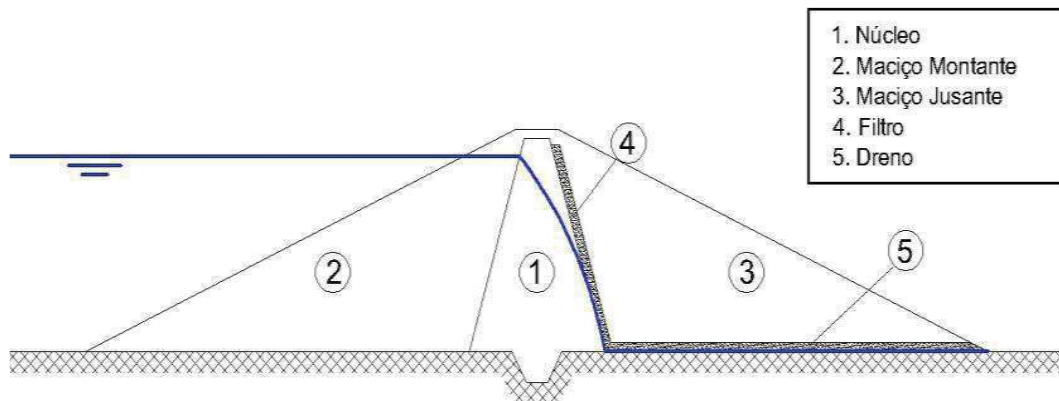
Em Kjaernsli *et al.* (1992), o ICOLD caracteriza uma barragem de enrocamento como uma estrutura de aterro em que mais de 50% do seu volume foi extraído de uma pedreira, de escavação em rocha ou de pedras naturais. Porém, naturalmente, a caracterização de barragem mudou, passando do volume do material empregado conforme dito no parágrafo anterior para definições que julgam principalmente a granulometria e as características mecânicas dos materiais utilizado.

No aproveitamento hidrelétrico os barramentos de terra são estruturas geotécnicas adotadas para armazenar grandes volumes de água a montante devido a suas propriedades mecânicas de estanqueidade e resistência. A tipologia sempre dependerá da finalidade da barragem e dos insumos disponíveis, e, através destes a barragem pode ser construída em perfil homogêneo ou em perfil zoneado. Marangon (2004) descreve que as barragens de terra homogênea são resultado da execução através do emprego de apenas um tipo de material de empréstimo. Portanto, há a necessidade de que os taludes sejam executados com materiais mais impermeáveis com o objetivo de inibir a percolação da água e que tenham inclinações suaves, para ganhar domínio sobre a estabilidade da estrutura.

Dias (2010) destaca que barragens zoneadas são constituídas por materiais com propriedades hidráulicas e mecânicas diferentes para o aproveitamento e ganho de desempenho na impermeabilização, deformação e para uma resistência adequada da estrutura. O autor comenta ainda que a compactação das camadas independente se no núcleo ou nos maciços laterais é o processo executivo mais importante, e precisa de um maior rigor para alcançar um bom comportamento na fase operacional.

Em circunstâncias onde o solo adequado não tem oferta que possa suprir a demanda, é natural a adoção de duas ou mais zonas, conforme a figura 4.

Figura 4 - Perfil tipo de uma barragem zonada



Fonte: Dias (2010)

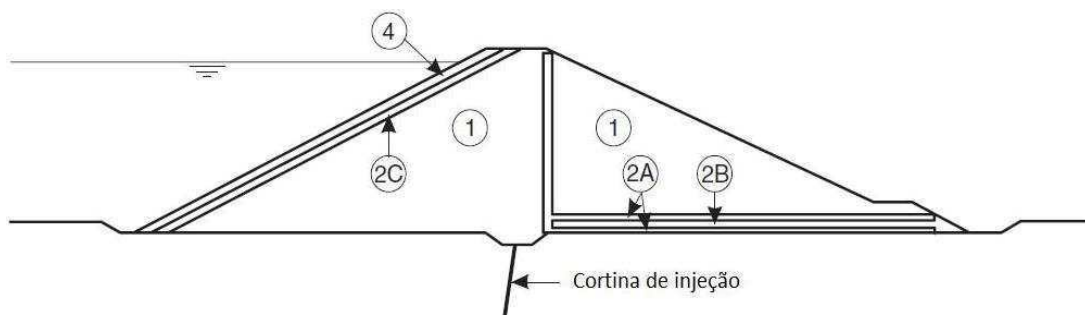
A figura 4 é a representação de um perfil transversal de uma barragem zoneada em que o núcleo central tem a finalidade de impermeabilização e os maciços combatem a instabilidade para o controle da infiltração, já que se sabe que a impermeabilização total é inalcançável. Para isso, utiliza-se os drenos horizontais acompanhados de filtros que minimizam fenômenos de erosão interna que são consequências da percolação que geram o carregamento de finos e influenciam o comportamento da estrutura.

Ainda sobre as zonas, Fell *et al.* (2005) reúnem na tabela 2 as mais usáveis e suas funções na construção de barramentos homogêneos, zoneados ou mistos para garantir o comportamento mais estático possível dessas estruturas. Em seguida o perfil transversal com exemplo de cada tipo.

Tabela 2 - Descrições e funções das zonas de aterro de barragens

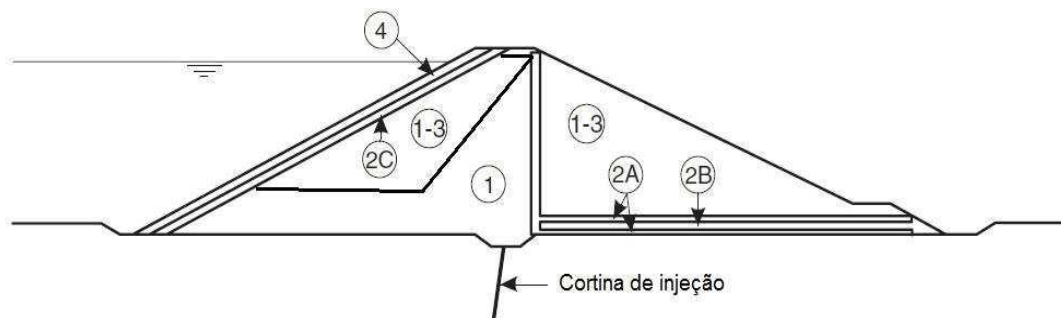
ZONA	DESCRIÇÃO	FUNÇÃO
1	Núcleo argiloso	Controle da percolação através da barragem. (a) Controle de erosão interna da zona 1, (b) Controle de erosão interna da fundação
2A	Filtro fino	barragem / drenagem (quando usado como tapete horizontal), © Controle de poropressão no talude de jusante quando utilizado como dreno vertical.
2B	Filtro grosso	(a) Descarga / drenagem das águas de percolação coletadas nos drenos vertical ou horizontal, (b) Controle de erosão interna da zona 2A para o enrocamento.
2C	(i) Filtro / Transição sob rip-rap (ii) Filtro / Transição de montante	Controle de erosão da zona 1 através do rip-rap. Controle de erosão da zona 1 para o enrocamento de montante do núcleo da barragem.
1 - 3	Solo-enrocamento	Fornece estabilidade e controle parcial de erosão interna.
3A	Enrocamento fino	Fornece estabilidade. Usualmente é livremente drenante para permitir descarga da percolação através da barragem. Previne erosão interna da zona 2B para o enrocamento grosso.
3B	Enrocamento grosso	Proporciona estabilidade. Usualmente é livremente drenante para permitir descarga da percolação através e sob a barragem.
4	Rip-rap, Enrocamento de proteção	Controle de erosão da face de montante por ações de ondas e também utilizado para controle de erosão do pé de jusante devido ao refluxo de água vertida.

Fonte: Fell *et al.*, p.2 (2005)

Figura 5 - Barragem de terra homogênea com filtro vertical e tapete horizontal

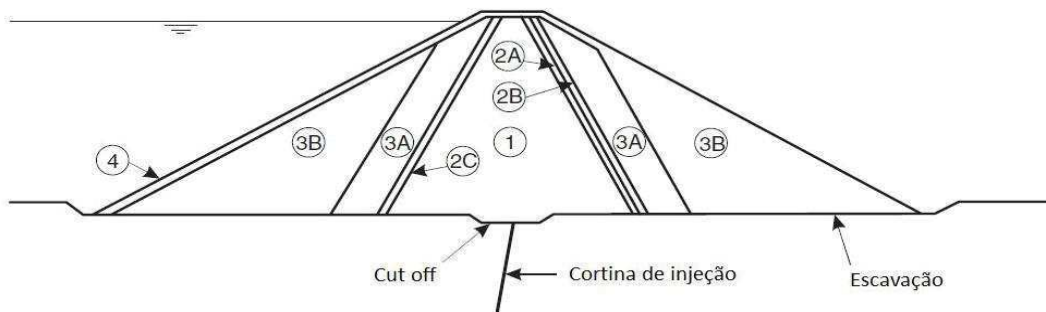
Fonte: Fell *et al.*, p. 3 (2005)

Figura 6 - Barragem de terra zoneada com filtro vertical e tapete horizontal



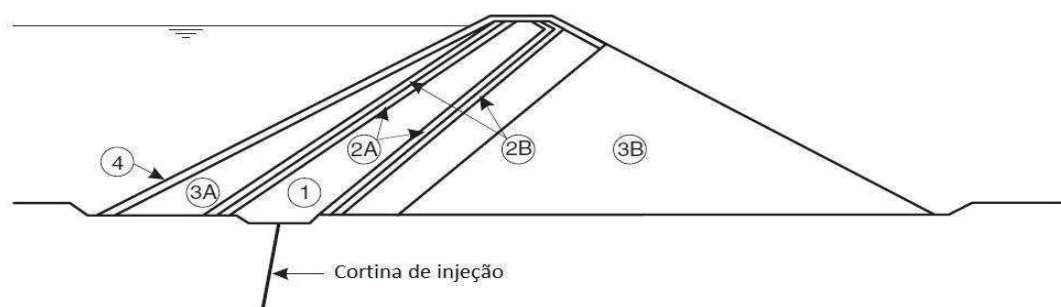
Fonte: Fell et al., p. 3 (2005)

Figura 7 - Barragem de terra-enrocamento (núcleo central)



Fonte: Fell et al., p. 3 (2005)

Figura 8 - Barragem de terra-enrocamento (núcleo inclinado para montante)



Fonte: Fell et al., p. 3 (2005)

Atualmente, como no passado, essas metodologias seguem liderando a forma mais comum de se executar um barramento de terra. Especialmente por sua execução empregar materiais naturais, geralmente disponíveis e com baixo índice de logística de transporte. Melo (2014) conclui que as condições

topográficas e de fundações para barragens de terra são mais contemplativas, o que facilita a execução quando comparado a outros tipos de barragem.

2.1.3 Barragens para aproveitamento hidrelétrico

Entende-se como barragem para aproveitamento hidrelétrico, estrutura que tem por finalidade o armazenamento de água e junto com suas estruturas associadas possam produzir energia elétrica através do potencial hidráulico existente em um leito.

De acordo com Mee (2017), no Brasil, as barragens para aproveitamento hidrelétrico estão enquadradas em três diferentes grupos:

CGH - Central Geradora Hidrelétrica - unidade geradora de energia com potencial hidráulico igual ou inferior a 1 MW (um megawatt), normalmente com barragem somente de desvio, em rio com acidente natural que impede a subida de peixes.

PCH - Pequena Central Hidrelétrica - é toda usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1MW (um megawatt) e até 30MW (trinta megawatts) e cuja área do reservatório não seja maior que 3 km² (300 ha).

UHE - Usina Hidrelétrica de Energia – é toda usina hidrelétrica cuja capacidade instalada seja superior a 30MW (trinta megawatts), que possua reservatório maior que 3 km² (300 ha) ou assim definida pela ANEEL.

Icold (2016) apresenta que o maior motivo para a construção de grandes barragens no mundo é para o atendimento da agricultura irrigada, logo em seguida para as demandas cada vez mais crescentes por energia hidrelétrica. No Brasil, segundo o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, em novembro de 2018, a maior parte dos empreendimentos que fomentam o Sistema Interligado Nacional (SIN) utilizam do potencial hídrico do país.

De acordo com a ANEEL (2018), na matriz de energia elétrica brasileira os empreendimentos em operação, em construção e os aprovados com construção não iniciada, os que aproveitam o potencial hídrico seguem dominando a matriz geradora, ainda representa aproximadamente 65,0% da potência nacional, conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Capacidade de geração do setor energético por aproveitamento hídrico.

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%*
Central Geradora Hidrelétrica	693	691.131	690.133	0,43
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	50	0
Central Geradora Eólica	546	13.450.139	13.427.343	8,35
Pequena Central Hidrelétrica	427	5.178.959	5.130.531	3,19
Central Geradora Solar Fotovoltaica	2.258	1.433.573	1.426.773	0,89
Usina Hidrelétrica	218	101.892.288	97.075.157	60,37
Usina Termelétrica	2.999	42.630.823	41.059.179	25,53
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,24
Total	7.144	167.266.963	160.799.166	100

*Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

Fonte: Adaptado do BIG - Banco de Informações de Geração - ANEEL (2018).

Para os empreendimentos em construção o destaque vai para o aproveitamento de energia eólica, conforme indicado na tabela 4. Esse tipo lidera na quantidade e potência instalada. Porém, as com aproveitamento hídrico somam 41 unidades com potência total de aproximadamente 1.650,00kw, o que representa sua importância no cenário nacional.

Tabela 4 - Quantidade de empreendimentos em construção com a potência outorgada.

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	5	4.810	0,05
Central Geradora Eólica	105	2.236.150	23,11
Pequena Central Hidrelétrica	30	367.309	3,8
Central Geradora Solar Fotovoltaica	26	714.912	7,39
Usina Hidrelétrica	6	1.259.980	13,02
Usina Termelétrica	31	3.741.034	38,67
Usina Termonuclear	1	1.350.000	13,95
Total	204	9.674.195	100

Fonte: Adaptado do BIG - Banco de Informações de Geração - ANEEL (2018).

As projeções para os próximos anos mostram novamente o aproveitamento dos recursos hídricos liderando como fonte de geração da energia brasileira. Considerando CGH, PCH e UHE teremos para 2019 uma quantidade de 116 unidades de empreendimentos que ainda não iniciaram suas obras. Entretanto,

apesar de ser maioria a potência máxima que se agrupará ao Sistema Interligado Nacional (SIN), virá das termelétricas, fontes eólicas e solar.

Tabela 5 - Empreendimentos com construção não iniciada com a potência outorgada
Empreendimentos com Construção não iniciada

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	3	8.100	0,08
Central Geradora Eólica	107	2.619.775	25,52
Pequena Central Hidrelétrica	106	1.465.719	14,28
Central Geradora Solar Fotovoltaica	53	1.479.051	14,41
Usina Hidrelétrica	7	694.180	6,76
Usina Termelétrica	113	4.000.154	38,96
Total	389	10.266.979	100

Fonte: Adaptado do BIG - Banco de Informações de Geração - ANEEL (2018).

2.2 Segurança de Barragens

De acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), o administrador particular ou público com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade é o responsável legal pela segurança da barragem. É de sua responsabilidade a elaboração de ações para assegurá-la, dentre elas a prática de inspeções de segurança e a elaboração de um Plano de Segurança de Barragens.

A segurança de barragem significa garantir e atender de forma satisfatória as exigências de comportamento necessárias, ou seja, está associado a estabilidade das estruturas que as compõe para evitar imprevistos e falhas que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais. Castro (2015) ressalta que são necessárias atividades normais e extraordinárias de inspeção e manutenção que fazem parte dos procedimentos de segurança para garantir a proteção para a sociedade e meio ambiente.

Obras geotécnicas de engenharia como barragens dependem de instrumentação que quando bem empregadas, oferecem resultados eficientes para observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que ofereçam risco potencial à segurança global do empreendimento.

Embora o arcabouço de tecnologias existente, ainda não é possível assegurar na sua integridade a segurança de uma barragem. Sampaio (2016) explica que existem diferentes variáveis que contribuem para a complexidade das fases de projeto, execução e operação de um barramento e reforça que o exercício da segurança contempla inclusive o nível de qualidade técnica construtiva e sua escolha locacional.

2.2.1 Histórico de acidentes em barragem hidrelétrica no Brasil

Conforme Santos (2017), de acordo com a história, os países que possuem o maior número de barramentos coincidentemente são os que apresentam o maior número de casos de acidentes e incidentes.

Santos 2017 registra entre os anos de 1957 a 2015 as ocorrências de maior relevância que envolveram estruturas relacionadas ao aproveitamento hidrelétrico no Brasil (Quadro 2). O quadro 2 está estruturado pelo ano do acontecimento e organizado com nome, estado, período e anomalias observadas.

Considerando que no Brasil os barramentos mais executados são os de terra, e possuem outras finalidades além do aproveitamento hidrelétrico, a quantidade de acontecimentos é ainda maior. Arcoverde (2015) chama atenção para o acontecimento que marcou negativamente a trajetória da engenharia de barragem brasileira (o rompimento da barragem de rejeito de minério de Fundão) e definiu como “sintomático” o histórico de acidentes no Brasil, já que quando comparado as estatísticas mundiais, esse tipo de evento ocorria apenas uma vez por ano. E o Brasil havia registrado acidentes com maior relevância em 2001, 2007, 2014 e no ano de 2015.

No mesmo seminário Arcoverde (2015) afirma que a barragem da Samarco, administrada pela Vale e a BHP, tinha classificação de risco baixo e sua última inspeção na estrutura foi realizada no ano de 2012, mas existia uma previsão de uma nova fiscalização no ano de 2015, o que não aconteceu devido sua classificação de risco.

Quadro 2 - Levantamento de ocorrências em barragens com aproveitamento hidrelétrico no Brasil

Barragem	UF	ANO	ANOMALIA OBSERVADA
Limoeiro	SP	1957	Galgamento durante a construção
Euclides Cunha	SP	1977	Galgamento
Limoeiro	SP	1977	Galgamento
Rio de Pedras	SP	1997	Galgamento
Santa Branca	RJ	1998	Falha durante a manutenção
Manso	MT	2002	Rachaduras durante o 1º enchimento
Manso	MT	2002	Problemas com regra operacional
Serra da Mesa	GO	2003	Liberação súbita de vazão através da abertura das comportas
Camará	PB	2004	Falha de Construção
Corumbá IV	DF	2004	Ameaça de galgamento durante o 1º enchimento
Barra Grande	RS/SC	2004	Morte de operário em conflito com reassentados
Boa Esperança	PI	2005	Morte da equipe de manutenção
Salto Caxias	PR	2005	Rachadura e vazamentos
Salto	SC	2005	Rachadura
Campos Novos	SC	2005	Infiltração em um dos túneis de desvio
Campos Novos	SC	2006	Ruptura do emboque do túnel de desvio do rio
Apertadinho	RO	2008	Ruptura por piping na região do vertedouro
Espora	GO	2008	Ruptura por piping no contato do maciço de terra e estrutura de concreto
São João I e II	MS	2008	Ruptura por cheia superior à capacidade do vertedouro
Cabixi	RO	2008	Ruptura por piping
Castro Alves	RS	2008	Galgamento
Algodões 1	PI	2009	Galgamento
Itaipu	PR	2011	Rachaduras na estrutura de uma das turbinas
Salto Osório	PR	2011	Uma das comportas acidentalmente se soltou
Pedra Furada	PE	2011	Rompimento da ombreira esquerda da barragem
Piedade	MG	2012	Rompimento de um trecho da manta de PEAD do canal de adução junto à tomada d'água
Santo Antônio do Jari	PA/AP	2014	Galgamento
Cachoeira Caldeirão	AP	2015	Rompimento controlado de ensecadeira para passagem de cheia
Inxu	MT	2015	Rompimento da manta de PEAD do canal de adução

Fonte: Adaptado de Silva; Ana (2012, 2013, 2015a, 2015b e 2016; citado em SANTOS, 2017 p. 19)

Para Oliveira (2016), o rompimento da barragem de rejeitos da Samarco em novembro de 2015 que arrasou o distrito mineiro de Bento Rodrigues é o maior desastre do gênero da história mundial nos últimos 100 anos. Quando comparado

o volume de rejeito que supera a casa dos 60 milhões de metros cúbicos (m³) o desastre de Mariana – MG, corresponde sozinho ao total de lama dos piores desastres mundiais com rejeito que aconteceu nas Filipinas respectivamente nos anos de 1982 e 1992 e volumes de 32,2 e 28 milhões de metros cúbicos.

Segundo Franco (2015) na conferência ocorrida na Federação das Indústrias do estado de Minas Gerais foi detalhado que o método construtivo conhecido como alteamento de montante adotado na barragem de terra para rejeito de Fundão é do tipo mais barato e arriscado e sua adoção há maior possibilidade de riscos imponderáveis, já que suas anomalias não são facilmente identificadas e o rompimento pode ocorrer de forma surpreendente.

Diante das falas dos especialistas, é possível observar uma mudança de paradigma na gestão de segurança de barragens, mas esse padrão deve ser amadurecido e melhorado constantemente. Santos (2017) complementa afirmando que:

[...] é imperioso além do estabelecimento de diretrizes específicas para garantir a segurança de empreendimentos que disponham de barragens através de legislação específica, também proceder à fiscalização dos mesmos para verificar se estão cumprindo integralmente o disposto em tal legislação (SANTOS, 2017, p. 20).

2.2.2 Legislação e Normas vigentes

As diretrizes de segurança de barragens evoluíram em decorrência dos grandes e graves acidentes que aconteceram em barramentos no mundo. Na literatura não há registros de leis ou documentos análogos antes do século XX. Balbi (2008) cita os acidentes de Teton em 1976 no estado de Idaho nos Estados Unidos, em Malpasset em 1959 na província de Fréjus na França e Vajont e em 1963 ao norte da cidade de Veneza na Itália como os principais para iniciar os debates sobre a segurança dessas estruturas. Esses três acidentes se destacaram principalmente pela quantidade de morte de trabalhadores e destruição completa de comunidades no vale a jusante.

No Brasil, de acordo Aguiar (2014) no ano 2002 foi criado o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens e era o documento mais importante do país para o tema de segurança de barragens, o mesmo foi criado pelo Ministério da

Integração Nacional com o embasamento de que as barragens eram parte integrante das bacias hidrográficas. Contudo, somente a partir de 2003 iniciou o trâmite junto ao governo federal do projeto de lei PL nº 1.181/03 que estabelecia diretrizes para verificação da segurança de barragens de cursos d'água para quaisquer fins e para aterros de contenção de resíduos líquidos industriais.

No ano de 2007 a Deputada Elcione Therezinha Zahluth Barbalho do partido MDB do estado do Pará protocolou em 14 de março o projeto de lei – PL 436/2007 que tornaria obrigatório a contratação de seguro contra o rompimento de barragens. Porém em 05/11/2015 a mesa diretora da Câmara dos Deputados arquivou o projeto de lei da deputada nos termos do Art. 54, c/c o § 4º do Art. 58 (inadequação financeira e orçamentária). DCD de 06/11/15 PÁG 526 COL 01.

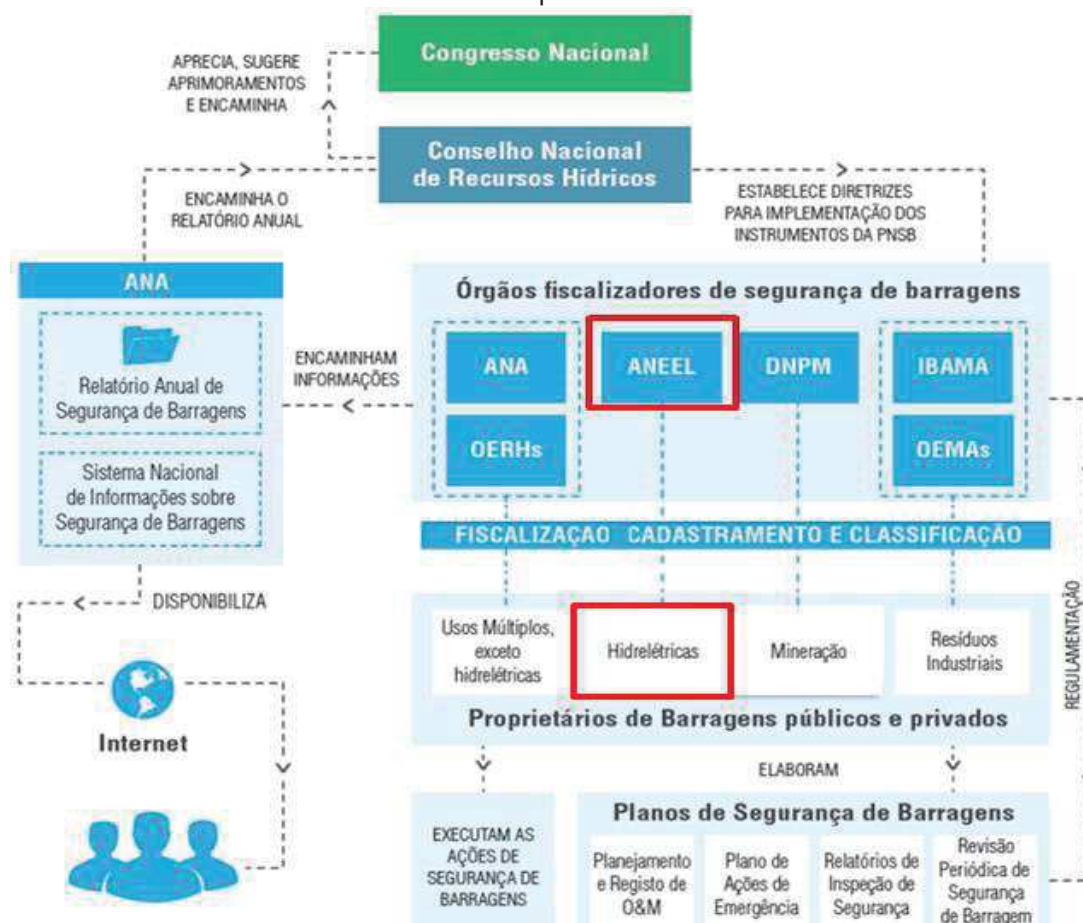
Entretanto, o PL nº 1.181/03 deu origem, em 2009, ao Projeto de Lei Complementar nº 168/09, que após sanção do Presidente se tornou a Lei Federal nº 12.334/10, em 20 de setembro de 2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações Sobre Segurança de Barragens (SNISB). As principais tratativas e regulamentações sobre o tema são citadas nas Resoluções nº 143/12 e nº 144/12 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos e nas Resoluções nº 742/2011 e nº 91/12 da Agência Nacional de Águas.

A recente portaria Normativa nº 70.389, de 17 de maio de 2017 do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, é outra ferramenta importante já que cria o cadastro nacional de barragens de mineração, o sistema integrado de gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem - PSB, das inspeções de segurança regular e especial, da revisão periódica de segurança de barragem e do plano de ação de emergência para barragens de mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

Os órgãos fiscalizadores de segurança de barragens no Brasil têm autonomia para legislar dentro de sua competência, porém, sempre obedecendo as diretrizes da PNSB. As Usinas Hidrelétricas são fiscalizadas diretamente pela

ANEEL, as informações são encaminhadas para a ANA que por sua vez emite o Relatório Anual de Segurança de Barragens, que é encaminhado para o Conselho Nacional de Recursos Hídricos e para o Congresso Nacional (Figura 9).

Figura 9 - Fluxograma da hierarquia dos órgãos fiscalizadores de segurança de barragens, com destaque a ANEEL



Fonte: Relatório de segurança de barragens (2018)

As legislações que balizam a segurança de barragem para o setor elétrico são:

- **Lei 12.334/2010** - Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens;
- **Nota Técnica nº 59 - ANEEL Agosto 2013** - Referente à Proposta de Regulamentação do Plano de Ação de Emergência (PAE) a ser aplicado pelo Setor Elétrico Brasileiro (SEB);

- **Nota Técnica nº 76 - ANEEL Outubro 2013** - Referente à Regulamentação dos Critérios para Classificação dos Empreendimentos de Energia Elétrica por Categoria de Risco e Dano Potencial Associado;
- **Nota Técnica nº 77 - ANEEL Outubro 2013** - Referente à Regulamentação do Conteúdo Mínimo do Plano de Segurança de Barragens, Características e Periodicidade dos Tipos de Inspeção, Revisão Periódica de Segurança e Obrigações do Empreendedor;
- **Resolução Normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015** - Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010;
- **Resolução nº 4, de 15 De fevereiro De 2019** - Estabelece medidas regulatórias cautelares objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido.

Segundo a Lei Federal nº 12.334/10, planos de monitoramento e avaliação são exigidos em barramentos que se enquadrem nas características determinadas no parágrafo único do artigo primeiro da referida lei, ou seja, que possuem pelo menos uma das características a seguir:

- I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - categoria de DPA, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

A mesma lei ainda define que toda barragem que se enquadre em sua classificação deverá possuir um Plano de Segurança da Barragem, o qual deve considerar no mínimo os seguintes itens:

- I - Identificação do empreendedor;
- II - Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;
- III - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
- IV - Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- V - Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- VI - Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- VII - Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;
- VIII - Relatórios das inspeções de segurança;
- IX - Revisões periódicas de segurança.

Para barragens de pequeno porte e que muitas vezes não se enquadram na política nacional de segurança de barragens existe o ampliador de classificação por Dano Potencial Associado – DPA, que considera diferentes aspectos que não altura ou volume. Se no barramento fiscalizado o DPA for médio ou alto essa estrutura entrará para os dados de empreendimentos que deverá se apresentar ao órgão fiscalizador equivalente.

A classificação de risco é descrita na Resolução nº 143/12 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos estabelece critérios gerais em atendimento ao disposto no Artigo 7º da Lei 12.334/10 que diz: *As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)* e está amarrado de uma conjunto de fatores a serem ressaltados *in loco* e junto ao administrador da estrutura. A resolução ressalta ainda que deve ser vistoriado o corpo da barragem, reservatório e gradiente que possa ser prejudicado no vale a jusante.

A nota técnica da agência nacional de energia elétrica 76, NT 76/2013 ANEEL, atende o artigo 7º da Lei 12.334/10 e regulamenta os critérios para classificação dos empreendimentos de energia elétrica por categoria de risco – CR e dano potencial associado – DPA, conforme tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros analisados em barragem para a classificação da categoria de Risco

I - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	II - ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA BARRAGEM:
a) altura do barramento;	a) confiabilidade das estruturas extravasoras;
b) comprimento do coroamento da barragem;	b) confiabilidade das estruturas de adução;
c) tipo de barragem quanto ao material de construção;	c) eclusa;
d) tipo de fundação da barragem;	d) percolação;
e) idade da barragem;	e) deformações e recalques;
f) tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro;	f) deterioração dos taludes;
g) casa de força.	g) operação e manutenção dos equipamentos eletromecânicos.
III - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM:	
a) existência de documentação de projeto;	
b) estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem;	
c) procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento;	
d) regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;	
e) relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação, devem ser considerados também os registros das leituras dos instrumentos de auscultação, caso existentes.	

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica 76 de 29 de Outubro de 2013

Pode-se certificar que a tabela dos parâmetros que são analisados em cada barragem para a classificação de acordo com a Categoria de Risco, observa aspectos da própria estrutura que podem indicar comprometimento da segurança. Já para o Dano Potencial Associado – DPA a avaliação é relacionada ao perigo que a barragem representa em caso de rompimento, logo, o foco da avaliação recai sobre o vale de jusante. Vejamos:

I - existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;

II - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;

III - existência de infraestrutura ou serviços;

IV - existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;

V - existência de áreas protegidas definidas em legislação;

VI – volume total do reservatório tomando-se como parâmetro a linha d'água em seu N.A. máximo *maximorum*;

VII – existência à jusante de outras barragens que possam sofrer com o efeito cascata, desde que estejam na projeção da onda de cheia quando de eventual rompimento.

A resolução nº 143/12 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos distingue as barragens mediante sua finalidade, podendo ser à disposição de resíduo e rejeitos e as designadas ao acúmulo de água. Portanto, para cada classificação são adotadas tabelas específicas de acordo com a finalidade do barramento. A tabela 7 apresenta os critérios para avaliação de barragens para acúmulo de água para quaisquer fins.

Tabela 7 - Quadro resumo dos itens a serem observados para classificação de barragens segundo a segurança (Barragens de acumulação de água)

Classificação	Tipo de Avaliação	Crítérios a Serem Valorados
Categoria de Risco – CR	Características Técnicas – CT	Altura, Comprimento, Tipo de Barragem quanto ao Material de Construção, Tipo de Fundação, Idade da Barragem, Tempo de Recorrência da vazão de Projeto. Confiabilidade das Estruturas Extravasoras, Confiabilidade das
	Estado de Conservação – EC	Estruturas de Adução, Percolação, Deformações e Recalques, Deterioração do Taludes/Paramentos, Eclusa.
	Plano de Segurança da Barragem – PSB	Documentação de Projeto, Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem, Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento, Regra Operacional dos Dispositivos de Descarga da Barragem, Relatórios de Inspeção de Segurança com Análise e Interpretação.
Dano Potencial Associado – DPA	Volume Total do Reservatório, Potencial de Perdas de Vidas Humanas, Impacto, Ambiental, Impacto Socioeconômico.	

Fonte: Adaptado do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 143, de 10 de Julho de 2012

Já na nota técnica da agência nacional de energia elétrica 76, NT 76/2013 ANEEL, a classificação da barragem para aproveitamento hidrelétrico é feita quanto ao volume, sendo eles:

- PEQUENO: Reservatório com volume inferior ou igual a 5 milhões de metros cúbicos;
- MÉDIO: Reservatório com volume superior a 5 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 75 milhões de metros cúbicos;
- GRANDE: Reservatório com volume superior a 75 milhões de metros cúbicos e inferior ou igual a 200 milhões de metros cúbicos;
- MUITO GRANDE: Reservatório com volume superior a 200 milhões de metros cúbicos.

A mesma nota técnica cita que para empreendimentos com mais de uma barragem ou com a existência de diques:

[...] Será necessário a classificação de categoria de risco e dano potencial associado para cada elemento existente da usina. Nesses casos, cada barragem ou dique será tratado de forma individual quanto sua classificação, seno assim, as correlatas determinações, obrigações e deveres serão de cada estrutura. (NT ANEEL 76/2013)

Em 17 de outubro de 2011 a Agência Nacional de Águas (ANA) divulgou a resolução de nº 742 que conduz de forma geral a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme Artigo 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, a presente resolução emprega os resultados da classificação de risco e dano potencial para determinar a periodicidade das inspeções. Os períodos para inspeções são instituídos em semestral, anual e bianual e são importantes para haver uma gestão adequada de risco, Tabela 8.

Tabela 8 - Determinação da periodicidade da inspeção de segurança em função do dano potencial e do risco

Periodicidade	Dano Potencial	Risco
Semestral	Alto	Independente
	Médio	Alto
	Médio	Médio
Anual	Médio	Baixo
	Baixo	Alto
	Baixo	Médio
Bianual	Baixo	Baixo

Fonte: Agência Nacional de Águas. Resolução nº 742, de 17 de Outubro de (2011).

Sobre os relatórios de inspeção de segurança regular de barragem da nota técnica nº 77/2013 ANEEL direcionada a barragens do setor elétrico exige conter no mínimo as informações contidas na tabela 9:

Tabela 9 - Conteúdo mínimo dos relatórios de inspeção

INCISO	DESCRIÇÃO
I	Identificação do representante legal do Empreendedor;
II	Identificação do responsável técnico pela segurança da barragem;
III	Avaliação das anomalias encontradas e registradas, identificando possível mau funcionamento e indícios de deterioração ou defeito de construção;
IV	Relatório fotográfico contendo, pelo menos, as anomalias classificadas como de magnitude média e grande;
V	Reclassificação, quando necessário, quanto a magnitude e nível de perigo de cada anomalia identificada na ficha de inspeção;
VI	Comparação com os resultados da Inspeção de Segurança Regular anterior;
VII	Avaliação do resultado de inspeção e revisão dos registros de instrumentação disponíveis, indicando a necessidade de manutenção, pequenos reparos ou de inspeções regulares e especiais, recomendando os serviços necessários;
VIII	Classificação do nível de perigo da barragem, de acordo com definições a seguir:
A – D	<p><i>Normal: quando não foram encontradas anomalias ou as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;</i></p> <p><i>Atenção: quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem em curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas ao longo do tempo;</i></p> <p><i>Alerta: quanto as anomalias encontradas representam risco à segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema;</i></p> <p><i>Emergência: quando as anomalias encontradas representam risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e a humanos decorrentes de uma eventual ruptura da barragem.</i></p>
IX	Ciência do representante legal do empreendedor.

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica 77 de 29 de Outubro de 2013

Em 02 de abril de 2012 a ANA divulgou a resolução de número 91 que conduz de forma geral a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do plano de segurança de barragens e da revisão periódica da segurança de barragens, conforme artigo 8º, 10 e 19 da Lei n º 12.334 de 20 de setembro de 2010. Vale lembrar que embora muito parecida com a resolução 742 por se tratar do mesmo tema, ambas têm metodologias diferentes.

Na resolução nº 91/12 a classificação do dano potencial associado e categoria de risco é concebida através do resultado da matriz tabela 10 e sua classe varia de A a E e o resultado determina a periodicidade de inspeção da estrutura analisada.

Tabela 10 - Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado

Dano Potencial Associado			
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	C	E

Fonte: Agência Nacional de Águas. Resolução nº 91, de 02 de Abril de 2012

De acordo com a tabela 10, a revisão periódica de segurança - RPS mínima varia conforme a classe obtida, sendo:

- Classe A: a cada 5 (cinco) anos;
- Classe B: a cada 5 (cinco) anos;
- Classe C: a cada 7 (sete) anos;
- Classe D: a cada 10 (dez) anos;
- Classe E: a cada 10 (dez) anos.

A nota técnica nº 77/2013 ANEEL direcionada a barragens do setor elétrico houve uma pequena mudança na classificação das barragens quanto a sua categoria de risco e dano potencial associado, alterando apenas a classe A do DPA alto CT médio para classe B, classe A do DPA alto CT baixo para classe C e classe C do DPA médio CT baixo para classe D.

Tabela 11 - Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado com a alteração de classe em evidência quando comparada a resolução 91/2012 ANA

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	C	D	E

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica. Nota Técnica 77 de 29 de Outubro de 2013

A revisão periódica de segurança - RPS de barragem da Nota Técnica 77/2013 da ANEEL se manteve fidedigna a resolução 91/2012 da ANA.

Classe A: a cada 5 (cinco) anos;
 Classe B: a cada 5 (cinco) anos;
 Classe C: a cada 7 (sete) anos;
 Classe D: a cada 10 (dez) anos;
 Classe E: a cada 10 (dez) anos.

Entretanto a última resolução normativa nº 696 da ANEEL que é responsável pela fiscalização de empreendimentos hidrelétricos, de 15 de dezembro de 2015, em vigor, que estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334/2010 classifica as estruturas entre A a C, a periodicidade de inspeção de segurança entre 6 meses a 2 anos e a revisão periódica de segurança - RPS entre 5 a 10 anos.

Tabela 12 - Matriz de classificação de barragem para aproveitamento hidrelétrico

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica.
 Resolução Normativa 696 de 15 de Dezembro de 2015

Quanto a periodicidade de inspeção, conforme RN 696 – ANEEL/2015:

Classe A: a cada 6 (seis) meses;
 Classe B: a cada 1 (ano) ano;
 Classe C: a cada 2 (dois) anos.

Quanto a revisão periódica de segurança - RPS, conforme RN 696 – ANEEL/2015:

Classe A: a cada 5 (cinco) anos;

Classe B: a cada 7 (sete) anos;

Classe C: a cada 10 (dez) anos.

As faixas de classificação da Categoria de Risco e Dano Potencial Associado – DPA são condicionadas as notas alcançadas nas tabelas de avaliação das estruturas:

Para categoria de risco – CR:

ALTO: ≥ 62 ou $EC^* \geq 8$;

MÉDIO: 35 a 62;

BAIXO: ≤ 35 .

() Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessário de providências imediatas pelo responsável da barragem.*

Para dano potencial associado – DPA:

ALTO: ≥ 16 ;

MÉDIO: $10 < DPA < 16$;

BAIXO: ≤ 10 .

O Plano de Segurança da Barragem é concebido através dos parâmetros da tabela 12 e conseqüentemente a periodicidade de acordo com a classe que é o resultado da categoria de risco e dano potencial associado da estrutura avaliada. O PSB poderá ser composto por até cinco volumes, variando o número de volumes de acordo com a classe do empreendimento: Classe A e B devem conter todos os volumes e classe C, é dispensado o volume V.

Volume I – Informações Gerais e Documentação Técnica e Legal;

Volume II – Planos e Procedimentos;

Volume III – Registros e Controles;

Volume IV – Revisão Periódica de Segurança de Barragem;

Volume V – Plano de Ação de Emergência.

De acordo com a seção III, do plano de ação de emergência, Art. 13, inciso 1º da resolução normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015. O PAE constitui peça obrigatória para barragens classificadas como A ou B segundo a tabela 12 da matriz de classificação.

Deste modo, diferentemente do Plano de Segurança de Barragem, o qual se propõe necessariamente a guiar inspeções de rotinas com o finalidade de

buscar não conformidades, o Plano de Ações Emergenciais da Barragem (PAE) consiste em uma importante ferramenta, na qual são identificados e compilados em um único documento os procedimentos e ações que devem ser implementados para mitigar riscos e responder com eficiência às situações de emergência que possam comprometer a segurança da barragem e de sua área de influência.

A Lei Federal nº 12.334 (2010) também institui em sua seção III, Art. 13 o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB, que é uma ferramenta de banco de dados digital do estado de segurança de barragens em todo o território nacional. O SNISB possui como princípios básicos a descentralização da obtenção e produção de dados e informações, coordenação unificada do sistema e o acesso a dados e informações garantido a toda a sociedade.

A Resolução nº 144 do CNRH foi criada com a finalidade de propor diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens e atuação no SNISB. O texto define que o órgão gestor responsável pelo SNISB é a Agência Nacional de Águas - ANA, cabendo a mesma as seguintes atribuições:

- I. Desenvolver plataforma informatizada para sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas;
- II. Estabelecer mecanismos e coordenar a troca de informações com os demais órgãos fiscalizadores;
- III. Definir as informações que deverão compor o SNISB em articulação com os demais órgãos fiscalizadores;
- IV. Disponibilizar o acesso a dados e informações para a sociedade por meio da Rede Mundial de Computadores.

O SNISB é um instrumento relativamente novo e os dados disponíveis encontram-se no site da ANA. O mesmo apresenta uma tabela contendo as seguintes informações das barragens (Nome do empreendedor, localização do empreendimento, órgão fiscalizador, categoria, tipo do conteúdo e o tipo da hidrelétrica), cadastradas por órgãos fiscalizadores de segurança no Brasil.

2.2.3 Detecção, Avaliação e Classificação das situações de emergência

Segundo nota técnica nº 59, de 20 de Agosto de 2013 da ANEEL cuja proposta é a regularização do Plano de Ação de Emergência (PAE) a ser aplicado pelo Setor Elétrico Brasileiro (SEB), em conformidade com os artigos 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de Setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Considera-se iniciada uma situação de emergência quando:

- Observar-se uma situação que possa comprometer a segurança da barragem a qualquer momento;
- Observar-se mau funcionamento de dispositivos de descarga que propicie inundação de área a jusante a qualquer momento;
- For constatada, a qualquer momento, anomalias que resulte na pontuação maior ou igual a 10 (dez) pontos na matriz de Estado de Conservação referente à categoria de Risco da Barragem de acumulação de água, de acordo com a resolução nº 143 de 10 de julho de 2012 do CNRH.

Os incisos I e II do art. 12 da Lei 12.334 (2010) definem que sejam contemplados no PAE os procedimentos para identificação, análise e notificação de condições de potencial ruptura da barragem. Para se estabelecer um adequado nível de comunicação entre o empreendedor, as autoridades públicas competentes e a população potencialmente afetada por ocorrências de eventos adversos com a barragem, é necessário padronizar a descrição das possíveis situações. Usualmente são adotadas cores associadas aos diversos níveis de gravidade da situação da barragem.

A nota técnica nº 59 (2013) da ANEEL complementa que o coordenador do PAE, quando detectar uma situação de emergência que possa comprometer a segurança da barragem, deve avaliá-la e classificá-la de acordo com os Níveis de Segurança e Risco de Ruptura, conforme código de cores padrão em:

NÍVEL 0 (AZUL): ALERTA DE INUNDAÇÃO POR OPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DESCARGA

NÍVEL 1 (VERDE): SITUAÇÃO POTENCIAL DE RUPTURA ESTÁ SE DESENVOLVENDO

NÍVEL 2 (AMARELO): SITUAÇÃO POTENCIAL DE RUPTURA ESTÁ PIORANDO

NÍVEL 3 (LARANJA): A RUPTURA É IMINENTE

NÍVEL 4 (VERMELHO): A RUPTURA ESTÁ OCORRENDO OU ACABOU DE OCORRER

Quadro 3 - Níveis de Segurança com Respectivas Caracterizações

NÍVEL DE EMERGÊNCIA	CARACTERIZAÇÃO
<p>NÍVEL 1 Situação Potencial de Ruptura está se Desenvolvendo</p>	<p>Caracteriza-se por uma situação adversa que possa comprometer a segurança da barragem a qualquer momento: mau funcionamento de dispositivos de descarga que propicie inundação da área a jusante; e/ou for constatada, anomalia que resulte na pontuação maior ou igual a 8 (oito) pontos na matriz de Estado de Conservação referente à Categoria de Risco para Empreendimentos de Energia Elétrica (de acordo com a Resolução 696/2015 da ANEEL).</p> <p>Entende-se que esta situação pode ser controlada internamente pelos próprios funcionários que atuam no sistema, auxiliados por seus supervisores funcionários com ou sem o auxílio do consultor / projetista.</p> <p>DEVE SER ESTABELECIDO UM ESTADO DE PRONTIDÃO NA BARRAGEM.</p> <p>As notificações devem ser internas, uma vez que a situação pode ser controlada internamente, com exceção da ANEEL que deve ser notificada. No (ANEXO B) estão disponíveis as fichas de emergência Nível de Emergência 1.</p>
<p>NÍVEL 2 Situação Potencial de Ruptura está Piorando</p>	<p>Caracteriza-se por uma situação adversa que foi identificada no Nível 1 não extinta e/ou controlada que está afetando a segurança estrutural da barragem. A situação ainda é passível de mitigação e pode ser controlada pelos próprios funcionários com ou sem o auxílio do consultor / projetista.</p> <p>DEVE SER ESTABELECIDO UM ESTADO DE ALERTA NA BARRAGEM.</p> <p>As notificações devem ser internas, uma vez que a situação pode ser controlada internamente, com exceção da ANEEL que deve ser notificada. No (ANEXO B) estão disponíveis as fichas de emergência Nível de Emergência 2.</p>
<p>NÍVEL 3 Situação de Ruptura Iminente</p>	<p>Caracteriza-se por uma situação adversa de ruptura iminente. A situação adversa afeta a estrutura de maneira severa e a ruptura é iminente. Um acidente pode acontecer a qualquer momento.</p> <p>DEVE SER ESTABELECIDO UM ESTADO DE EMERGÊNCIA NA BARRAGEM, NA ZONA DE AUTOSSALVAMENTO E EM POSSÍVEIS ÁREAS IMPACTADAS A JUSANTE.</p> <p>Há a necessidade de notificar pessoas/entidades externas ao empreendimento (população na zona de autossalvamento, Defesa Civil, ANEEL e Prefeitura) uma vez que há a iminência da ruptura. No (ANEXO B) estão disponíveis as fichas de emergência Nível de Emergência 3.</p>
<p>NÍVEL 4 Situação em que Ruptura está Ocorrendo ou Acabou de Ocorrer</p>	<p>Caracteriza-se por uma situação adversa de início de ruptura ou em que a ruptura já ocorreu. A situação adversa encontra-se fora do controle do empreendedor e está afetando a segurança estrutural da barragem de maneira severa e irreversível. Um acidente é inevitável ou a estrutura já se encontra em colapso.</p> <p>DEVE SER ESTABELECIDO UM ESTADO DE EMERGÊNCIA NA BARRAGEM, NA ZONA DE AUTOSSALVAMENTO E EM POSSÍVEIS ÁREAS IMPACTADAS A JUSANTE.</p> <p>Há a necessidade de notificar pessoas/entidades externas ao empreendimento (população na zona de autossalvamento, Defesa Civil, ANEEL e Prefeitura) uma vez que a ruptura está ocorrendo ou acabou de ocorrer.</p> <p>No (ANEXO B) estão disponíveis as fichas de emergência Nível de Emergência 4.</p>

Fonte: Plano De Ações Emergenciais (PAE) - DIQUE 01-A (2016).

Após a classificação quanto aos Níveis de Segurança e Risco de Ruptura, o coordenador do PAE deve declarar, para os níveis superiores a zero, situação de emergência e executar as ações previamente descritas no PAE para cada nível, conforme Quadro 3.

Caso o responsável pelo PAE determinar o nível laranja ou vermelho diante algum acontecimento, A nota técnica nº 59 (2013) da ANEEL orienta que o empreendedor é o responsável por alertar a população potencialmente afetada na zona de autosalvamento. E o alerta pode utilizar os dispositivos de sirenes, telemensagem e mensagem de texto ou por último rádio local ou aviso nas respectivas residências.

É importante salientar que a resolução 696 (2015) da ANEEL, fundamentada na matriz de classificação dos Empreendimentos de Energia Elétrica quanto ao seu Estado de Conservação, define as seguintes anomalias com pontuação igual ou superior a 8 (oito), que seriam indicativas do desenvolvimento de uma situação potencial de ruptura (NÍVEL 1):

- Confiabilidade das estruturas extravasoras: Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro tipo soleira livre obstruídos ou com estruturas danificadas;
- Percolação: Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente; e
- Deformações e recalque: Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança.

Silveira (2016) ressalta que falhas provocam situações de emergências em barragens de terra e enrocamento e são comuns o galgamento, erosão interna pelo maciço ou pela fundação, percolação, instabilidade global ou localizada. Mas também há situações diferente do habitual, e estas podem ser identificadas durante as inspeções e/ou durante as atividades de rotina do pessoal que atua na segurança de barragem, e ao definir se uma condição específica identificada poderá ser classificada como uma situação de risco ou de emergência.

Os principais modos de falha com potencial para geração de situações de emergência e a caracterização de cada uma dessas situações, assim como a classificação quanto aos Níveis de Emergência (NE-1, NE-2, NE-3 e NE-4), estão sinteticamente apresentados no Quadro 4, e todas são circunstanciais em barragens de terra.

Quadro 4 - Relação das Situações de Emergência e Respective Níveis de Emergência e Fichas de Emergência

Situação de Emergência	Modo de Falha	Nível de Emergência (NE)	Ficha de Emergência
BARRAGEM DE TERRA E/OU ENROCAMENTO			
Falha no sistema eletromecânico de comportas do empreendimento da UHE Belo Monte. Situação potencial de ruptura está se desenvolvendo.	GALGAMENTO	1	FICHA Nº1
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e o NA do reservatório está subindo de maneira significativa. A situação potencial de ruptura está piorando.		2	FICHA Nº5
Nível do reservatório próximo à cota da crista. O galgamento é iminente com potencial de evolução para o desenvolvimento de brecha. A ruptura é iminente.		3	FICHA Nº9
Desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura está ocorrendo ou já ocorreu.		4	FICHA Nº13
EROSÃO INTERNA PELO MACIÇO OU PELA FUNDAÇÃO - PERCOLAÇÃO NÃO CONTROLADA DE ÁGUA COM A FORMAÇÃO DE PIPING			
Surgência em taludes, áreas a jusante ou ombreiras com carreamento de material e/ou vazão crescente, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. Situação potencial de ruptura está se desenvolvendo.	EROSÃO INTERNA PELO MACIÇO OU PELA FUNDAÇÃO - PERCOLAÇÃO NÃO CONTROLADA DE ÁGUA COM A FORMAÇÃO DE PIPING	1	FICHA Nº2
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e houve aumento significativo das surgências, sem sinais de estabilização. A situação potencial de ruptura está piorando.		2	FICHA Nº6

Quadro 4 - Relação das Situações de Emergência e Respektivos Níveis de Emergência e Fichas de Emergência (continuação)

Erosão interna (piping) com potencial evolução para desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura é iminente.		3	FICHA Nº10
Desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura está ocorrendo ou já ocorreu.		4	FICHA Nº13
INSTABILIZAÇÃO GLOBAL			
Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (deformações e recalque). Situação potencial de ruptura está se desenvolvendo.		1	FICHA Nº3
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e houve aumento das trincas, abatimentos ou escorregamentos, sem sinais de estabilização. A situação potencial de ruptura está piorando.		2	FICHA Nº7
Instabilização global com potencial evolução para desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura é iminente.		3	FICHA Nº11
Desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura está ocorrendo ou já ocorreu.		4	FICHA Nº13
INSTABILIZAÇÃO LOCALIZADA			
Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (deterioração dos taludes/paramentos). Situação potencial de ruptura está se desenvolvendo.		1	FICHA Nº4
As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e houve aumento das depressões e erosões, sem sinais de estabilização. A situação potencial de ruptura está piorando.		2	FICHA Nº8
Instabilização localizada com potencial evolução para desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura é iminente.		3	FICHA Nº12
Desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura está ocorrendo ou já ocorreu.		4	FICHA Nº13

Fonte: Plano De Ações Emergenciais (PAE) - DIQUE 01-A (2016)

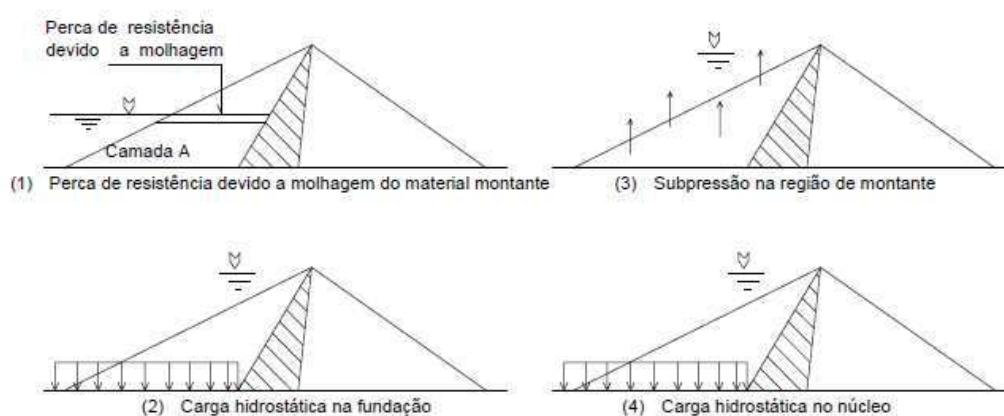
As fichas de emergências descritas na quarta coluna do quadro 4, podem ser verificadas no anexo B da presente dissertação.

2.2.4 Cenário crítico de transição no enchimento do reservatório

A performance dos mecanismos de deformação no tempo no contexto desta pesquisa está relacionada essencialmente ao comportamento das estruturas diante do período transição da fase de implantação e o início da operação, e conseqüentemente o enchimento do reservatório para um aproveitamento hidrelétrico. Quando se fala dos procedimentos de monitoramento é imprescindível, antes de abordar os mecanismos de deformação deste período crítico, conhecer o que é gerado pelo enchimento do reservatório.

Com o primeiro enchimento do reservatório o barramento passa a receber ações anteriormente apenas projetadas. Apesar de a presente pesquisa ter como foco de estudo os Diques 01-A, 01-B e 01-C, é válido citar Justo (1991) que exemplifica na figura 10 a seção transversal de uma barragem de enrocamento com núcleo de argila a seqüência de passos dos efeitos que a estrutura sofre pelo fenômeno da saturação, carga e subpressão.

Figura 10 - Efeitos do enchimento do reservatório numa barragem de enrocamento com núcleo de argila



Fonte: Justo (1991)

De acordo com Silveira (2006) são adotadas algumas técnicas para o monitoramento do enchimento do reservatório, dentre elas se destacam:

- A comparação das subpressões medidas com os de projetos para avaliar o acerto das hipóteses de projeto, confirmar os reais fatores

de segurança e, eventualmente, verificar a necessidade de medidas corretivas;

- Análise dos gradientes hidráulicos montante-jusante para monitorar a percolação na estrutura;
- Estudo das condições de fluxo na região das ombreiras considerando que é muito frequente a ocorrência de surgências d'água junto ao pé de jusante das barragens de terra após a fase de enchimento do reservatório.

O mesmo autor ressalta em seu livro de instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento (2006), que somente após cinco anos quando as fundações da barragem alcançarem de forma geral estabilidade nas leituras dos instrumentos de auscultação, o período crítico do enchimento terá sido vencido, o que poderá também dilatar os intervalos de leitura.

A tabela 13 apresenta a frequência recomendada para leitura de instrumentos de auscultação para barragens de terra e enrocamento nos períodos construtivos, de enchimento do reservatório, período inicial de operação e operação baseadas em condições normais, ou seja, que demandam cerca de dois a seis meses para se completar.

Tabela 13 - Frequências mínimas recomendadas para a leitura da instrumentação de barragens de terra-enrocamento

Tipo de instrumento	Período construtivo	Enchimento do reservatório	Período inicial de operação (*)	Período de Operação
Marco Superficial	Semanal	Semanal	Mensal	Semestral
Medidor de Recalque	2 Semanais	2 Semanais	Semanal	Mensal
Inclinômetro	2 Semanais	2 Semanais	Semanal	Mensal
Extensômetro para Solo	2 Semanais	2 Semanais	Semanal	Mensal
Célula de Pressão Total	2 Semanais	2 Semanais	Semanal	Mensal
Piezômetro de Fundação	Semanal	3 Semanais	2 Semanais	Semanal
Célula Piezométrica no Aterro	2 Semanais	3 Semanais	2 Semanais	Semanal

Tabela 13 - Frequências mínimas recomendadas para a leitura da instrumentação de barragens de terra-enrocamento (continuação)

Medidor de N.A no Filtro	--	3 Semanais	2 Semanais	Semanal
Medidor de Vazão	--	Diária	3 Semanais	Semanal
Medidor de Turbidez	--	Diária	3 Semanais	Semanal

1) Durante o período de instalação, são recomendadas leituras antes e durante as várias fases de instalação para acompanhar o desempenho dos instrumentos e detectar eventuais problemas.

2) Dependendo das frequências de leitura, a passagem de um período para o outro deve ser realizada de modo gradativo.

(* Estas frequências poderão estender-se por 1 a 5 anos, dependendo do comportamento e aparente estabilização das leituras.

Fonte: Silveira (2006)

É possível observar que a fase do enchimento é o período com mais leituras a serem realizadas, reflexo do cuidado que esse momento crítico para as estruturas carece.

2.3 Procedimentos de monitoramento de segurança

De acordo com Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, da Agência Nacional de Águas – ANA (2016, p. 35) a barragem deve ser instrumentada para que seja monitorada, os dados sejam analisados e todas os equipamentos devem ser mantidos para garantir a operação segura da barragem. O uso de instrumentação de auscultação em estruturas de barragens está fundamentado em:

- Comprovação do projeto, onde o principal objetivo é o de certificar-se de que além do mesmo ser seguro é também o mais econômico;
- Comprovação da conveniência de novas técnicas de construção;
- Diagnosticar a natureza específica de algum evento adverso para uma prevenção de ocorrência futura;
- Comprovação contínua de um desempenho satisfatório;
- Razões preditivas;
- Razões legais;

- Pesquisas para o estado da arte.

De acordo com a seção II, das inspeções de segurança da resolução normativa nº 696, de 15 de dezembro de 2015.

O Art. 8º direciona que as inspeções de segurança serão classificadas em regular e especial, sendo que o PSB deverá ser atualizado em decorrência de suas exigências e recomendações. O parágrafo único do mesmo artigo diz que o empreendedor deverá cumprir as recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança.

O Art. 9º da mesma resolução descreve na primeira subseção a forma de inspeção de segurança regular e ressalta que a mesma deverá ser realizada por equipe técnica capacitada e deve contemplar todas as estruturas de barramento do empreendimento e retratar suas condições de segurança, conservação e operação. E ainda adverte que é de responsabilidade do empreendedor adotar os procedimentos que julgar convenientes para a inspeção de segurança regular, observadas as particularidades, complexidade e características técnicas do empreendimento em questão.

Já a segunda subseção diz respeito à forma de inspeção de segurança especial e descreve através do Art. 11º que a mesma tem como objetivo manter ou restabelecer o nível de segurança da barragem à categoria normal e deverá ser realizada mediante constituição de equipe multidisciplinar de especialistas, substitutivamente à Inspeção de Segurança Regular, sempre que o nível de segurança do barramento estiver nas categorias de alerta ou emergência.

§ 1º A inspeção especial também deve ser realizada após ocorrência de evento excepcional (abalo sísmico, galgamento, cheia ou operação hidráulica do reservatório em condições excepcionais).

§ 2º A ANEEL poderá demandar realização de inspeção de segurança especial a partir de denúncia fundamentada, de resultado de fiscalização desempenhada em campo ou de recebimento de comunicado de ocorrência feito pelo próprio empreendedor.

2.3.1 Auscultação de barragem

Auscultação de uma barragem são os procedimentos que tem como objetivo a observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que

representem risco potencial às condições de sua segurança global. Ferc (2003) ressalta que a auscultação pode ser realizada por:

- Inspeção Visual: É um processo qualitativo obtido por meio de vistoria periódicas *in loco*.
- Instrumentação: É o processo de aquisição, registro e processamento de informações obtidas através dos instrumentos de medida instalados no aterro ou nas fundações da barragem.

Para Kuperman *et al.*, (2005), o processo de auscultação propicia a análise de um risco em desenvolvimento ou eminente de ocorrer e ele deve acompanhar toda vida útil da estrutura ou barragem, de maneira que forneça dados precisos e reais para auxiliar nas tomadas de decisões no monitoramento desde a fase de construção, operação e manutenção. Todavia, algumas anomalias não ficam evidentes a ponto de serem reconhecidas e/ou identificadas em uma inspeção visual, carecendo assim, de instrumentações específicas para se alcançar um gerenciamento mais seguro do comportamento da estrutura. Isso fundamenta a associação da inspeção visual aos dados obtidos através dos equipamentos de auscultação.

Os procedimentos preventivos têm como finalidade permitir a implantação de medidas anteriores à ocorrência de qualquer emergência na barragem, mitigando a possibilidade de uma situação emergencial e de todas as consequências associadas ao cenário com ela relacionadas. Em linhas gerais, para barragem de terra, estes procedimentos consistem dos mencionados a seguir.

2.3.1.1 Inspeções Visuais

Para possibilitar a identificação precoce de deteriorações que possam pôr em risco a segurança da barragem, todas as estruturas deverão ser continuamente monitoradas por meio de inspeções visuais podendo ser regular ou especial.

Os relatórios de inspeção de segurança regular ou especial deverão conter, no mínimo, a avaliação com registro fotográfico das anomalias encontradas e que possam oferecer risco imediato ou a curto prazo à segurança da barragem; acompanhamento das anomalias identificadas em inspeção anterior e avaliação do resultado da análise das leituras dos instrumentos de auscultação, indicando, também, a necessidade de manutenção, em função de possível mau funcionamento dos instrumentos e indícios de deterioração ou defeito de construção.

Conforme o Plano de Ação Emergencial (2016) para estruturas de terra de Belo Monte as inspeções visuais permitem a identificação de muitas das deteriorações passíveis de ocorrer em barragens, a determinação de suas causas e a proposição de reparos visando a execução de intervenção em tempo hábil, de forma a restituir o nível de segurança desejado. Para tal, devem ser guiadas e determinadas por contínua atenção, reconhecimento e compreensão de potenciais condições adversas de comportamento da estrutura. As principais verificações nas inspeções visuais para estrutura de terra são os sinais de deformações diferenciais no corpo do aterro, sinais de percolação com áreas úmidas no paramento de jusante e sinais de instabilidade nos taludes e na fundação.

2.3.1.2 Monitoramento por instrumentação

A análise de leituras da instrumentação, juntamente com a inspeção visual da barragem, são atividades essenciais para a avaliação do estado de segurança das estruturas, uma vez que permitem detectar sinais prévios do que pode vir a se tornar uma emergência.

O principal objetivo da instrumentação é gerar informações sobre o comportamento das estruturas de uma barragem, contribuindo para o entendimento do seu desempenho e para a manutenção da segurança. A instrumentação permite uma mais precisa das estruturas, possibilitando um diagnóstico antecipado de algumas anomalias que só seriam identificadas visualmente quando o problema já estivesse em um estágio mais avançado e, portanto, com menor tempo para reparo.

De acordo com o PAE (2016) o monitoramento de barragem de terra os principais aspectos a serem avaliados por meio de instrumentação são subpressões, eficiência do sistema de drenagem interno (filtro e tapete drenante), comportamento das redes de fluxo nos maciços e gradientes hidráulicos, identificação de alterações nas vazões percoladas, indicativas de alterações nas condições de percolação pelo maciço e/ou fundação, recalques diferenciais passíveis de gerar trincas internas no maciço e deformações e deslocamentos das barragens.

No escopo da presente dissertação, o contexto da instrumentação geotécnica de barragens de terra em solo compactado com seção homogênea será abordado apenas em relação ao objeto delimitado no item 1.3 limitações da pesquisa.

2.3.1.3 Princípios e instrumentos para a medição de poropressões

Medições com piezômetro de tubo aberto Casagrande, Fonseca (2003) explana que estes instrumentos são formados por tubo de PVC cuja extremidade inferior é unida a um trecho perfurado (Figura 11). O trecho perfurado fica inserido em um bulbo de material drenante e confinada num trecho limitado que varia de 1,0 a 1,5 m de profundidade por uma camada selante, adotada para vedar o espaço entre o tubo e o furo. A mesma autora adverte que:

[...] Em superfície, o instrumento deve ser devidamente protegido contra atos de vandalismo. A pressão da água na região do bulbo é convertida diretamente em uma altura d' água equivalente. Os procedimentos de leitura são essencialmente similares àqueles descritos anteriormente para os medidores de nível d'água (FONSECA, 2003, p. 61).

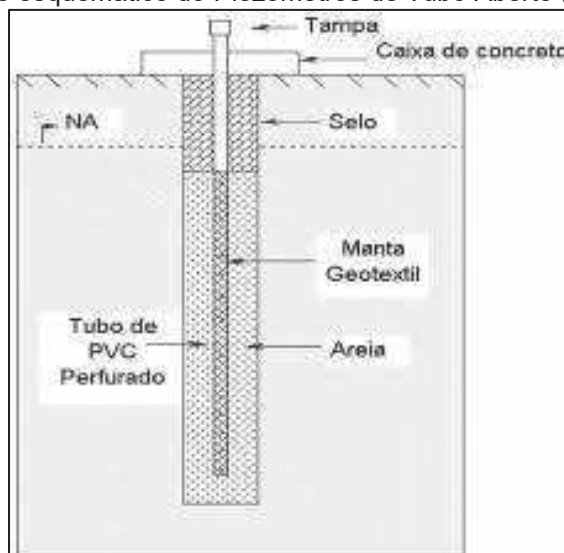
Silveira (2006) elenca as principais vantagens e desvantagens desse instrumento de auscultação:

São vantagens: Confiabilidade, Durabilidade, Sensibilidade, Possibilidade de verificação de seu desempenho por meio de ensaio de recuperação do N.A., Estimativa do coeficiente de permeabilidade do solo onde se encontra instalado o instrumento.

São desvantagens: interferência da praça de compactação durante a construção da barragem, inadequação, advinda geralmente, para a medição das pressões neutras de período construtivo, restrição quanto a sua instalação a montante da linha d'água e alto tempo de resposta

quando instalados em solo com baixa permeabilidade (SILVEIRA, 2006, p. 56).

Figura 10 – Corte esquemático do Piezômetros de Tubo Aberto (Tipo Casagrande)



Fonte: Silveira (2006)

Figura 11 - Piezômetros de Tubo Aberto (Tipo Casagrande) DIQUE 01-A – BELO MONTE



2.3.1.4 Princípios e Instrumentos Para a Medição De Deslocamentos

Medições de deslocamento com marcos superficiais, Fonseca (2003) explica que o monitoramento dos deslocamentos que ocorre no maciço e fundação da estrutura é fundamental em aterro em solo compactado. A instalação deve ser em pontos críticos de falha, em profundidade para avaliação das fundações ou locais com potencialidade para o desenvolvimento de trincas de tração ou cisalhamento causadas por deslocamentos horizontais diferenciais.

Os marcos superficiais são geralmente instalados ao longo da crista da barragem e das bermas de jusante, para a observação dos deslocamentos horizontais pós – construção, em fase de enchimento do reservatório e período operacional (Figura 12). Silveira (2006) ressalva que:

[...] os marcos superficiais são importantes não apenas para o acompanhamento dos recalques da barragem, mas também para a constatação, eventualmente, de indícios de instabilidade do talude de jusante. Apresentam como desvantagem o fato de não permitirem a observação dos recalques do talude de montante, após a fase de enchimento do reservatório (SILVEIRA, 2006, p. 218).

Figura 12 - Marco Superficial – DIQUE 01-A UHE – BELO MONTE



2.3.1.5 Princípios e Instrumentos Para a Medição De Vazões

Medidores de vazão de drenagem oferecem através das suas medições parâmetros de relevante importância no controle e desempenho do barramento. Fonseca (2003) complementa que esse instrumento de auscultação proporciona dados referente a quantidade e qualidade da água de percolação no corpo do barramento ou da sua fundação e, em especial, alterações ríspidas destas leituras, podem indicar adversidade relacionada à obstrução dos drenos, erosão interna e aumento de poropressões.

O processo comum para a medida de vazões é canalizar o fluxo dos drenos em caixas ou galerias de concreto. Silveira (p. 315 2006) descreve que existem três tipos de medidores de vazão o triangular com passagem em V, o retangular

e o trapezoidal (Cipolletti), porém apesar de serem modelos diferentes eles mudam apenas a abertura do vertedouro (Figura 13).

Os vertedores triangulares são recomendados para medição de vazões abaixo de 30,0 l/s ou (1.800 l/min) com cargas entre 0,06m e 0,50m, podendo ser aceito até 130 l/s em condições limites. E quando a galeria chegar à lâmina máxima de água a vazão é forçada a transpor a abertura triangular em V, com lados iguais e ortogonais, assim, medindo a altura da lâmina d'água presente, o dado é correlacionando a uma tabela que mostra a vazão em l/s (MELO, 2001).

Figura 13 - Medidor de Vazão do tipo Triangular - DIQUE 01-A UHE – BELO MONTE



2.3.1.6 Princípios e instrumentos para a medição do nível d'água

O nível freático é definido como superfície superior de um corpo d'água subterrâneo, na qual a pressão corresponde à atmosférica. Para Fonseca (2003), a altura e posição exatas da linha freática no interior do maciço compactado de uma barragem oferecem condições de grande relevância nas análises de sua estabilidade ou na interpretação dos resultados de sua piezometria.

Para Silveira (2006) a medição do nível d'água em maciços de solo ou rocha significa medir a água em profundidade através da execução de furos de trado ou sondagem e medir a cota da sua superfície. O mesmo autor ressalta ainda que esses instrumentos de auscultação têm confiabilidade e simplicidade como uma das principais vantagens e finaliza que em barragens de terra, os medidores de N.A. são instalados nas zonas dos tapetes horizontais e filtros verticais para aferir a possibilidade de colmatagem ou detectar possíveis cargas

hidráulicas no corpo da drenagem interna da barragem, nas ombreiras e nas zonas de jusante que tem como objetivo o monitoramento dos potenciais riscos de saturação, com mitigação das condições de estabilidade do talude de jusante (Figura 14).

Figura 14 - Referência de Nível – DIQUE 01-A UHE – BELO MONTE



2.3.1.7 Erros De Leitura Em Instrumentos de Auscultação

Erros significa o desvio entre o valor medido e o valor real. Logo, ele é matematicamente igual a precisão. Esses desvios são oriundos de múltiplas funções de causas distintas apresentadas no quadro 5:

Quadro 5 - Causas e medidas corretivas para os erros de medição

Tipo de erro	Causas	Medidas corretivas dos instrumentos
Erro grosseiro	Inexperiência Falha na leitura Falha no registro Erro computacional	Mais cuidado/atenção Treinamento Leituras duplicadas Dois observadores Comparação com as leituras prévias
Erro sistemático	Calibração imprópria Falta de calibração Histeresse Não linearidade	Uso de calibração correta Recalibração Uso de padrões Uso de procedimento de leitura consistentes

Quadro 5 - Causas e medidas corretivas para os erros de medição (continuação)

Erro de conformidade	Detalhes de instalação incorretos Limitações dos instrumentos de medição	Seleção de instrumentos apropriado Modificação dos procedimentos de instalação Aprimoramento do projeto de instrumentação
Erro ambiental	Clima Temperatura Vibração Corrosão	Registrar as variações ambientais e introduzir correções Fazer escolha apropriada dos materiais dos instrumentos
Erro observacional	Variação entre observadores	Treinamento Uso de sistemas de aquisição automática dos instrumentos
Erro de amostragem	Variabilidade nos parâmetros medidos Técnicas incorretas de amostragem	Instalação de números suficiente de instrumentos nos locais representativos
Erro randômico	Ruído Atrito Efeitos ambientais	Seleção correta dos instrumentos Eliminação temporária de ruídos Leituras múltiplas Análises estatísticas
Lei de Murphy	Se alguma coisa pode dar errado, com certeza, dará	Nenhuma – qualquer tentativa de remediar a situação irá piorá-la

Fonte: DUNNICLIFF (1993, apud em SILVEIRA, 2006, p. 47)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa, realizou-se inicialmente a caracterização da barragem em estudo. Essa fase contou com a realização de visitas técnicas a UHE Belo Monte, diálogo com o superintendente de operação e manutenção e com equipe do setor de segurança de barragens da Norte Energia S.A. Foi realizado a análise de todos os relatórios de monitoramento das inspeções visuais e instrumentais entre os anos de 2015 a 2018 e ainda a análise dos documentos técnicos referentes à construção, à operação e à segurança da barragem dos Diques 01-A, 01-B e 01-C que foram escolhidos pelos diferentes históricos de comportamento e posteriormente procedeu-se o estudo dos procedimentos de monitoramento de segurança de barragens no cenário de transição entre a implantação e o início da operação do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte.

3.1 Caracterização do Complexo Belo Monte

O Brasil possui a matriz energética mais limpa e renovável do planeta e a Usina Hidrelétrica Belo Monte, instalada no rio Xingu, no estado do Pará, contribui para este resultado. Com capacidade instalada de 11.233,1 MW e quantidade média de geração de energia de 4.571 MW, Belo Monte (Figura 15) se firmará no final do ano de 2019 como a maior hidrelétrica 100% brasileira.

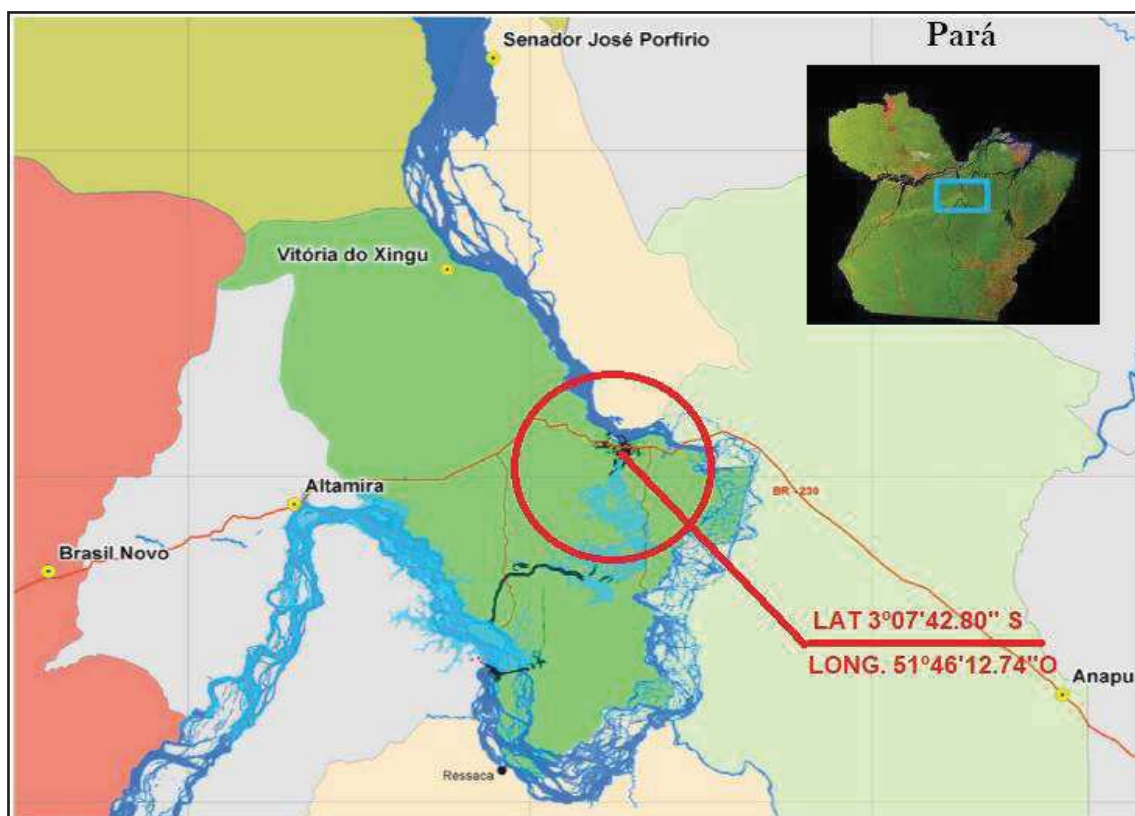
Figura 15 - UHE Belo Monte



Fonte: Norte Energia (2019)

O empreendimento da UHE Belo Monte está construído no rio Xingu, nos municípios de Altamira e Vitória do Xingu, no estado do Pará, conforme apresenta na Figura 16.

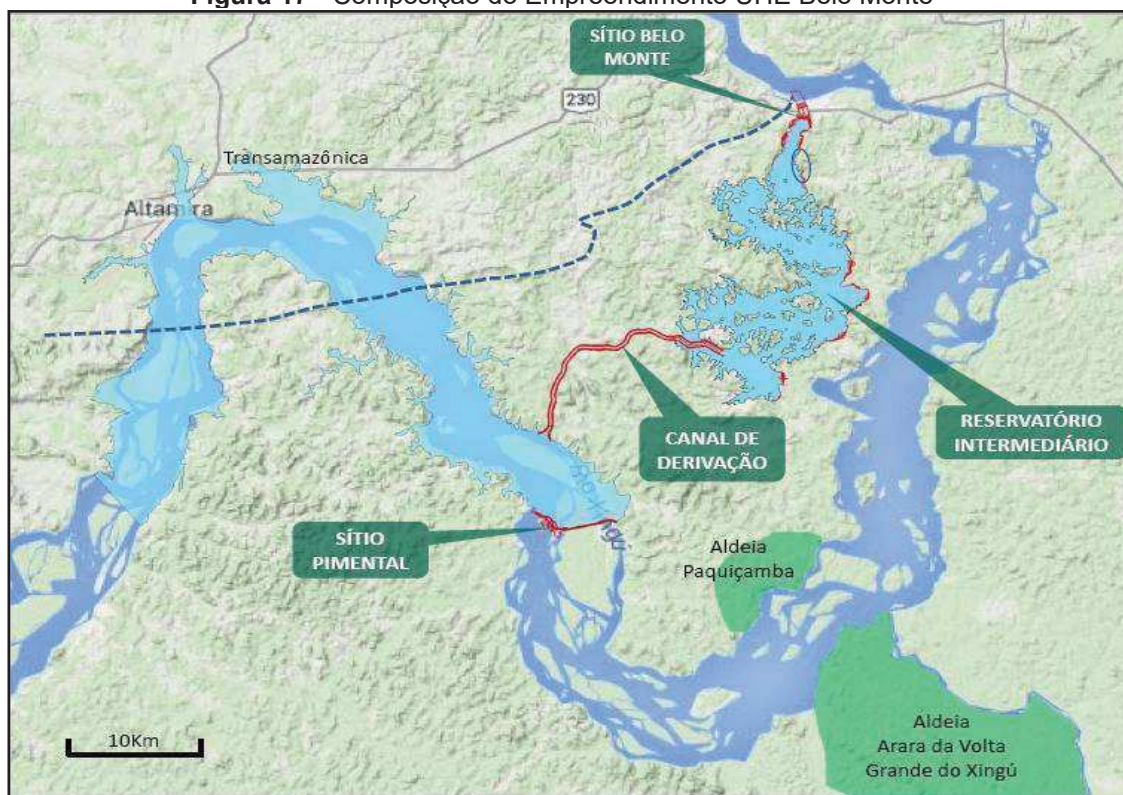
Figura 16 - Localização do Empreendimento UHE Belo Monte



Fonte: Plano de Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016)

A UHE Belo Monte se caracteriza por apresentar sítios de obras distintos e distantes entre si, desde o barramento principal das calhas naturais do rio Xingu, no Sítio Pimental, até o Sítio Belo Monte, onde se localiza a casa de força principal do empreendimento. A distância entre estes dois sítios em linha reta é de aproximadamente 40 km. Entre os sítios foi construído um sistema de adução à casa de força principal, constituído pelo canal de derivação e pelo reservatório intermediário, sendo este último formado por diques e canais de transposição (Figura 17).

Figura 17 - Composição do Empreendimento UHE Belo Monte



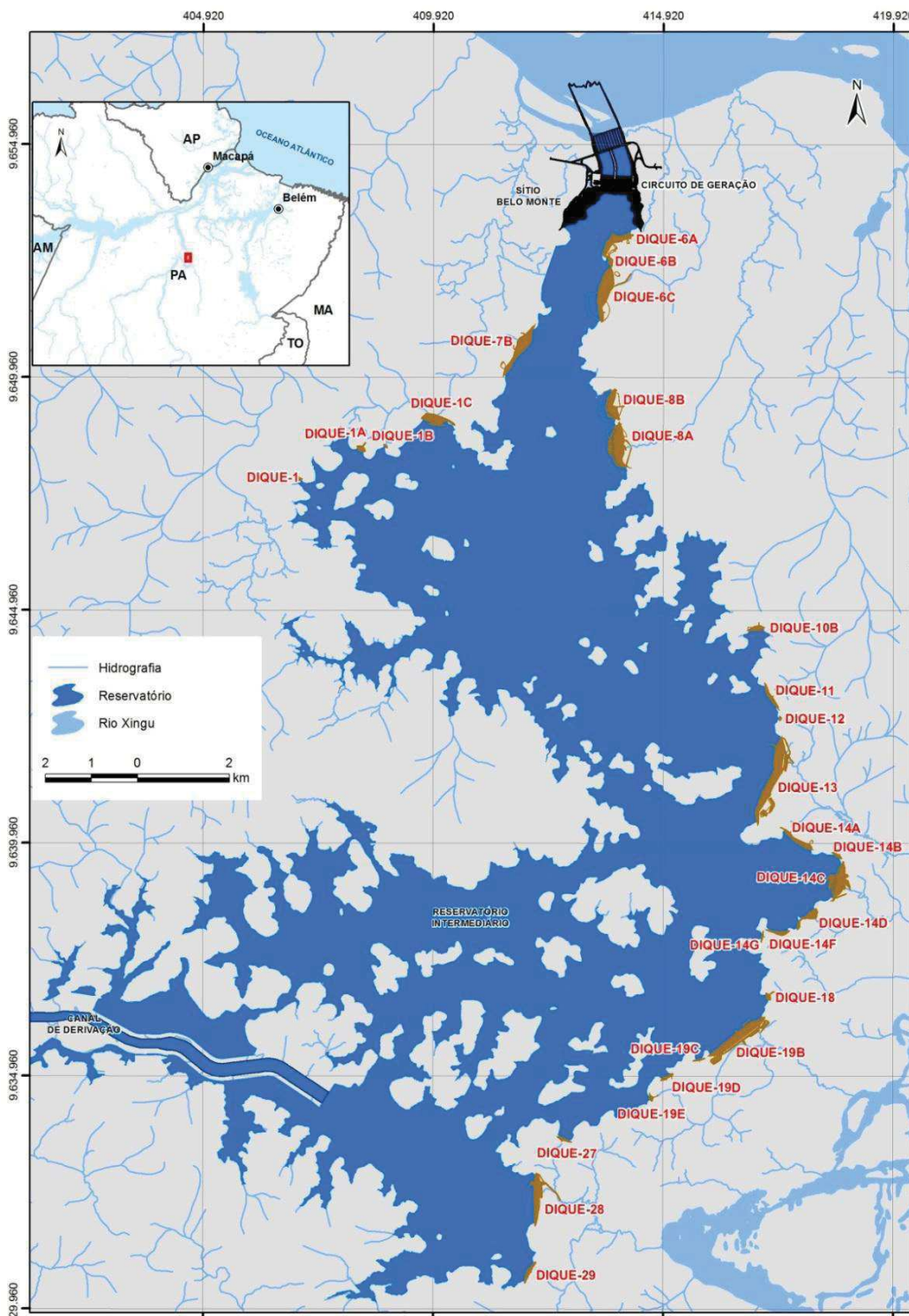
Fonte: Plano de Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016).

No Sítio Pimental localizam-se a casa de força complementar, o vertedouro principal e barragens de terra e enrocamento que completam o fechamento do rio Xingu, este sítio também abriga os sistemas de transposição de peixes e de embarcações. Já o sítio Belo Monte encontra-se na margem esquerda do Xingu e neste sítio foi construído a casa de força principal, tomada de água e o canal de fuga, com fechamento do reservatório intermediário por diques/barragens.

O reservatório do complexo Belo Monte se diferencia por possuir dois setores interligados por um canal, denominado canal de derivação, um setor a montante do canal de derivação, que se constitui basicamente da calha natural do rio Xingu, e outro, a jusante, formado pela construção de diques, que se denomina reservatório intermediário. O reservatório intermediário é formado por 28 diques de contenção e está localizado, em sua totalidade, no município de Vitória do Xingu e é limitado pelas barragens Vertente do Santo Antônio, Fechamento

Lateral Esquerda, Fechamento Lateral Direita e Tomada de Água. Conforme figura 18.

Figura 18 - Reservatório intermediário e seus diques de contenção da UHE BELO MONTE

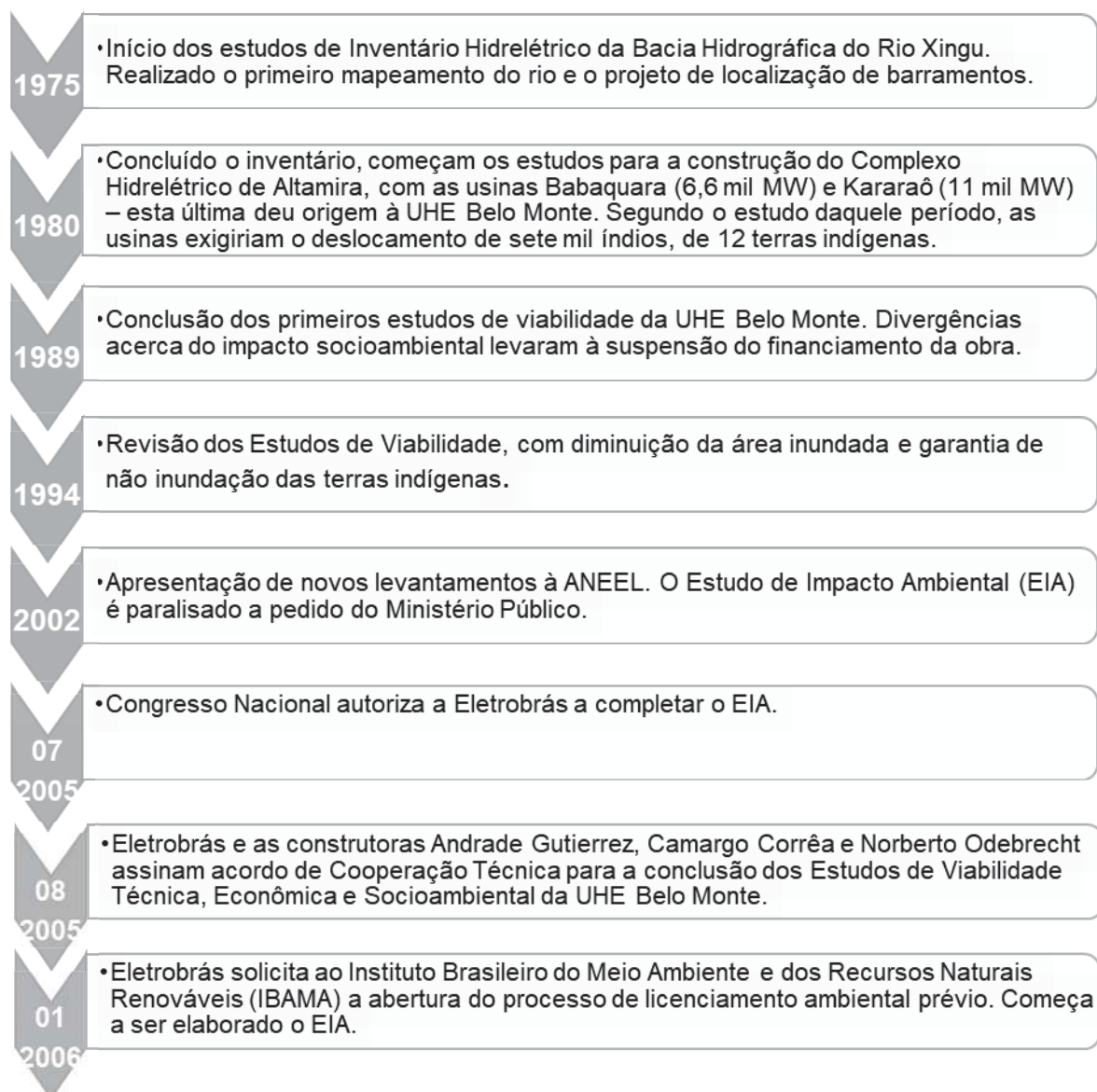


Fonte: Plano de Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016)

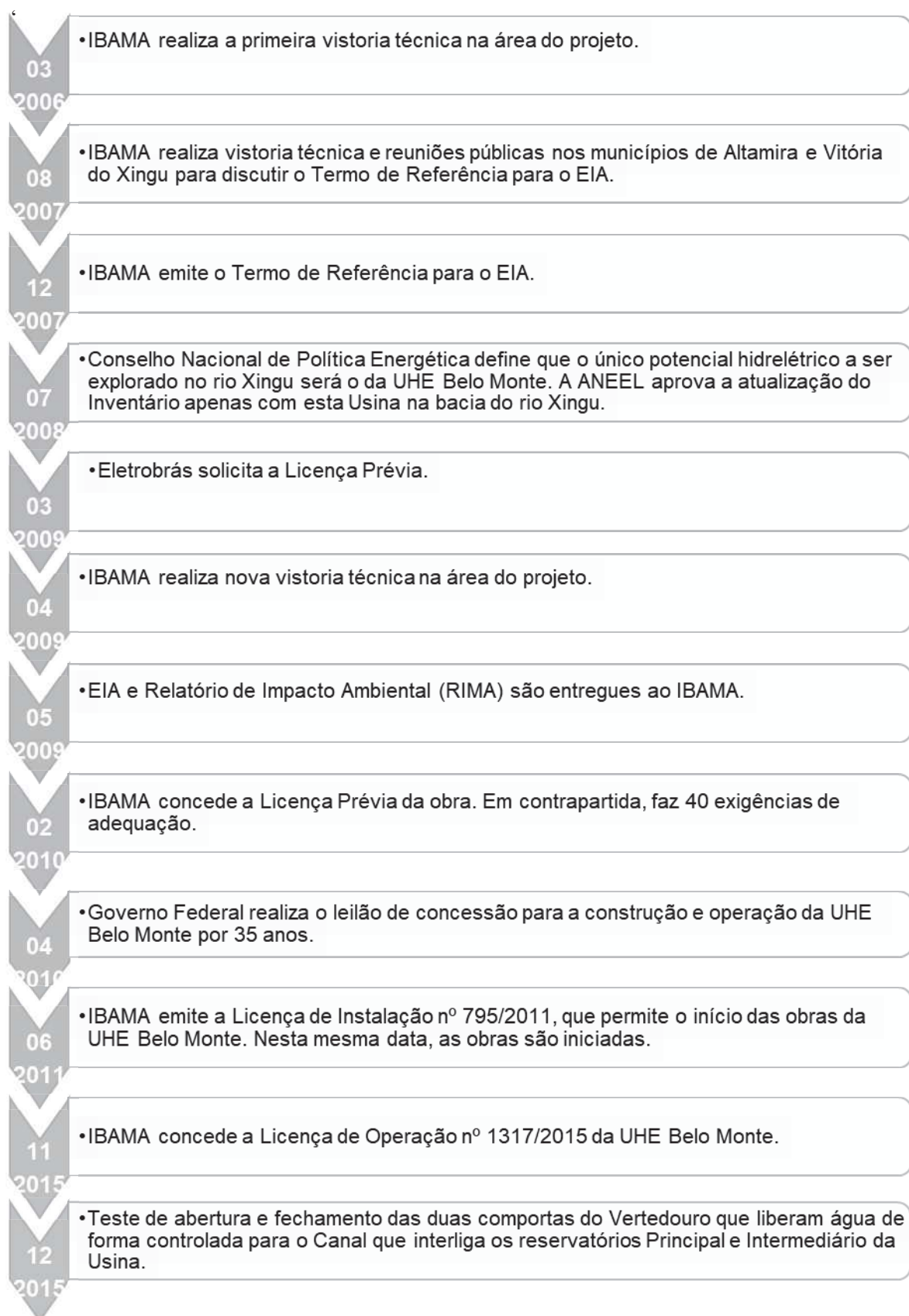
3.2 Cronologia do complexo Belo Monte

O propósito desta dissertação é analisar os procedimentos do monitoramento de segurança de barragens e o comportamento das estruturas do Complexo Belo Monte no cenário crítico de transição entre a implantação, enchimento dos reservatórios e operação, delimitando o espaço de tempo entre os anos de 2015 antes do enchimento dos reservatórios, e os anos de 2016, 2017 e 2018 após o enchimento. Para isso, é importante detalhar a cronologia do empreendimento.

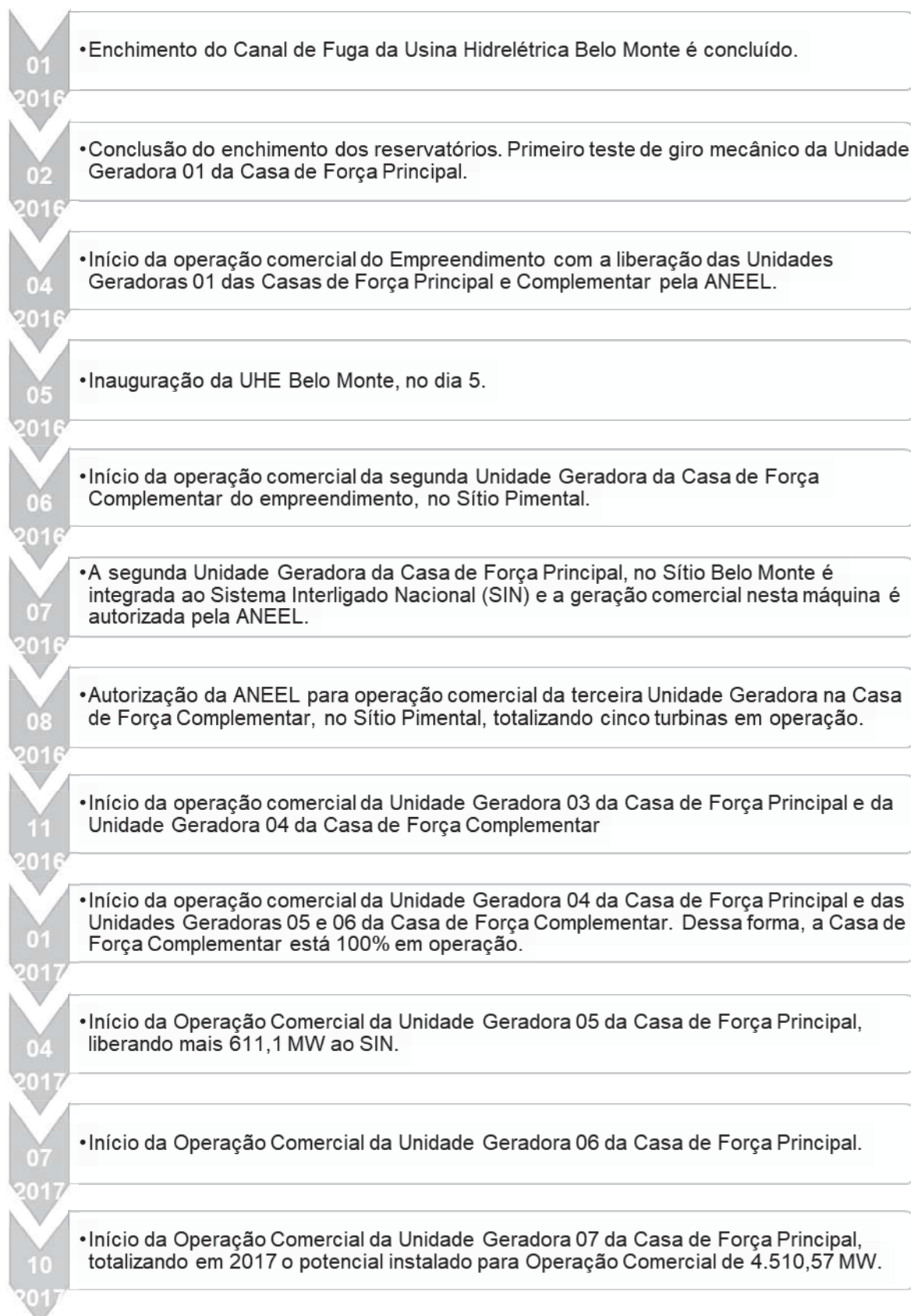
Fluxograma 1 - Sequência da construção da UHE BELO MONTE



Fluxograma 1 - Sequência da construção da UHE BELO MONTE (continuação)



Fluxograma 1 - Sequência da construção da UHE BELO MONTE (continuação)



Fluxograma 1 - Sequência da construção da UHE BELO MONTE (continuação)

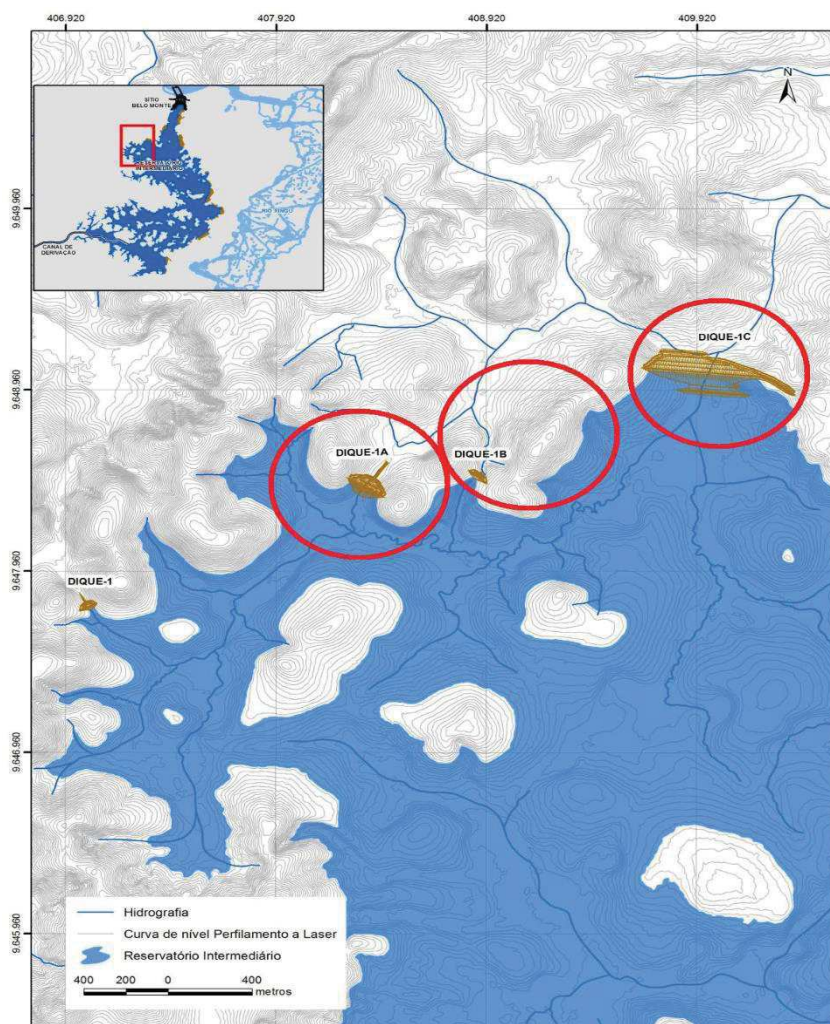


Belo Monte concluiu sua 18ª unidade geradora no mês de novembro do ano de 2019. No mesmo período começou a operar na sua capacidade máxima. Sua inauguração oficial aconteceu no dia 27 de novembro de 2019.

3.3 Diques 01-A, 01-B e 01-C Sítio Belo Monte

O Diques 01-A, 01-B e 01-C têm a finalidade de permitir a criação do reservatório intermediário, fechando vales de drenagens naturais e pontos de fuga de água localizados em selas topográficas e estão situados do lado esquerdo do reservatório intermediário, localizando-se no talvegue da área de drenagem do igarapé Santo Antônio. A distância entre os diques 1A, 1B, 1C e o rio Xingu varia de 8,8 km até 10,9 km, passando pela rodovia Transamazônica (Figura 19).

Figura 19 - Localização dos Diques 01-A, 01-B e 01-C – Sítio Belo Monte - UHE Belo Monte



Fonte: Plano de Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016)

3.3.1 Características dos Dique 01-A, 01-B e 01-C

As principais características de projetos, geometria e métodos construtivos dos diques estão sumarizadas na tabela 14.

Tabela 14 - Características de projetos, geometria e descrições construtivas dos diques

DADOS DO EMPREENDIMENTO	
Nome do Empreendedor	Norte Energia S.A
Descrição Geral e Coordenadas	<p>O Dique 01-A está localizado no reservatório intermediário, no sítio Belo Monte, tendo sua estaca E.0+0,00 aproximadamente nas coordenadas UTM: N 9.648.362,678 e E 408.441,000;</p> <p>O Dique 01-B está localizado no reservatório intermediário, no sítio Belo Monte, tendo sua estaca E.0+0,00 aproximadamente nas coordenadas UTM: N 9.648.439,911 e E 408.929,067;</p> <p>O Dique 1C está localizado no reservatório intermediário, no sítio Belo Monte, tendo sua estaca E.0+0,00 aproximadamente nas coordenadas UTM: N 9.648.925,000 e E 410.390,368.</p>
Consórcio Projetista	Intertechne / Engevix / PCE
Bacia Hidrográfica	Rio Xingu
DADOS DOS BARRAMENTOS	
Nome dos Barramentos	Dique 01-A, 01-B e 01-C
Município	Vitória do Xingu – PA
Nome do Rio	Igarapé Santo Antônio
Tipo de Seção dos Barramentos	Homogênea em solo compactado
Inclinação Talude Montante	<p>Dique 01-A O talude de montante apresenta inclinação de 1V:1,8H com berma de 3,00m de largura na EL.92,50 (pé da proteção do rip-rap);</p> <p>Dique 01-B O talude de montante apresenta inclinação de 1V:1,8H até a berma de 3,00m de largura na EL.92,50 (pé da proteção do rip-rap);</p> <p>Dique 01-C O talude de montante apresenta inclinação de 1V:1,8H até a berma de 3,00m de largura na EL.92,50 (pé da proteção do rip-rap).</p>
Inclinação Talude Jusante	<p>Dique 01-A O talude de jusante apresenta inclinação de 1V:1,8H com uma berma de equilíbrio intermediária com largura de 4,00m na EL.90,00m;</p> <p>Dique 01-B O talude de jusante apresenta inclinação de 1V:1,8H da crista até a El. 80.00m e de 1V:2.0H abaixo da El. 80.00 m. Possui bermas de equilíbrio intermediárias, com largura de 4,00m a cada 10m H</p> <p>Dique 01-C O talude de jusante apresenta inclinação de 1V:1,8H da crista até a El. 80.00m e de 1V:2.0H abaixo da El. 80.00 m. Possui bermas de equilíbrio intermediárias, com largura de 4,00m a cada 10m H</p>
Proteção Talude de Montante	<p>Dique 01-A Acima da EL.92,50 o talude de montante estará protegido por uma camada de rip-rap com 2,50 m de largura. Entre o rip-rap e o aterro de solo compactado está prevista uma camada de transição única compactada de 1,0 m de largura no talude;</p> <p>Dique 01-B Acima da EL.92,50 o talude de montante estará protegido por uma camada de rip-rap com 1,50 m de largura desde a fundação até a crista. Entre o rip-rap e o aterro de solo compactado está prevista uma camada de transição única compactada de 1,0 m de largura no talude;</p>

Tabela 14 - Características de projetos, geometria e descrições construtivas dos diques (continuação)

Proteção Talude de Montante	<p>Dique 01-C Acima da EL.92,50 o talude de montante estará protegido por uma camada de rip-rap com 2,50 m de largura. Entre o rip-rap e o aterro de solo compactado está prevista uma camada de transição única compactada de 1,0 m de largura no talude.</p>
Características da Fundação dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	<p>A fundação do dique é caracterizada pela presença de solos superficiais que são constituídos por colúvios com espessuras variando entre 0,25 m e 0,50 m. Na região do fundo do vale verifica-se solo superficial aluvionar com espessuras variando entre 0,20 m e 0,50 m. No fundo do vale, sob o capeamento desses solos superficiais, ocorrem os solos residuais jovens e maduros de migmatito, com espessuras aproximadas de 30,0 m a 40,0 m, até o limite inferior definido pelo topo do maciço rochoso migmatítico. A presença desses solos ocorre tanto na região de fundo do vale como nas ombreiras dos diques.</p>
Sistema de Drenagem Interno	<p>Dique 01-A Uso de filtro vertical de areia com espessura de 70cm e topo na EL.97,50m, correspondente ao N.A. Máximo, e um tapete drenante sob o espaldar de jusante. O tapete drenante, para os trechos da E.1+0,00 à E.4+10,00 e E.7+0,00 à E.10+0,00 composto de seção tipo “sanduíche” com 3 camadas de transição com espessuras de 0,20m; 0,40m e 0,40m, de cima para baixo respectivamente. Para o trecho entre as estacas E.4+10,0 e E.7+0,00, o tapete drenante tem seção tipo “sanduíche” com 5 camadas de transição com espessuras de 0,20m; 0,30m, 0,30m, 0,30 e 0,40m, de cima para baixo respectivamente. Junto ao pé de jusante do maciço há uma trincheira drenante de 0,70 m de largura para captar parte do fluxo da fundação, orientando-o pelo pé da barragem. Acima deste, na saída do tapete drenante, existe um dreno de pé composto de camadas de transição recobertas por enrocamento de proteção;</p> <p>Dique 01-B Possui, em toda sua extensão, filtro vertical com espessura de 70 cm e topo na EL. 97,50m, e entre as estacas E. 2+1,58 e E. 4+10,35 um tapete drenante horizontal do tipo “sanduíche” de 3 camadas, cujas espessuras são 40cm, 30cm e 20cm de baixo para cima respectivamente, sob o espaldar de jusante, no contato com a fundação;</p> <p>Dique 01-C Uso de filtro vertical de areia com espessura de 70cm e topo na EL.97,50, correspondente ao N.A. Máximo, e um tapete drenante sob o espaldar de jusante. O tapete drenante, será composto de seção tipo “sanduíche” com 3 camadas de transição com espessuras de 0,20m, 0,40m e 0,40m, de cima para baixo respectivamente. Executados drenos nos pontos mais baixos (Estacas 19+2,00 e 30+0,00) com o objetivo de possibilitar a saída transversal da água proveniente do fluxo longitudinal. O dreno será composto por 5 camadas com espessuras de 40cm, 30cm, 30cm, 30cm e 20cm de baixo para cima, com largura de 5,00m. Junto aos septos serão executados drenos para possibilitar a saída transversal da água proveniente do fluxo longitudinal. O dreno será composto por 5 camadas com espessuras</p>

Tabela 14 - Características de projetos, geometria e descrições construtivas dos diques (continuação)

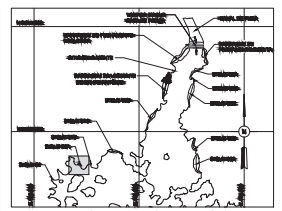
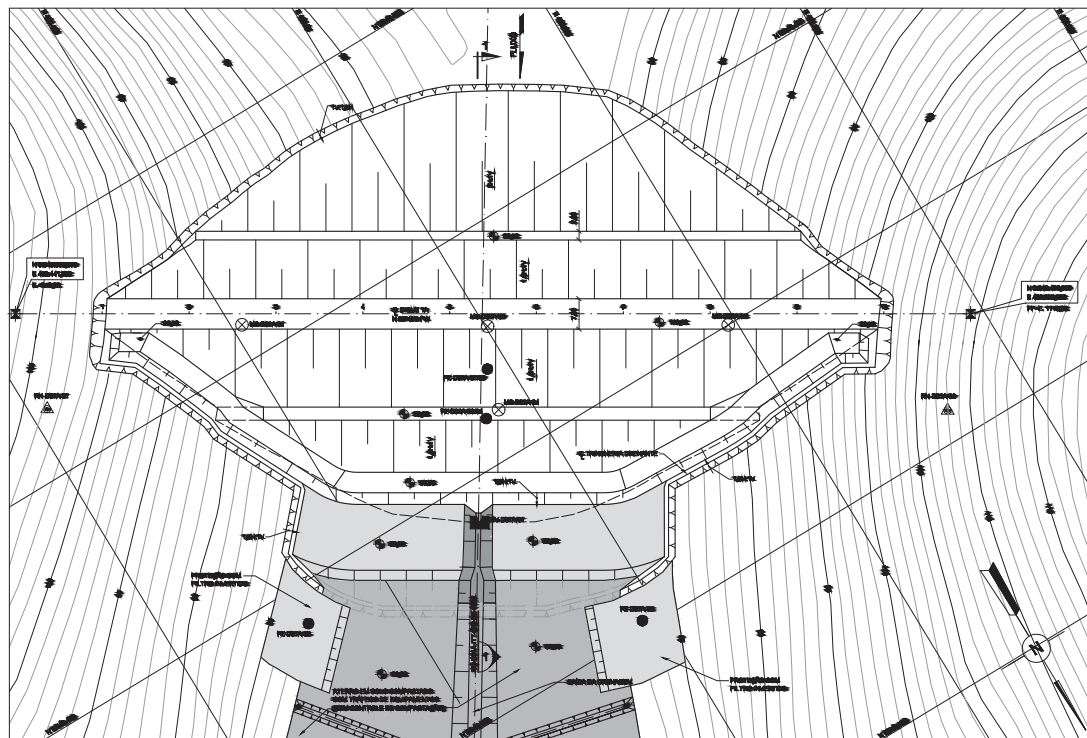
Sistema de Drenagem Interno	de 40cm, 30cm, 30cm, 30cm e 20cm de baixo para cima, com largura de 5,00m. Junto ao pé de jusante do maciço deverá ser executada uma trincheira drenante de 0,70 m de largura para captar parte do fluxo da fundação, orientando-o pelo pé da barragem. Acima deste, na saída do tapete drenante, deverá ser executado um dreno de pé composto de camadas de transição recobertas por enrocamento de proteção.
Início de Operação dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	Abril de 2016 - Início da operação comercial do Empreendimento com a liberação das Unidades Geradoras 01 das Casas de Força Principal e Complementar pela ANEEL.
Elevação da Crista (m) dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	100,00
Comprimento da Crista (m)	Dique 01-A 200,00 Dique 01-B 80,00 Dique 01-C 770,00
Largura da Crista (m) dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	7,00
Altura Máxima (m)	Dique 01-A 22,00 Dique 01-B 4,00 Dique 01-C 32,00
N.A Normal do Reservatório (m) dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	97,00
N.A Máximo Maximorum do Reservatório (m) dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	97,50
Volume Total do Reservatório (m ³) dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	4.290.000.000,00
Vazão de Projeto do Vertedouro (m ³ /s) dos Diques 01-A, 01-B e 01-C	62.000,00
Fonte: Plano De Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016). Plano De Segurança De Barragens – PSB BELO MONTE (2016).	

A planta baixa com a locação dos instrumentos de auscultação do dique 01-A e a seção tipo dessa estrutura estão representadas respectivamente nas figuras 20 e 21.

A planta baixa com a locação dos instrumentos de auscultação do dique 01-B e as duas seções tipo dessa estrutura estão representadas respectivamente nas figuras 22 e 23.

A planta baixa com a locação dos instrumentos de auscultação do dique 01-C e as três seções tipo dessa estrutura estão representadas respectivamente nas figuras 24 e 25.

Figura 20 - PLANTA E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-A



PLANTA CHAVE SEM ESCALA

QUADRO RESUMO DO DIQUE 1A		
INSTRUMENTOS	UN.	QUANT.
MARCO SUPERFICIAL	UN.	4
MEDIDOR DE VAZÃO	UN.	1
PIEZÔMETRO	UN.	6
PIEZÔMETRO ELÉTRICO	UN.	-
MEDIDOR DE RESCALQUE MAGNÉTICO	UN.	-
REFERÊNCIA DE NÍVEL	UN.	2

QUADRO DE LOCAÇÃO - MARCOS SUPERFICIAIS		
INSTRUMENTO/ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
MS-DSTA-01	3+12,70	23,92
MS-DSTA-02	3+12,70	19,92
MS-DSTA-03	3+12,70	23,92
MS-DSTA-04	3+12,70	23,92

- LEGENDA:**
- △ - RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL
 - ⊗ - MS - MARCO SUPERFICIAL (PLANTA)
 - - MS - MARCO SUPERFICIAL (ELEV.)
 - - MV - MEDIDOR DE VAZÃO
 - - PZ - PIEZÔMETRO (PLANTA)
 - - PZ - PIEZÔMETRO (EM SEÇÃO)

PLANTA DIQUE 01-A / SEM ESCALA

QUADRO DE LOCAÇÃO - PIEZÔMETROS			
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
PZ-DSTA-01	3+12,70	12,32	24,04
PZ-DSTA-02	3+12,70	12,32	09,09
PZ-DSTA-03	3+12,46	24,11	24,03
PZ-DSTA-04	3+12,46	24,11	09,11
PZ-DSTA-05	3+12,20	21,24	24,16
PZ-DSTA-06	3+12,44	20,95	22,44

QUADRO DE LOCAÇÃO - REFERÊNCIA DE NÍVEL			
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
RN-DSTA-01	3+12,70	21,90	102,16
RN-DSTA-02	10+14,85	22,28	102,89

QUADRO DE LOCAÇÃO - MEDIDOR DE VAZÃO			
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
MV-DSTA-01	3+12,91	40,22	22,26



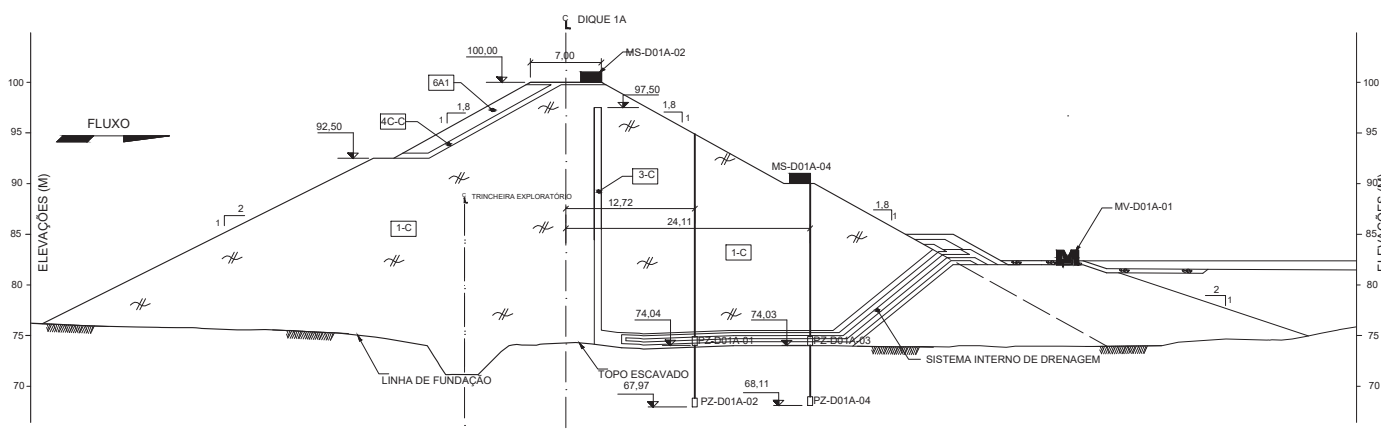
PLANTA E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-A

MUNICÍPIO: ALTAMIRA - PA ESCALA: 1:500 DATA: 2017

REVISÕES

Intertechno ENGEVIX **PCE**
Projetos e Consultorias de Eng.

Figura 21 - SEÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-A



SEÇÃO DIQUE 01-A
SEM ESCALA

TABELA DE MATERIAIS	
MATERIAL	DESCRIÇÃO
1-C	SOLO - COMPACTADO
3-C	AREIA - COMPACTADA
4A-C	TRANSIÇÃO FINA - COMPACTADA
4C-C	TRANSIÇÃO ÚNICA - COMPACTADA
6A1	RIP-RAP DE ROCHA SÃ

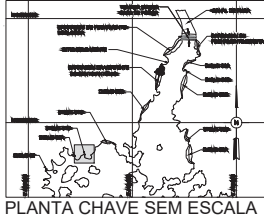
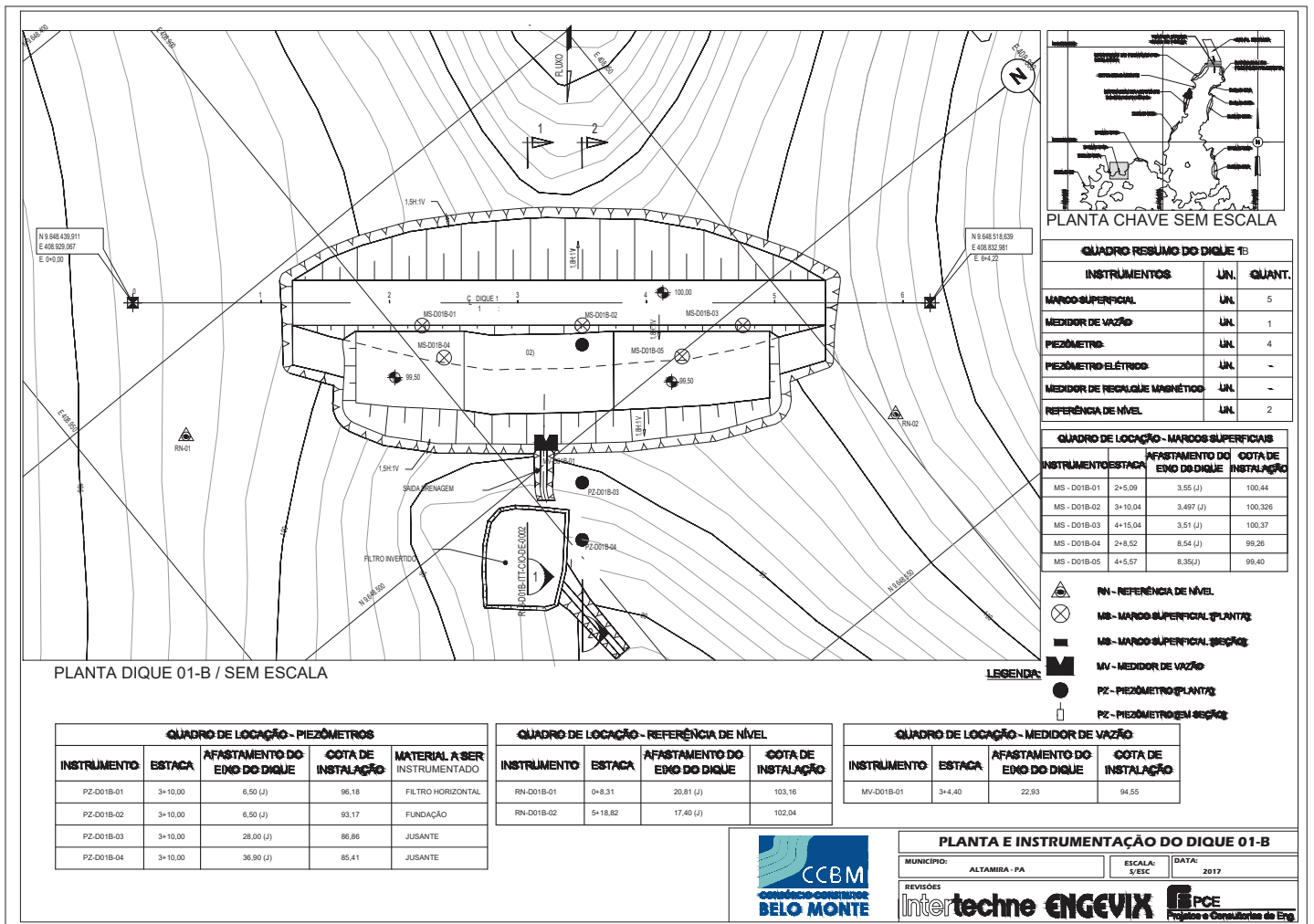
LEGENDA:

- RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL
- MS - MARCO SUPERFICIAL (PLANTA)
- MS - MARCO SUPERFICIAL (SEÇÃO)
- MV - MEDIDOR DE VAZÃO
- PZ - PIEZÔMETRO (PLANTA)
- PZ - PIEZÔMETRO (EM SEÇÃO)



SEÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-A		
MUNICÍPIO:	ALTAMIRA - PA	ESCALA: 5/8" = 1'
DATA:	2017	
REVISORES:	Inter techn ENGEVIX PCE Projetos e Consultorias de Eng.	

Figura 22 - PLANTA E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-B



QUADRO RESUMO DO DIQUE 1B

INSTRUMENTOS	UN.	QUANT.
MARCO SUPERFICIAL	UN.	5
MEDIDOR DE VAZÃO	UN.	1
PIEZÔMETRO	UN.	4
PIEZÔMETRO ELÉTRICO	UN.	-
MEDIDOR DE RESQUÍE MAGNÉTICO	UN.	-
REFERÊNCIA DE NÍVEL	UN.	2

QUADRO DE LOCAÇÃO - MARCOS SUPERFICIAIS

INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO ENDO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
MS - D01B-01	2+5,09	3,55 (J)	100,44
MS - D01B-02	3+10,04	3,497 (J)	100,328
MS - D01B-03	4+15,04	3,51 (J)	100,37
MS - D01B-04	2+8,52	8,54 (J)	99,26
MS - D01B-05	4+5,57	8,35(J)	99,40

- LEGENDA:**
- ▲ RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL
 - ⊗ MS - MARCO SUPERFICIAL PLANTA
 - MS - MARCO SUPERFICIAL SEÇÃO
 - MV - MEDIDOR DE VAZÃO
 - PZ - PIEZÔMETRO PLANTA
 - PZ - PIEZÔMETRO EM SEÇÃO

PLANTA DIQUE 01-B / SEM ESCALA

QUADRO DE LOCAÇÃO - PIEZÔMETROS

INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO ENDO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO	MATERIAL A SER INSTRUMENTADO
PZ-D01B-01	3+10,00	6,50 (J)	98,18	FILTRO HORIZONTAL
PZ-D01B-02	3+10,00	6,50 (J)	93,17	FUNDAÇÃO
PZ-D01B-03	3+10,00	28,00 (J)	86,86	JUSANTE
PZ-D01B-04	3+10,00	36,90 (J)	85,41	JUSANTE

QUADRO DE LOCAÇÃO - REFERÊNCIA DE NÍVEL

INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO ENDO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
RN-D01B-01	0+8,31	20,81 (J)	103,16
RN-D01B-02	5+18,82	17,40 (J)	102,04

QUADRO DE LOCAÇÃO - MEDIDOR DE VAZÃO

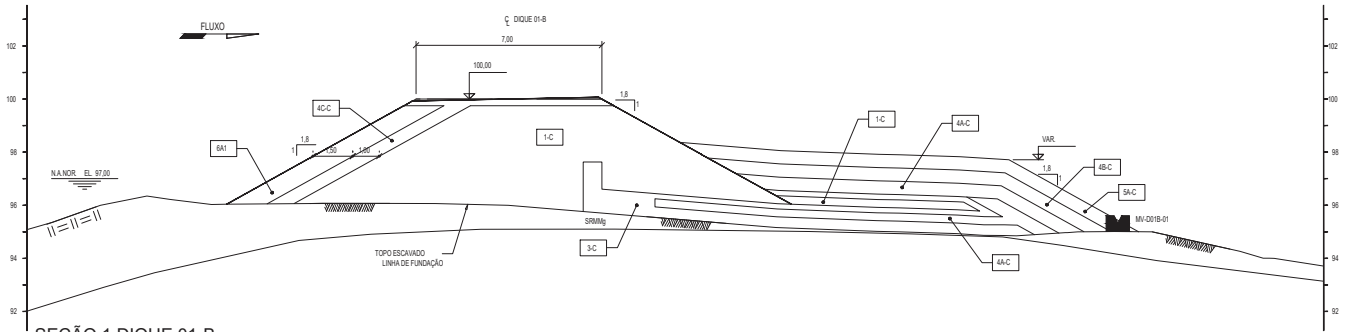
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO ENDO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
MV-D01B-01	3+4,40	22,93	94,55



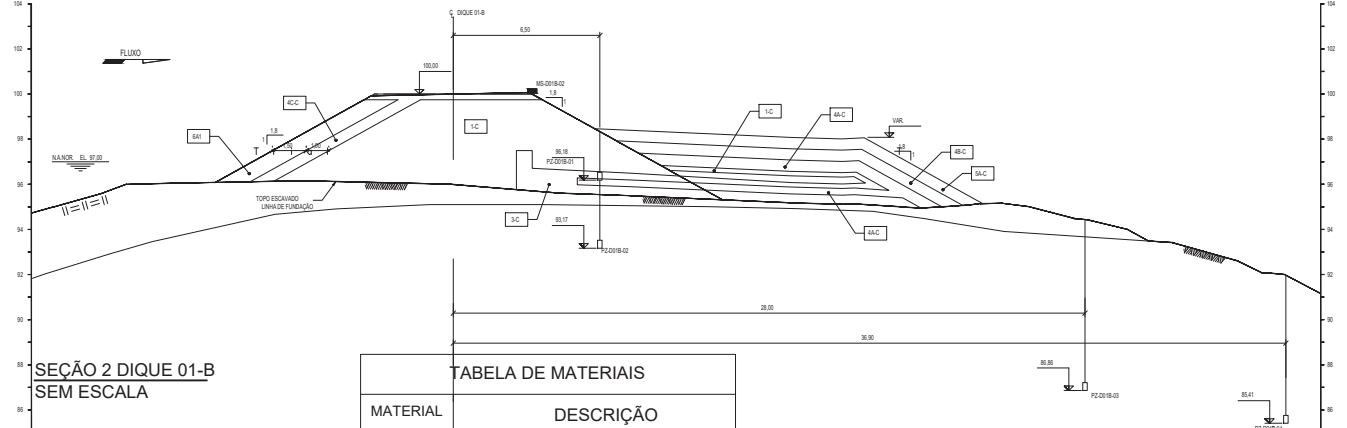
PLANTA E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-B

MUNICÍPIO:	ALTAMIRA - PA	ESCALA:	5/ESC	DATA:	2017
REVISÕES					

Figura 23 - SEÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-B



SEÇÃO 1 DIQUE 01-B
SEM ESCALA



SEÇÃO 2 DIQUE 01-B
SEM ESCALA

- LEGENDA:
- RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL
 - MS - MARCO SUPERFICIAL (PLANTA)
 - MS - MARCO SUPERFICIAL (SEÇÃO)
 - MV - MEDIDOR DE VAZÃO
 - PZ - PIEZÔMETRO (PLANTA)
 - PZ - PIEZÔMETRO (EM SEÇÃO)

TABELA DE MATERIAIS	
MATERIAL	DESCRIÇÃO
1-C	SOLO - COMPACTADO
3-C	AREIA - COMPACTADA
4A-C	TRANSIÇÃO FINA - COMPACTADA
4-C-C	TRANSIÇÃO ÚNICA - COMPACTADA
6A1	RIP-RAP DE ROCHA SÃ

CCBM
COMISSÃO COORDENADORA
BELO MONTE

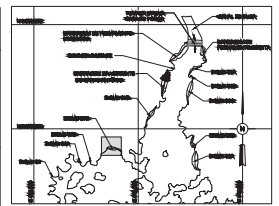
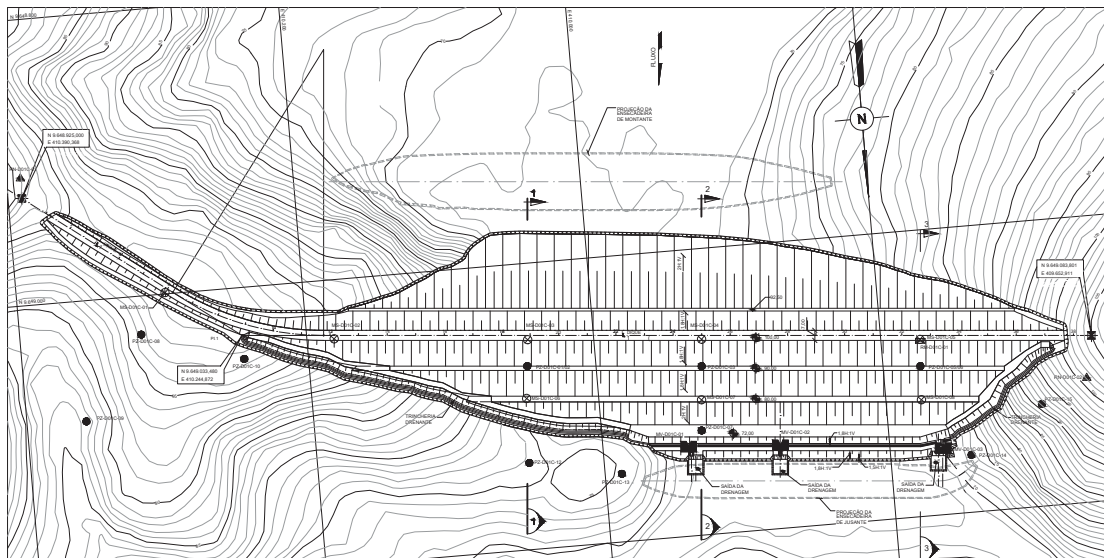
SEÇÕES E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-B

MUNICÍPIO: ALTAMIRA - PA	ESCALA: 5/ESC	DATA: 2017
--------------------------	---------------	------------

REVISÕES

Inter **techno** **ENGEVIX** **PCE**
Projetos e Consultorias de Eng.

Figura 24 - - PLANTA E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-C



PLANTA CHAVE SEM ESCALA

QUADRO RESUMO DO DIQUE 1C		
INSTRUMENTOS	UN.	QUANT.
MARCO SUPERFICIAL	UN.	8
MEDIDOR DE VAZÃO	UN.	3
PIEZÔMETRO	UN.	13
PIEZÔMETRO ELÉTRICO	UN.	-
MEDIDO DE RECALQUE MAG.	UN.	-
REFERÊNCIA DE NÍVEL	UN.	2

PLANTA DIQUE 01-C / SEM ESCALA

QUADRO DE LOCAÇÃO - PIEZÔMETRO				
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO	MATERIAL A SER INSTRUMENTADO
PZ-D01C-01	18+18,00	21,50 (J)	71,94	FILTRO HORIZONTAL
PZ-D01C-02	18+18,00	21,50 (J)	66,95	FUNDAÇÃO
PZ-D01C-03	25+0,00	21,50 (J)	65,90	FILTRO HORIZONTAL
PZ-D01C-04	32+13,00	21,50 (J)	73,23	FILTRO HORIZONTAL
PZ-D01C-05	32+13,00	21,50 (J)	65,19	FUNDAÇÃO
PZ-D01C-06	25+0,00	66,50 (J)	65,27	FILTRO HORIZONTAL
PZ-D01C-07	6+1,31	36,70 (J)	79,64	JUSANTE
PZ-D01C-08	6+0,75	108,55 (J)	75,79	JUSANTE
PZ-D01C-09	9+5,39	23,45 (J)	86,97	JUSANTE
PZ-D01C-10	18+19,48	89,16 (J)	67,34	JUSANTE
PZ-D01C-11	22+4,26	96,80 (J)	67,28	JUSANTE
PZ-D01C-12	34+8,80	83,50 (J)	65,63	JUSANTE
PZ-D01C-13	36+18,00	48,00 (J)	77,72	JUSANTE

QUADRO DE LOCAÇÃO - MEDIDOR DE VAZÃO			
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
MV-D01C-01	24+10,95	81,45 (J)	69,45
MV-D01C-02	27+15,15	80,50 (J)	69,10
MV-D01C-03	34+2,70	82,50 (J)	69,70

QUADRO DE LOCAÇÃO REFERÊNCIAS DE NÍVEIS			
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
RN-D01C-01	0+8,19	11,30 (M)	104,08
RN-D01C-02	36+9,34	29,79 (J)	101,14

QUADRO DE LOCAÇÃO - MARCOS SUPERFICIAIS			
INSTRUMENTO	ESTACA	AFASTAMENTO DO EIXO DO DIQUE	COTA DE INSTALAÇÃO
MS-D01C-01	5+19,93	2,98 (J)	100,09
MS-D01C-02	12+2,98	2,44 (J)	100,21
MS-D01C-03	18+18,33	3,02 (J)	100,28
MS-D01C-04	24+19,94	2,68 (J)	100,31
MS-D01C-05	32+12,74	2,79 (J)	100,36
MS-D01C-06	19+17,62	44,16 (J)	80,73
MS-D01C-07	24+19,97	45,08 (J)	80,11
MS-D01C-08	32+13,75	45,03 (J)	80,06

LEGENDA

- RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL
- MS - MARCO SUPERFICIAL (PLANTA)
- MS - MARCO SUPERFICIAL (SEÇÃO)
- MV - MEDIDOR DE VAZÃO
- PZ - PIEZÔMETRO (PLANTA)
- PZ - PIEZÔMETRO (SEÇÃO)



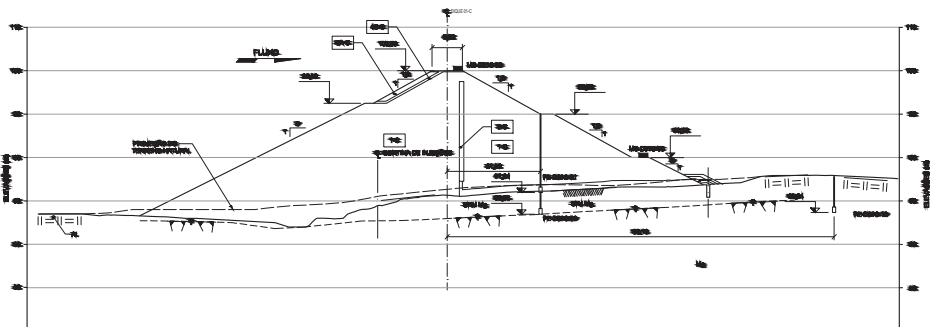
PLANTA E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-C

MUNICÍPIO: ALTAMIRA - PA ESCALA: 5/ESC DATA: 2017

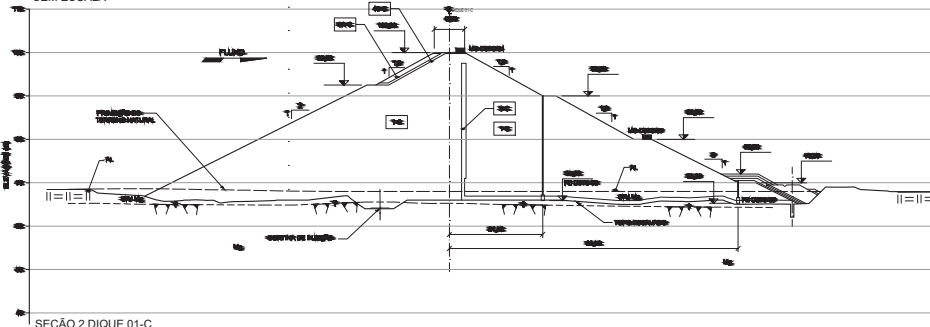
REVISÕES

Intertechne ENGEVIX **PCE**
Projetos e Consultorias de Eng.

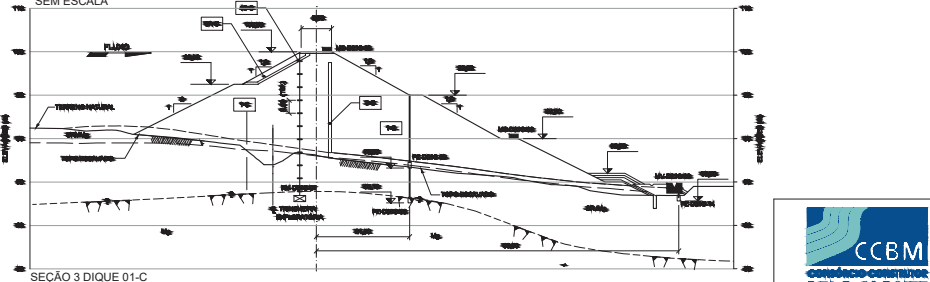
Figura 25 - SEÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-C



SEÇÃO 1 DIQUE 01-C
SEM ESCALA



SEÇÃO 2 DIQUE 01-C
SEM ESCALA



SEÇÃO 3 DIQUE 01-C
SEM ESCALA

TABELA DE MATERIAIS	
MATERIAL	DESCRIÇÃO
1-C	SOLO - COMPACTADO
3-C	AREIA - COMPACTADA
4A-C	TRANSIÇÃO FINA - COMPACTADA
4C-C	TRANSIÇÃO ÚNICA - COMPACTADA
6A1	RIP-RAP DE ROCHA SÃ

LEGENDA:

- RN - REFERÊNCIA DE NÍVEL
- MS - MARCO SUPERFICIAL (PLANTA)
- MS - MARCO SUPERFICIAL (SEÇÃO)
- MV - MEDIDOR DE VAZÃO
- PZ - PIEZÔMETRO (PLANTA)
- PZ - PIEZÔMETRO (EM SEÇÃO)



SEÇÕES E INSTRUMENTAÇÃO DO DIQUE 01-C

MUNICÍPIO: ALTAMIRA - PA ESCALA: S/ESC DATA: 2017

REVISÕES: **Inter** **techn** **ENGEVIX** **PCE**
Projetos e Consultorias de Eng.

3.3.2 Evidências e potenciais situações de emergência dos diques 01-A, 01-B e 01-C

As situações de emergência que porventura podem ocorrer nos Diques estão associadas a um conjunto limitado de causas, que por sua vez apresentam algumas evidências que possibilitam sua identificação. Algumas das possíveis causas e suas evidências encontram-se apresentadas no quadro 6.

Quadro 6 - Causas e evidências associadas aos modos de falha possíveis de ocorrer nos diques

Modo de Falha	Causa	Evidências
Galgamento	Falha nas comportas e equipamentos eletromecânicos associados	Deficiências eletromecânicas constatadas nos testes das comportas.
	Evento de magnitude excepcional	Ocorrência de eventos naturais (precipitações e sismos) de magnitude excepcional.
Erosão Interna pelo maciço ou pela fundação (Percolação não controlada de água (piping))	Falha do sistema de drenagem interna	Surgências de água.
		Carreamento de partículas.
		Aumento das poropressões (leitura dos piezômetros).
		Redução das vazões /leitura dos medidores
	Gradientes hidráulicos elevados	Subsidência (sinkhole), buraco tipo sumidouro formado pelo arraste do material de fundo.
		Surgências de água.
		Carreamento de partículas.
		Aumento ou redução das poropressões (leitura dos piezômetros).
	Caminhos de percolação criados por vegetação e/ou animais	Aumento ou redução das vazões (leitura dos medidores de vazão).
		Subsidência (sinkhole), buraco tipo sumidouro formado pelo arraste do material de fundo.
Instabilização Global	Baixa resistência do material do maciço / fundação	Presença de vegetação arbustiva nos taludes e junto ao pé da barragem.
		Presença de tocas de animais.
		Recalque diferencial do maciço.
		Surgimento de trincas e/ou erosões.
	Elevação das poropressões	Subsidência (s).
		Visualização de superfície crítica de ruptura.
		Leitura de piezômetros.
		Leitura dos medidores de vazão.
		Saturação do maciço.

Quadro 6 - Causas e evidências associadas aos modos de falha possíveis de ocorrer nos diques (continuação)

Instabilização Global	Eventos sísmicos	Recalque diferencial do maciço.
		Surgimento de trincas e/ou erosões.
		Subsidência (s).
		Visualização de superfície crítica de ruptura.
Instabilização Localizada	Falha na proteção superficial do talude	Formação de sulcos erosivos / ravinamento pela passagem de água pluvial.
		Falha na proteção superficial de taludes.
		Surgimento de trincas e/ou erosões.
		Visualização de superfície de ruptura.
	Falha no sistema de drenagem superficial	Obstrução de canaletas e caixas de passagem.
		Quebra de estruturas de condução de água pluvial.
	Ondas no reservatório e variações no NA	Remoção de blocos do rip rap.
		Escorregamento de blocos do enrocamento.

Fonte: Plano De Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016)

O conjunto limitado de causas que pode ocorrer nos diques estão intimamente ligadas as estruturas de terra e/ou enrocamento. Logo, as seções são homogênea em solo compactado. Cabe destacar que as evidências para cada causa apresentada são somente um indicativo inicial, devendo ser avaliado, por profissional treinado, toda e qualquer anomalia identificada.

Para cada modo de falha há a classificação de acordo com os níveis de segurança e risco de ruptura, conforme código de cores padrão da nota técnica nº 59/2013 da ANEEL e Níveis de Emergência que podem variar entre (NE-1, NE-2, NE-3 e NE-4). As fichas de emergências descritas estão no anexo B desta dissertação.

3.3.3 Auscultação dos diques 01-A, 01-B e 01-C

Os procedimentos de auscultação têm como finalidade permitir a implantação de medidas anteriores à ocorrência de qualquer emergência na barragem, mitigando a possibilidade de uma situação emergencial e de todas as consequências associadas ao cenário com ela relacionadas.

Neste sentido, estes procedimentos devem estar em consonância com o Plano de Segurança da Barragem, que contém os manuais de procedimentos dos

roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento, além dos relatórios de inspeções regulares e de revisão da segurança da barragem.

Em linhas gerais, para o tipo da estrutura em questão, estes procedimentos consistem dos mencionados a seguir.

3.3.3.1 Auscultação dos diques – Por inspeção visual

Nas inspeções de campo são avaliadas as condições de segurança dos diques, utilizando-se questionários de verificação, agrupados em 7 modalidades (*check lists*), sendo elas:

- (1) Condições operacionais
- (2) Talude de montante
- (3) Crista
- (4) Talude de jusante
- (5) Ombreiras
- (6) Instrumentação de auscultação
- (7) Faixa de Jusante

As tabelas de verificações de segurança foram desenvolvidas pela UHE Belo Monte e contempla um quadro de cores que indica como deve proceder e auxilia uma ação adequada de comunicação conforme legenda abaixo.

LEGENDA:



Anomalia Requer Monitoramento



Anomalia Requer Reparo



Anomalia Requer Ação Corretiva em Curto Prazo



Anomalia Requer Ação Emergencial, Reparo Imediato

1) Condições Operacionais:

Na modalidade 1, referente as condições operacionais, o *check list* deverá especificar o nome da estrutura, data e responsável pela inspeção. Em seguida são inspecionados onze itens (descritos na coluna 1), posteriormente a existência ou não da anomalia ou condição vistoriada e se a mesma é vista pela primeira vez, ou desapareceu, ou diminuiu, ou permaneceu constante ou aumentou com a opção ainda de inserir imagem (última coluna). Já a sequência de cores indica como deve proceder (Tabela 15)

Tabela 15 - Check-list das condições operacionais

ESTRUTURA INSPECIONADA:				Dique 01-A, 01-B e 01-C					
DATA:									
RESPONSÁVEL PELA VERIFICAÇÃO:						Ass:			
ITENS INSPECIONADOS	SIM	NÃO	PV	DS	DI	PC	AU	FOTO	
Falta de documentação sobre a barragem									
Falta de manutenção das estruturas civis									
Falta de manutenção dos instrumentos									
Piezômetros em nível de atenção ou alerta									
Aumento ou redução repentina dos níveis piezométricos									
Medidores de vazão com vazão acima dos níveis de atenção ou alerta									
Boas condições das estradas de acesso									
Boas condições de acesso para a inspeção									
Falta ou deficiência de placas de sinalização									
Residências nas ombreiras da barragem									
Estoque estratégico disponível									
OBSERVAÇÕES:									

Fonte: Norte Energia (2019)

2) Talude De Montante:

Na modalidade 2, referente ao talude de montante o *check list* deverá especificar o nome da estrutura, data e responsável pela inspeção. Em seguida são inspecionados nove itens (descritos na coluna 1), posteriormente a existência

ou não da anomalia ou condição vistoriada e se a mesma é vista pela primeira vez, ou desapareceu, ou diminuiu, ou permaneceu constante ou aumentou com a opção ainda de inserir imagem (última coluna). Já a sequência de cores indica como deve proceder. (Tabela 16)

Tabela 16 - Check-list do talude de montante

ESTRUTURA INSPECIONADA:		Dique 01-A, 01-B e 01-C						
DATA:								
RESPONSÁVEL PELA VERIFICAÇÃO:		Ass:						
ITENS INSPECIONADOS	SIM	NÃO	PV	DS	DI	PC	AU	FOTO
NA do Reservatório próximo da El. 97,40 m								
Água bem turva								
Erosão superficial								
Indícios de escorregamentos								
Indícios de deslocamento de blocos								
Depressões ou afundamentos								
Desagregação de blocos de rocha								
Blocos de rocha bem imbricados								
Presença de árvores ou arbustos								
OBSERVAÇÕES:								

Fonte: Norte Energia (2019)

3) Crista:

Na modalidade 3, referente a crista, o *check list* deverá especificar o nome da estrutura, data e responsável pela inspeção. Em seguida são inspecionados oito itens (descritos na coluna 1), posteriormente a existência ou não da anomalia ou condição vistoriada e se a mesma é vista pela primeira vez, ou desapareceu, ou diminuiu, ou permaneceu constante ou aumentou com a opção ainda de inserir imagem (última coluna). Já a sequência de cores indica como deve proceder. (Tabela 17).

Tabela 17 - Check-list da crista

ESTRUTURA INSPECIONADA:		Dique 01-A, 01-B e 01-C						
DATA:								

Indícios de surgência d'água								
Surgência d'água com carreamento de partículas								
Ocorrência de umidade								
Presença de árvores ou arbustos								
Presença de sinkhole (sumidouro)								
Ocorrência de sand boils (erupções de areia)								
Bermas em boas condições								
Proteção Vegetal adequada								
Tocas de animais/ cupinzeiros / formigueiros								
DRENO DE PÉ E CANALETA DE DRENAGEM								
Blocos de rocha bem imbricados								
Desagregação de blocos de rocha								
Contaminação superficial do dreno de pé (solo)								
Deficiências na proteção lateral das canaletas								
Presença de árvores ou arbustos								
Ocorrência de assoreamento das canaletas								

PV: Anomalia constatada pela primeira vez; **DS:** Anomalia desapareceu; **DI:** Anomalia diminuiu; **PC:** Anomalia permaneceu constante; **AU:** Anomalia aumentou.

OBSERVAÇÕES:

Fonte: Norte Energia (2019)

5) Ombreira:

Na modalidade 5, referente as ombreiras, o *check list* deverá especificar o nome da estrutura, data e responsável pela inspeção. Em seguida são inspecionados nove itens (descritos na coluna 1), posteriormente a existência ou não da anomalia ou condição vistoriada e se a mesma é vista pela primeira vez, ou desapareceu, ou diminuiu, ou permaneceu constante ou aumentou com a opção ainda de inserir imagem (última coluna). Já a sequência de cores indica como deve proceder (Tabela 19).

Tabela 19 - Check-list das ombreiras

ESTRUTURA INSPECIONADA:		Dique 01-A, 01-B e 01-C						
DATA:								
RESPONSÁVEL PELA VERIFICAÇÃO:		Ass:						
ITENS INSPECIONADOS	SIM	NÃO	PV	DS	DI	PC	AU	FOTO
Erosão superficial (ravinamento)								
Existência de depressão								
Ocorrência de fissuras								
Indícios de surgência d'água								
Surgência d'água com carreamento de partículas								
Existência de árvores nas proximidades								
Boas condições de drenagem								
Boas condições de limpeza								
Presença de sinkhole (sumidouro)								
<p>PV: Anomalia constatada pela primeira vez; DS: Anomalia desapareceu; DI: Anomalia diminuiu; PC: Anomalia permaneceu constante; AU: Anomalia aumentou.</p>								
OBSERVAÇÕES:								

Fonte: Norte Energia (2019)

6) Instrumentação De Auscultação:

Na modalidade 6, referente a instrumentação de auscultação o *check list* deverá especificar o nome da estrutura, data e responsável pela inspeção. Em seguida são inspecionados quinze itens (descritos na coluna 1), posteriormente a existência ou não da anomalia ou condição vistoriada e se a mesma é vista pela primeira vez, ou desapareceu, ou diminuiu, ou permaneceu constante ou aumentou com a opção ainda de inserir imagem (última coluna). Já a sequência de cores indica como deve proceder (Tabela 20).

Tabela 20 - Check-list da instrumentação de auscultação

ESTRUTURA INSPECIONADA:		Dique 01-A, 01-B e 01-C						
DATA:								
RESPONSÁVEL PELA VERIFICAÇÃO:		Ass:						
ITENS INSPECIONADOS	SIM	NÃO	PV	DS	DI	PC	AU	FOTO

PIEZÔMETROS E MEDIDORES DE NA								
Boa proteção								
Boas condições de acesso								
Limpeza adequada								
Identificação adequada								
Instrumentos em boas condições								
MEDIDORES DE VAZÃO								
Boa proteção								
Boas condições de acesso								
Limpeza adequada								
Identificação adequada								
Instrumentos em boas condições								
MARCOS SUPERFICIAIS E RN's								
Boa proteção								
Boas condições de acesso								
Limpeza adequada								
Identificação adequada								
Instrumentos em boas condições								

PV: Anomalia constatada pela primeira vez; **DS:** Anomalia desapareceu; **DI:** Anomalia diminuiu; **PC:** Anomalia permaneceu constante; **AU:** Anomalia aumentou.

OBSERVAÇÕES:

Fonte: Norte Energia (2019)

7) Faixa De Jusante:

Na modalidade 7, referente a faixa de jusante, o *check list* deverá especificar o nome da estrutura, data e responsável pela inspeção. Em seguida são inspecionados doze itens (descritos na coluna 1), posteriormente a existência ou não da anomalia ou condição vistoriada e se a mesma é vista pela primeira vez, ou desapareceu, ou diminuiu, ou permaneceu constante ou aumentou com a opção ainda de inserir imagem (última coluna). Já a sequência de cores indica como deve proceder. (Tabela 21)

Tabela 21 - Check-list da faixa de jusante

ESTRUTURA INSPECIONADA:	Dique 01-A, 01-B e 01-C
DATA:	
RESPONSÁVEL PELA VERIFICAÇÃO:	Ass:

ITENS INSPECIONADOS	SIM	NÃO	PV	DS	DI	PC	AU	FOTO
Erosão superficial								
Boas condições canaletas de drenagem								
Desagregação de blocos de rocha								
Blocos de rocha bem imbricados								
Indícios de surgência d'água								
Surgência d'água com carreamento de partículas								
Ocorrência de umidade								
Presença de árvores ou arbustos								
Presença de sinkhole (sumidouro)								
Ocorrência de sand boils (erupções de areia)								
Boa limpeza da faixa de jusante								
Formação de lagoa na faixa de jusante								

PV: Anomalia constatada pela primeira vez; **DS:** desapareceu; **DI:** Anomalia diminuiu; **PC:** Anomalia permaneceu constante; **AU:** Anomalia aumentou.

OBSERVAÇÕES:

Fonte: Norte Energia (2019)

As inspeções de campo consistem em percorrer a crista da estrutura, as bermas intermediárias e o pé de jusante. No período entre 22 a 26 de Outubro de 2018, referente a primeira visita a Belo Monte, foi elaborado juntamente com o técnico e assistente de área sênior do setor de segurança de barragens, o colaborador Josielso Balieiro Borges, os *check lists* do Dique 01-A.

3.3.3.2 Auscultação do diques 01-A, 01-B e 01-C – Por instrumentação

Os instrumentos permitem monitorar e detectar a ocorrência de eventuais anomalias, durante a fase de enchimento do reservatório e período operacional da usina. A concepção do sistema de monitoramento dos diques pela instrumentação não considera um sistema automatizado de obtenção de dados. O processo de aquisição de dados prevê a realização de leituras diretas dos instrumentos, cujos dados deverão ser armazenados em arquivos eletrônicos, geralmente em planilhas eletrônicas do tipo Excel, da Microsoft, com atualização imediata dos valores e gráficos com a relação leituras x tempo. Nos registros de rotina deverão constar: data, hora e leitura do instrumento, níveis de água de montante do dique.

A auscultação por instrumentação geotécnica dos diques incluiu piezômetros de tubo aberto (Casagrande), marcos superficiais, medidores triangulares de vazão, medidor de recalque magnético e referência de nível. Estes instrumentos são apresentados resumidamente a seguir.

a) Piezômetro de tubo aberto (Casagrande)

A observação das subpressões na fundação é de suma importância para a supervisão de suas condições de segurança, tendo em vista que a estabilidade dessas estruturas é diretamente afetada pelo nível das pressões piezométricas a jusante do filtro vertical.

a.1) Dique 01-A:

O monitoramento das pressões piezométricas a jusante do filtro vertical é feita pelos piezômetros PZ-D01A-01 a 04. Sendo que os PZ-D01A-01 e 03 monitoram as subpressões no nível do tapete drenante e os PZ-D01A-02 e 04 monitoram as subpressões dentro do maciço da fundação. Os piezômetros PZ-D01A-05 e 06 monitoram a linha freática, na fundação, a jusante da trincheira drenante, conforme apresentados no quadro 7.

Quadro 7 - Localização dos Piezômetros tipo Casagrande Dique 01-A

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação	Material a ser instrumentado
PZ-D01A-01	5+8,70	12,72(J)	74,04	Filtro horizontal
PZ-D01A-02	5+8,70	12,72(J)	67,97	Fundação
PZ-D01A-03	5+8,46	24,11(J)	74,03	Filtro horizontal
PZ-D01A-04	5+8,46	24,11(J)	68,11	Fundação
PZ-D01A-05	3+7,50	71,34(J)	74,46	Jusante
PZ-D01A-06	7+4,44	70,65(J)	73,44	Jusante

Fonte: Manual de Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-A. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.5 (2017).

a.2) Dique 01-B

O monitoramento das pressões piezométricas a jusante do filtro vertical é feita pelos piezômetros PZ-D01B-01 a 04. Sendo que o PZ-D01B-01 monitora as

subpressões no nível do tapete drenante e o PZ-D01B-02 monitoram a subpressões dentro do maciço da fundação. Os piezômetros PZ-D01B-03 e 04 monitoram a linha freática, na fundação, a jusante da trincheira drenante, conforme apresentados no quadro 8.

Quadro 8 - Localização dos Piezômetros tipo Casagrande Dique 01-B

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique (m)	Cota de Instalação	Material a ser Instrumentado
PZ-D01B-01	3+10,00	6,50(J)	96,18	Filtro Horizontal
PZ-D01B-02	3+10,00	6,50(J)	93,17	Fundação
PZ-D01B-03	3+10,00	28,00(J)	86,86	Jusante
PZ-D01B-04	3+10,00	36,90(J)	85,41	Jusante

Fonte: Manual de Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-B. RI3-D01B-ITT-CIO-MA-0001 (2017 p. 5)

a.3) Dique 01-C:

O monitoramento das pressões piezométricas a jusante do filtro vertical é feita pelos piezômetros PZ-D01C-01 a 07. Sendo que os PZ-D01C-01, 03 e 05 monitoram as subpressões no nível do tapete drenante e os PZ-D01C-02, 04, 06 e 07 monitoram as subpressões dentro do maciço da fundação. Os piezômetros PZ-D01C-08 a 13 monitoram a linha freática, na fundação, a jusante da trincheira drenante. conforme apresentados no quadro 9.

Quadro 9 - Localização dos Piezômetros tipo Casagrande Dique 01-C

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação	Material a ser instrumentado
PZ-D01C-01	18+18,00	21,50(J)	71,94	Filtro horizontal
PZ-D01C-02	18+18,00	21,50(J)	66,95	Fundação
PZ-D01C-03	25+0,00	21,50(J)	65,9	Filtro horizontal
PZ-D01C-04	32+13,00	21,50(J)	73,23	Filtro horizontal
PZ-D01C-05	32+13,00	21,50(J)	65,19	Fundação
PZ-D01C-06	25+0,00	66,50(J)	65,27	Filtro horizontal
PZ-D01C-07	6+1,31	36,70(J)	79,64	Jusante
PZ-D01C-08	6+0,75	108,55(J)	75,79	Jusante

PZ-D01C-09	9+5,39	23,45(J)	86,97	Jusante
PZ-D01C-10	18+19,48	89,16(J)	67,34	Jusante
PZ-D01C-11	22+4,26	96,80(J)	67,28	Jusante
PZ-D01C-12	34+8,80	83,50(J)	65,63	Jusante
PZ-D01C-13	36+18,00	48,00(J)	77,72	Jusante

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-C. RI3-D01C-ITT-CIO-MA-0001 p.6 (2017)

b) Marcos Superficiais

Os deslocamentos horizontais dos marcos superficiais deverão ser medidos através de colimações geodésicas, enquanto que os deslocamentos verticais (recalques) serão medidos através de nivelamentos de precisão. As leituras poderão ser feitas através de estação total desde que o aparelho possua acurácia de ± 3 mm para distâncias da ordem de 400 m.

b.1) Dique 01-A:

Foram instalados 4 marcos superficiais na crista e talude de jusante do Dique 01-A, eles terão a função de monitorar os deslocamentos horizontais e verticais da estrutura. No quadro 10, apresentam-se os pontos e as elevações selecionadas para a instalação dos marcos.

Quadro 10 - Localização dos Marcos Superficiais Dique 01-A

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique (m)	Cota de Instalação
MS-D01A-01	2+12,17	2,53(J)	100,32
MS-D01A-02	5+8,74	2,86(J)	100,27
MS-D01A-03	8+4,17	2,56 (J)	100,31
MS-D01A-04	5+11,29	22,07(J)	91,21

Fonte: Manual de Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-A. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.6 (2017)

b.2) Dique 01-B:

Foram instalados 5 marcos superficiais na crista e talude de jusante do dique, eles terão a função de monitorar os deslocamentos horizontais e verticais

da estrutura. No quadro 11, apresentam-se os pontos e as elevações selecionadas para a instalação dos marcos.

Quadro 11 - Localização dos Marcos Superficiais Dique 01-B

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique (m)	Cota de Instalação
MS-D01B-01	2+5,09	3,55(J)	100,44
MS-D01B-02	3+10,04	3,497(J)	100,326
MS-D01B-03	4+15,04	3,51(J)	100,37
MS-D01B-04	2+8,52	8,54(J)	99,26
MS-D01B-05	4+5,57	8,35(J)	99,40

Fonte: Manual de Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-A. RI3-D01A-ITT CIO-MA-0001 p.6 (2017)

b.3) Dique 01-C:

Foram instalados 8 marcos superficiais na crista do dique 01-C, eles terão a função de monitorar os deslocamentos horizontais e verticais da estrutura. No quadro 12, apresentam-se os pontos e as elevações selecionadas para a instalação dos marcos.

Quadro 12 - Localização dos Marcos Superficiais Dique 01-C

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique (m)	Cota de Instalação
MS-D01C-01	5+19,93	2,98(J)	100,09
MS-D01C-02	12+2,98	2,44(J)	100,21
MS-D01C-03	18+18,33	3,02(J)	100,26
MS-D01C-04	24+19,94	2,68(J)	100,31
MS-D01C-05	32+12,74	2,79(J)	100,36
MS-D01C-06	18+17,62	44,16(J)	80,73
MS-D01C-07	24+19,97	45,08(J)	80,11
MS-D01C-08	32+13,75	45,03(J)	80,06

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-C. RI3-D01A-ITT- CIO-MA-0001 p.7 (2017)

c) Medidores Triangulares de Vazão

A medição das vazões de infiltração pela fundação e pelo maciço dos diques constitui uma das grandezas mais importantes a serem supervisionadas na fase de enchimento do reservatório e no período de operação. As observações

de maior quantidade de água infiltrada e de carreamento de material fino refletem alguns dos problemas que podem acontecer com esse tipo de estrutura.

c.1) Dique 01-A:

O Dique em questão conta com 1 medidor de vazão na região de jusante (Quadro 13), junto à saída de drenagem, de forma que se possam avaliar as infiltrações que deverão ocorrer através dos maciços. Geralmente, as infiltrações em diques e barragens ocorrem pela fundação ou pelos filtros.

Quadro 13 - Localização do Medidor de Vazão Dique 01-A

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
MV-D01A-01	5+6,91	49,52(J)	82,78

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-A. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.6 (2017).

c.2) Dique 01-B:

O Dique 01-B conta com 1 medidor de vazão na região de jusante (Quadro 14), junto à saída de drenagem, de forma que se possam avaliar as infiltrações que deverão ocorrer através dos maciços.

Quadro 14 - Localização do Medidor de Vazão Dique 01-B

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
MV-D01B-01	3+4,40	22,93(J)	91,00

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-B. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.6 (2017).

c.3) Dique 01-C:

Foram instalados 3 medidores de vazão na região de jusante do dique 01-C, junto às saídas de drenagem, de forma que se possam avaliar as infiltrações que deverão ocorrer através dos maciços. As posições dos medidores são apresentadas no quadro 15.

Quadro 15 - Localização do Medidor de Vazão Dique 01-C

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
MV-D01C-01	24+10,95	81,45(J)	69,45
MV-D01C-02	27+15,15	80,50(J)	69,10
MV-D01C-03	34+2,70	82,50(J)	69,70

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-C. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 (2017, p. 7).

d) Referência de Nível

As referências de nível são pontos indeslocáveis que servem de apoio para fixação do teodolito/estação total para realização de levantamentos topográficos. Todas as referências de nível deverão ser protegidas através de tampas metálicas.

d.1) Dique 01-A, 01-B e 01-C:

As referências de nível localizadas nas ombreiras do Dique 01-A, 01-B e 01-C são os pontos de apoio na leitura dos marcos superficiais. Foram instaladas de modo a garantir que sua haste metálica atinja a superfície de rocha, tornando-as pontos indeslocáveis. As posições das referências de nível de cada dique são apresentadas nos quadros 16, 17 e 18.

Quadro 16 - Localização das Referências de Nível Dique 01-A

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
RN-D01A-01	0+7,30	21,98(J)	103,9
RN-D01A-02	10+14,68	22,27(J)	107,91

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-A. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.7 (2017).

Quadro 17 - Localização das Referências de Nível Dique 01-B

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
RN-D01B-01	0+8,31	20,81(J)	103,15
RN-D01B-02	5+18,82	17,40(J)	102,02

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-B . RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.7 (2017).

Quadro 18 - Localização das Referências de Nível Dique 01-C

Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
RN-D01C-01	00 -8,19	11,30(M)	104,08
RN-D01C-02	38+9,34	29,79 (J)	101,14

Fonte: Manual De Instrumentação BELO MONTE - Dique 01-C. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.8 (2017).

3.3.3.3

Frequências de Leitura dos instrumentos dos Dique 01-A, 01-B e 01-C

As frequências de leitura dos instrumentos de auscultação dos Diques são apresentadas no Quadro 19, para os períodos de construção, enchimento do reservatório, primeiro ano de operação e operação. As frequências de leitura apresentadas devem ser entendidas como mínimas e serem intensificadas sempre que forem observadas leituras que superem o valor de atenção, ou outras ocorrências excepcionais, que resultem em variações acentuadas de leituras como, rebaixamento rápido do reservatório, cheias excepcionais, sismo sensível na área do dique, comportamento anômalo ou suspeito da estrutura ou de algum instrumento, eventos que impliquem em carregamento ou descarregamento anormal das estruturas do barramento.

A fase de enchimento do reservatório é o período em que os diques passaram a entrar em carga total pela primeira vez, sendo considerado este um dos períodos mais críticos na sua vida útil. A auscultação nessa fase assume um papel importante, pois permite um diagnóstico preciso do comportamento da obra, possibilitando, com antecedência, a detecção de eventuais anomalias não previstas no projeto, que podem comprometer sua integridade, tais como deformações, subpressões, vazões de percolação excessivas e fissuramentos.

Particularmente para a fase de enchimento do reservatório, poderá ser necessária a intensificação das leituras dos instrumentos de auscultação do dique, em função do ritmo de enchimento do reservatório. As decisões sobre eventuais alterações ficam a cargo das equipes de campo.

No período operacional a instrumentação, aliada às inspeções visuais, fornece parâmetros para que se avalie o desempenho das estruturas ao longo do período de operação do reservatório, tendo-se uma maior frequência de leitura no primeiro ano de operação. Caso algum instrumento esteja apresentando leituras

anômalas, a frequência de leitura deste instrumento deve ser intensificada, bem como as devidas inspeções, até que se descubra o motivo que gerou as leituras discrepantes, voltando à frequência normal depois de solucionado o problema (Quadro 19).

Quadro 19 - Frequências de leitura dos instrumentos dos Diques 01-A, 01-B e 01-C

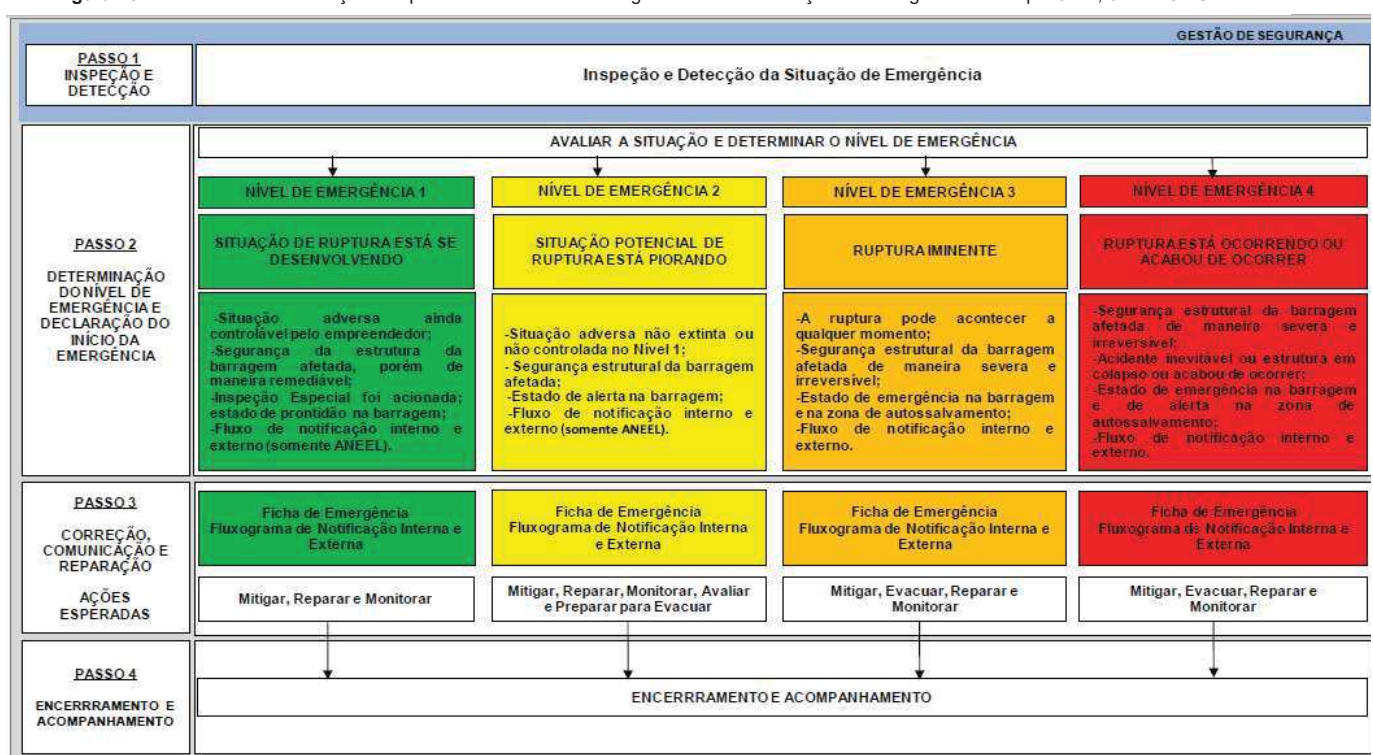
INSTRUMENTO	CONSTRUTIVO	PERÍODO		
		ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO	PRIMEIRO ANO DE OPERAÇÃO	OPERAÇÃO
Piezômetros de tubo aberto	1 leitura quinzenal	1 Leitura a cada 2 dias	2 leituras semanais	1 leitura quinzenal
Medidor Triangular de Vazão	-	1 Leitura a cada 2 dias	Leituras diárias	1 leitura semanal
Marcos Superficiais e de Referência	1 leitura semanal	1 Leitura semanal	1 leitura mensal	1 leitura semestral

Fonte: Manual De Instrumentação - Diques. RI3-D01A-ITT-CIO-MA-0001 p.16 (2017)

3.3.4 Gestão de Riscos dos Diques 01-A, 01-B e 01-C

A gestão de riscos dos diques é sumarizada na figura 26 através de níveis inseridos dentro de um sistema de Gestão de Segurança, desde o procedimento de inspeção e detecção com classificação dos níveis de emergência até as ações de tratamento. Esse é o sistema de gestão adotado pela equipe de segurança de barragem do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte.

Figura 26 - Resumo e caracterização dos procedimentos a serem seguidos em uma situação de emergência dos dique 01-A, 01-B e 01-C



Fonte: Plano De Ações Emergenciais - PAE BELO MONTE (2016)

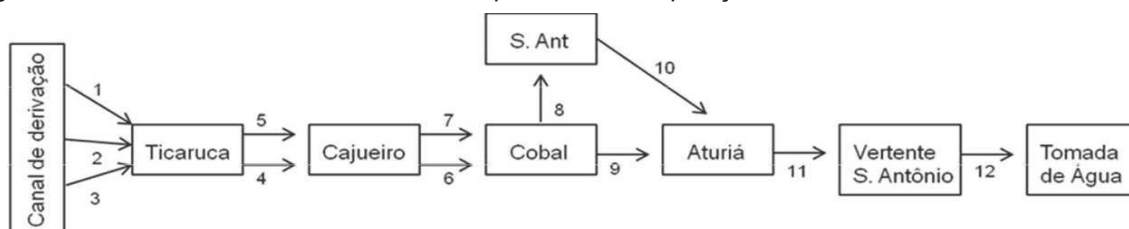
3.4 Acompanhamento do enchimento dos reservatórios

O enchimento do canal de derivação e do reservatório intermediário da UHE Belo Monte representou um dos marcos fundamentais do empreendimento. O processo de enchimento avançou até o nível de água junto à tomada de água atingir a elevação 97,0 m, porém a partir do nível de água 95,0 m já era possível iniciar as atividades de comissionamento das unidades geradoras de Belo Monte. Apesar de se estabelecer esta elevação de referência algumas atividades de comissionamento poderiam ser realizadas durante o processo de enchimento antes de se atingir a referida elevação.

Para a formação do reservatório intermediário foram construídos 28 diques de contenção que barram as selas e os talwegues dos igarapés. Os diques têm seção homogênea em terra e são construídos com solos provenientes de áreas de empréstimo localizadas, quase que em sua totalidade, dentro da área inundada, de forma a causar o mínimo impacto ambiental ou mesmo aproveitando as escavações realizadas para os canais de transposição.

Em linhas gerais, o reservatório intermediário é composto por oito bacias hidrográficas interligadas por sete canais de transposição, três canais de enchimento e dois divisores de água (transposição natural entre bacias). De forma esquemática, o sistema de bacias e canais que compõe o reservatório intermediário, é mostrada na Figura 27.

Figura 27 - Reservatório Intermediário – Esquema de transposição entre bacias - UHE Belo Monte



Fonte: Procedimento Para Enchimento - Reservatório Intermediário. CA3-CV00-ITT-CHH-RT-0001 (2015, p. 6).

Foi através do controle de comportas do vertedouro de enchimento que manteve a vazão definida para cada uma das etapas de enchimento do sistema.

O vertedouro foi dimensionado para a vazão máxima de 1000 m³/s, considerando o nível de água no reservatório de Pimental na elevação 97,0 m.

Como condição para diminuir os efeitos erosivos devido ao processo de enchimento, determinou-se que a etapa inicial do enchimento dos vales fosse realizada com vazões gradualmente crescentes até a vazão de 200 m³/s. A vazão efluente do vertedouro de enchimento somente passou para 500 m³/s quando o nível de água nos vales do reservatório intermediário atingisse a elevação 71,0 m. Essa vazão foi mantida até que o nível de água nessas bacias atingisse a elevação 75,0 m. A partir deste momento o enchimento procedeu com as duas comportas do vertedouro totalmente abertas (com uma vazão de até 1.000 m³/s).

Para garantir um adequado processo de enchimento do sistema foi importante ter uma atenção especial ao acompanhamento contínuo dos níveis de água nas diversas réguas milimétricas instaladas ao longo do Canal de Derivação e do Reservatório Intermediário a fim de possibilitar uma correta operação das comportas do vertedouro. Além de leitura de réguas e instrumentos foi necessário que durante o processo de enchimento fossem realizadas inspeções visuais das diversas estruturas que compõem o Circuito de Adução de modo a averiguar se estas estruturas estavam se comportando adequadamente durante este processo.

No anexo C é possível verificar a evolução do enchimento do reservatório intermediário distinguindo o previsto do real, onde é possível observar que processo foi dilatado em aproximadamente dez (10) dias, logo, inicialmente era previsto que a cota 95,00m na tomada d'água fosse alcançada em 50 dias e 1 h, mas esse processo aconteceu após 60 dias e 9 h.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para o estudo dos procedimentos de monitoramento de segurança de barragens no cenário de transição entre a implantação e o início da operação do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte, delimitou-se o período partindo da primeira inspeção, realizada em 2015 antes do enchimento dos reservatórios, e seguindo na avaliação das inspeções realizadas após o enchimento nos anos de 2016, 2017 e 2018 dos diques 01-A, 01-B e 01-C.

A classificação dos diques 01-A, 01-B e 01-C situados no sítio Belo Monte, na UHE Belo Monte, quanto à sua categoria de risco e DPA, tem classificação final B, categoria de risco baixa, mas com alto dano potencial associado, conforme ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS – DIQUES 01-A, 01-B E 01-C – PSB/2016, ou seja, em consonância com a Resolução Normativa 696/2015 da ANEEL, para as estruturas classificadas como “B” na Matriz de Classificação de Risco das Barragens, deve-se elaborar um Relatório de Inspeção de Segurança com periodicidade anual. No entanto, a Norte Energia incorporou as inspeções de campo de segurança de barragens às atividades cotidianas, realizadas por equipe própria de profissionais, devidamente capacitados.

A gestão de emergências aplicada a barragens é constituída por um conjunto de ações coordenadas que visam minimizar a magnitude dos possíveis danos devidos a incidentes e acidentes, assegurando a resposta mais adequada durante e após a ocorrência de um evento anômalo à operação da barragem.

Para os diques 01-A, 01-B e 01-C essas ações são duas, sendo elas, as inspeções visuais, juntamente com a análise de leituras da instrumentação da barragem, e representam atividades essenciais para a avaliação do estado de segurança do dique, uma vez que permitem detectar sinais prévios por meio de evidências do que pode vir a se tornar uma emergência.

4.1 Auscultação dos Diques 01-A, 01-B E 01-C por Meio de Inspeções visuais

Para a auscultação dos diques por meio de inspeções visuais, foram analisados 12 *check lists* de cada dique, com 7 modalidades de verificação agrupadas, portanto as análises dentro do período delimitado totalizam 252 verificações de segurança. As inspeções de campo consistem em percorrer a crista da estrutura, as bermas intermediárias e o pé de jusante.

É importante ressaltar que os *check lists* analisados são todos os existentes entre o período de 2015 a 218 da UHE de Belo Monte, e contemplam o enchimento e pós enchimento dos reservatórios. A tabela 22 apresenta o período de inspeção de cada dique.

Tabela 22 – Período dos *Check lists* das Inspeções visuais dos diques 01-A, 01-B e 01-C da UHE Belo Monte

DIQUE 01-A				
ANO	2015	2016	2017	2018
	28/11/2015	30/04/2016	30/01/2017	03/01/2018
PERÍODO		01/06/2016	05/04/2017	21/05/2018
		29/09/2016	12/06/2017	26/10/2018
		21/11/2016	04/10/2017	
QUANTIDADE	1	4	4	3
TOTAL			12	
DIQUE 01-B				
ANO	2015	2016	2017	2018
	28/11/2015	30/04/2016	02/02/2017	09/01/2018
PERÍODO		01/06/2016	04/04/2017	22/05/2018
		30/09/2016	06/06/2017	29/10/2018
		23/11/2016	14/09/2017	
QUANTIDADE	1	4	4	3
TOTAL			12	
DIQUE 01-C				
ANO	2015	2016	2017	2018
	27/11/2015	18/01/2016	02/02/2017	04/01/2018
PERÍODO		01/06/2016	11/04/2017	18/06/2018
		30/09/2016	22/06/2017	01/11/2018
		29/11/2016	06/10/2017	
QUANTIDADE	1	4	4	3
TOTAL			12	

Dados: Norte Energia S.A (2018).

No período de coleta dos dados, ocorreu a terceira inspeção visual de 2018 dos dique 01-A, 01-B e 01-C, todas foram formalizadas no mês de outubro e procedeu com a minha participação juntamente com o técnico e assistente de área sênior do setor de segurança de barragens. No corpo da presente dissertação só aparecerá os itens com ocorrências registradas nos diques 01-A, 01-B e 01-C entre os anos de 2015 a 2018.

4.1.1 Inspeções visuais modalidade condições operacionais

As principais ocorrências dos diques identificadas por meio das inspeções de campo e registradas nos *check lists* na modalidade condições operacionais estão registradas na tabela 23.

Tabela 23 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade condições operacionais entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERÍODO DAS OCORRÊNCIAS											
	2015			2016			2017			2018		
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRÊNCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
Falta de documentação sobre a barragem												
Falta de manutenção das estruturas civis												
Falta de manutenção dos instrumentos												
Piezômetros em nível de atenção ou alerta												
Aumento ou redução repentina dos níveis piezométricos												
Medidores de vazão com vazão acima dos níveis de atenção ou alerta												
Falta condições das estradas de acesso		1			4							
Falta condições de acesso para a inspeção		1			1							
Falta ou deficiência de placas de sinalização	1	1	1	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Residências nas ombreiras da barragem												
Falta estoque estratégico disponível	1	1	1	4	4	4	4	4	4	3	3	3

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

Nas condições operacionais, entre os itens analisados a falta ou deficiência de placas de sinalização e falta de estoque estratégico disponível estiveram presentes em todos os *check lists* dos diques 01-A, 01-B e 01-C, porém, cabe ressaltar que período delimitado para a aplicação da presente pesquisa a obra ainda estava em andamento, ou seja, a central de britagem já existente supria a necessidade de materiais para eventuais intervenções. Já a falta ou deficiência de placas de sinalização será contemplada ao término da intervenção a jusante dos diques 01-A e 01-B.

O dique 01-C, apesar de não ter sofrido nenhuma intervenção após o enchimento do reservatório a não conformidade se manteve em função da simplicidade da mesma, uma vez que apesar de ser um item obrigatório a ser inspecionado dentro das condições operacionais, a deficiência de sinalização e estoque para eventuais intervenção não prejudicam a segurança da estrutura. Entretanto, esses itens obrigatoriamente serão sanados no comissionamento dos barramentos.

Entre os anos de 2015 a 2016, o dique 01-B foi o único que apresentou não conformidades nos itens de condições de acesso a estrutura e a inspeções, registradas respectivamente cinco e duas vezes em diferentes *check lists* no período supracitado. Porém, ainda no ano de 2016 a equipe de manutenção solucionou as pendências.

4.1.2 Inspeções visuais modalidade talude a montante

As principais ocorrências dos diques identificadas por meio das inspeções de campo e registradas nos *check lists* na modalidade talude a montante estão registradas na tabela 24.

Tabela 24 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade talude de montante entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERIODO DAS OCORRENCIAS											
	2015			2016			2017			2018		
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRENCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
NA do Reservatório próximo da EI. 97,40 m												
Água bem turva												
Erosão superficial											2	
Indícios de escorregamentos												
Indícios de deslocamento de blocos												
Depressões ou afundamentos				1	2							
Desagregação de blocos de rocha												
Blocos de rocha mal imbricados												
Presença de árvores ou arbustos										2	2	

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

No talude de montante, entre os itens analisados os diques 01-A e 01-C houve o registro de depressões ou afundamento de blocos nos *check lists* de setembro de 2016, porém, a anomalia foi sanada antes do último *check lists* do mesmo ano que aconteceu no mês de novembro. Já nos dois primeiros *check lists* de 2018 nas inspeções das mesmas estruturas foi detectado a presença de árvores ou arbustos, essa não conformidade foi sanada no *check lists* outubro de 2018. É importante ressaltar que quando detectado houve imediatamente a formalização do pedido do setor de segurança de barragens para a equipe de manutenção, uma vez que os diques ainda não haviam sido comissionados.

Já o dique 01-B em todo período estudado apresentou não conformidade em apenas um item, o de erosão superficial, sendo a mesma registrada nos dois primeiros *check list* de 2018 e sanada no terceiro e último *check list* formalizado em outubro do mesmo ano.

Apesar da presença de árvore ou arbusto ser uma situação adversa a harmonia da estrutura e constatada em quatro *check lists*, os apontamentos de não conformidades na verificação de segurança de talude a montante de maior relevância são os que tange depressão e afundamento além da erosão superficial, logo, eles implicam diretamente na relação com o enchimento do reservatório propriamente dito, uma vez que a face do talude a montante sofre as ações

imediatas da carga do reservatório. Conforme o anexo C a cota máxima do reservatório foi alcançado já nas primeiras semanas de 2016.

4.1.3 Inspeções visuais modalidade crista

As principais ocorrências dos diques identificadas por meio das inspeções de campo e registradas nos *check lists* na modalidade crista estão descritas na tabela 25.

Na análise da modalidade crista os diques 01-A, 01-B e 01-C os itens inspecionados sobre a ausência de estaqueamento ao longo da estrutura esteve presente em todos os *check lists*, é recomendável a inserção do estaqueamento definitivo na crista da estrutura, de forma a facilitar a localização dos instrumentos assim como eventuais anomalias. Entretanto, cabe ressaltar que os diques ainda não haviam sido comissionados no período delimitado para a presente dissertação

Tabela 25 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade crista entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERIODO DAS OCORRENCIAS											
	2015			2016			2017			2018		
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRENCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
Estaqueamento ao longo da crista	1	1	1	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Depressão localizada						2						
Presença de <u>sinkhole</u> (sumidouro)												
Fissuras transversais												
Fissuras longitudinais						1						
Indícios de erosão												
Boas condições do pavimento												
Boas condições de drenagem												

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

O dique 01-C foi a única estrutura dentre as estudadas que sofreu depressão localizada e fissuras longitudinais, ambas no ano de 2016 e rapidamente corrigida pelo setor de manutenção. Após correção da anormalidade esses dois itens não voltaram a surgir novamente até o final do ano de 2018.

4.1.4 Inspeções visuais modalidade talude de jusante

Os itens inspecionados em relação ao talude de jusante tiveram pontos críticos delimitados nos anos entre 2015 e 2016 logo após o enchimento do reservatório. No corpo do talude dos diques 01-A, 01-B e 01-C houve a presença de erosão superficial, má condições nas canaletas de drenagem, ocorrências de fissuras superficiais, indícios de surgências de água, berma em má condições e proteção vegetal inadequada. Já no dreno de pé e canaletas de drenagem foram detectadas contaminação superficial do dreno de pé (Solo), deficiência na proteção lateral das canaletas e ocorrências de assoreamento das canaletas. Representadas na tabela 26.

Tabela 26 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade talude de jusante entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERÍODO DAS OCORRÊNCIAS											
	2015			2016			2017			2018		
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRÊNCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
TALUDE												
Erosão superficial				3		4						
Má condições canaletas de drenagem				1	4							
Indícios de escorregamento												
Ocorrência de fissuras superficiais	1											
Depressão ou afundamentos												
Indícios de surgência d'água	1	1				1						
Surgência d'água com carreamento de partículas												
Ocorrência de umidade												
Presença de árvores ou arbustos												
Presença de sinkhole (sumidouro)												
Ocorrência de sand boils (erupções de areia)												
Bermas em má condições				3		2						
Proteção Vegetal inadequada	1	1		3		2						
Tocas de animais/ cupinzeiros / formigueiros												
DRENO DE PÉ E CANALETA DE DRENAGEM												
Blocos de rocha mal imbricados												
Desagregação de blocos de rocha												
Contaminação superficial do dreno de pé (solo)				3		3						
Fluxo de água pelo medidor de vazão												
Deficiências na proteção lateral das canaletas				3	3	2						
Presença de árvores ou arbustos												
Ocorrência de assoreamento das canaletas				3		3						

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

No dique 01-A em 2015 foi registrado a presença de fissuras nos taludes que não estavam hidrossemeados e fissuras por ressecamento, entre as EL. 90m a 100m. Entre 2015 a 2016 nas proximidades das ombreiras os diques 01-A, 01-B e 01-C foram constatados as surgências de água limpa e formação de lagoa, próximo respectivamente dos piezômetros PZ-D01A-06, PZ-D01B-04 PZ-D01C-14, todavia, posteriormente foi certificado que a lagoa a jusante do dique 01-C já existia antes do enchimento do reservatório.

O item sobre proteção vegetal no talude de jusante também apareceu em todos os diques entre os anos de 2015 a 2016, contudo era o esperado, uma vez que as estruturas estavam prontas a menos de um ano e a proteção vegetal ainda estava em fase de crescimento.

Já em 2016 foram registrados erosão superficial, berma em má condições, contaminação superficial do dreno de pé, má condições e proteção nas canaletas de drenagem associadas a ocorrência de assoreamento via canaletas nos diques 01-A, 01-B e 01-C. Essas não conformidades foram resultados da falta da proteção vegetal descrita no parágrafo anterior. Ou seja, devido à deficiência de proteção vegetal que estava em desenvolvimento.

Todas as ocorrências entre 2015 a 2016 para os itens de avaliação sobre o talude de jusante se mantiveram até o terceiro *check lists* datado setembro de 2016, porém, a partir do *check lists* de novembro de 2016 todos os eventos foram sanados e não voltaram a aparecer a partir de 2017 até o *check lists* de outubro de 2018.

4.1.5 Inspeções visuais modalidade ombreiras

As principais ocorrências dos diques identificadas por meio das inspeções de campo e registradas nos *check lists* na modalidade ombreira estão descritas na tabela 27.

O dique 01-A, no *check list* datado em 28/11/2015 houve o primeiro registro de indícios de surgências d'água, o relatório daquele período formalizou que nas proximidades da ombreira esquerda do dique foi constatado a surgência de água limpa e formação de lagoa, próximo ao PZ-D01A-06. De imediato a equipe de manutenção interviu e essa anomalia não voltou a apresentar nos relatórios seguintes.

Após o período do enchimento do reservatório, a partir do último *check list* de 2016 foi detectado erosão superficial (ravinamento) nas ombreiras do dique 01-A em sete *check list* entre os anos de 2016 a 2018, a mesma não conformidade alcançou os diques 01-B e 01-C, porém, em incidências menores sendo respectivamente um *check list* em 2016 e dois *check list* em 2018.

Tabela 27 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade ombreiras entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERIODO DAS OCORRENCIAS											
	2015			2016			2017			2018		
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRENCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
	2015	2016	2016	2016	2017	2017	2017	2018	2018	2018	2018	2018
Erosão superficial (ravinamento)			1	1		4			2			2
Existência de depressão												
Ocorrência de fissuras												
Indícios de surgência d'água	1											
Surgência d'água com carreamento de partículas												
Inexistência de árvores nas proximidades		1			2							
Má condições de drenagem			1			4			2			2
Má condições de limpeza												
Presença de sinkhole (sumidouro)												

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

A inexistência de árvores nas proximidades das ombreiras também foram ocorrências contra a harmonia da estrutura para os diques 01-B e 01-C, todavia, cabe ressaltar que o período registrado esse evento foi justamente no primeiro ano após a construção do barramento e enchimento do reservatório, árvores foram plantadas e a não conformidade não voltou a aparecer nos *check list dos anos de 2017 e 2018*.

Ocorrências como má condições de drenagem superficial, foi registrada nos diques 01-A e 01-C, entre os anos de 2016 a 2018. Todas oriundas da deficiência de drenagem. Essas anomalias causaram principalmente erosão nas ombreiras dos dois diques, contudo, a partir do terceiro *check list* datado em outubro de 2018 essas não conformidades haviam sido sanada.

4.1.6 Inspeções visuais modalidade instrumentação de auscultação

As principais ocorrências dos diques identificadas por meio das inspeções de campo e registradas nos *check lists* na modalidade instrumentação de auscultação estão descritas na tabela 28.

Tabela 28 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade talude de jusante entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERIODO DAS OCORRENCIAS											
	2015			2016			2017			2018		
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRENCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
PIEZOMETROS E MEDIDORES DE NA												
Má proteção	1	1	1	2	3					2		
Deficiência nas condições de acesso	1	1	1	1	2	4				2	2	2
Limpeza inadequada							1			1		1
Identificação inadequada	1	1	1			1				1		
Instrumentos em má condições												
MEDIDORES DE VAZAO												
Má proteção					4			2				1
Deficiência nas condições de acesso												
Limpeza inadequada						2						
Identificação inadequada	1	1	1	2	2	2						
Instrumentos em má condições												
MARCOS SUPERFICIAIS E RN's												
Má proteção				4	1					3		
Deficiência nas condições de acesso												1
Limpeza inadequada												1
Identificação inadequada	1	1	1		1							
Instrumentos em má condições												

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018).

Entre as ocorrências a com maior frequência foi a deficiência de proteção dos piezômetros, medidores de vazão e marcos superficiais, além dos equipamentos de referência de nível. Essa não conformidade foi recorrente entre os três diques estudados e foram registradas nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018. O grande fator que motivou o excesso desse registro foi o motivo das intervenções a jusante que os diques 01-A e 01-B se submeteram além do não comissionamento das estruturas até o final de 2018.

No que tange a deficiência nas condições de acesso aos equipamentos de instrumentação bastante presente nos *check list* do dique 01-A foi reflexo das escadas serem provisória em madeira. Todos os acessos definitivos estavam programados para serem implantados próximos ao comissionamento dos barramentos, no início do ano de 2019.

A necessidade de limpeza em torno dos instrumentos foram ocorrências registradas nos anos entre 2016 a 2018 exclusivamente nos diques 01-A e 01-C, essa não conformidade ocorre de forma esporádica e pode ser facilmente resolvida por equipes de manutenção.

Já a falha na identificação dos equipamentos ocorreu principalmente nos primeiros meses após o enchimento do reservatório em todos os diques, ainda no ano de 2016 todos os instrumentos haviam sido identificados, entretanto, foi necessário intervir novamente nos casos onde as intempéries climáticas havia danificado a identificação dos aparelhos.

4.1.7 Inspeções visuais modalidade faixa de jusante

As principais ocorrências dos diques identificadas por meio das inspeções de campo e registradas nos *check lists* na modalidade faixa de jusante e estão registradas na tabela 29.

As ocorrências na faixa a jusante estiveram presente desde de o primeiro *check list* datado em novembro de 2015 onde foi registrado erosão superficial, má condições nas canaletas de drenagem, indícios de surgências de água, ocorrência de umidade, presença de árvores ou arbustos, deficiência na limpeza da faixa de jusante e formação de lagoa de jusante nos diques 01-A, 01-B e 01-C.

A formação de lagoa na faixa de jusante é uma ocorrência que tem bastante relevância após um enchimento do reservatório, e foi registrada em todos os *check list* de 2015 e 2016 do dique 01-A, porém, em 2017 foi averiguado que a lagoa existente e registrada nos *check list* anteriores já existia antes do enchimento do reservatório, portanto, esse evento não apareceu nas inspeções de 2017 e 2018. A mesma ocorrência formação de lagoa a faixa de jusante também foi constatada nos *check list* dos diques 01-B e 01-C em todo período de estudo que compreende os anos de 2015 e 2018. E estavam sendo monitoradas para ser adotada a melhor forma de intervenção.

Tabela 29 - Resumo das ocorrências registradas na modalidade faixa de jusante entre 2015 a 2018

ESTRUTURAS INSPECIONADAS	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C	D-01A	D-01B	D-01C
	PERIODO DAS OCORRENCIAS											
	2015	2016			2017			2018				
ITENS INSPECIONADOS COM OCORRENCIAS ADVERSAS A HARMONIA DA ESTRUTURA	QUANTIDADE DE CHECK-LIST											
Erosão superficial			1									
Má condições na canaletas de drenagem	1											
Desagregação de blocos de rocha												
Blocos de rocha mal imbricados												
Indícios de <u>surgência</u> d'água		1	1	4	1	4	4	4	4	2	2	3
<u>Surgência</u> d'água com carreamento de partículas												
Ocorrência de umidade	1			4		2	4	1	4	2	2	3
Presença de árvores ou arbustos	1			4	1	2	4	1	4	2	2	3
Presença de <u>sinkhole</u> (sumidouro)												
Ocorrência de <u>sand boils</u> (erupções de areia)												
Deficiência na limpeza da faixa de jusante	1											
Formação de lagoa na faixa de jusante	1	1	1	4		4		2			2	2

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

Já os indícios de surgência d'água, umidade e presença de árvore ou arbusto foram ocorrência registradas em praticamente todos as inspeções visuais dos diques 01-A, 01-B e 01-C entre 2015 a 2018 e foi a justificativa para decisão de submeter os diques 01-A e 01-B a intervenção a jusante da estrutura. Em ambos os diques foram executados dreno invertidos conforme apêndice a e b no corpo dessa dissertação.

4.2 Auscultação dos Diques 01-A, 01-B E 01-C por meio de instrumentação

Para a auscultação dos diques por meio de instrumentação, foram analisados todos os instrumentos locados no corpo dos barramentos, e as análises das informações disponíveis estão delimitadas entre os anos de 2015 a 2018. O quadro 20 mostra o resumo desses instrumentos de cada estrutura.

Quadro 20 - Resumo dos instrumentos de auscultação dos diques 01-A, 01-B e 01-C da UHE Belo Monte

DIQUE 01-A		
INSTRUMENTO	UNIDADE	QUANTIDADE
PIEZÔMETRO	UNIDADE	6
MARCO SUPERFICIAL	UNIDADE	4
MEDIDOR DE VAZÃO	UNIDADE	1
REFERÊNCIA DE NÍVEL	UNIDADE	2
DIQUE 01-B		
PIEZÔMETRO	UNIDADE	4
MARCO SUPERFICIAL	UNIDADE	5
MEDIDOR DE VAZÃO	UNIDADE	1
REFERÊNCIA DE NÍVEL	UNIDADE	2
DIQUE 01-C		
PIEZÔMETRO	UNIDADE	13
MARCO SUPERFICIAL	UNIDADE	8
MEDIDOR DE VAZÃO	UNIDADE	3
REFERÊNCIA DE NÍVEL	UNIDADE	2

Fonte: Adaptado da Norte Energia S.A (2018)

Os valores de controle das leituras dos instrumentos dos diques 01-A, 01-B e 01-C são divididos, sempre que aplicável, em duas categorias: valores de atenção e valores de alerta. As leituras dos instrumentos que resultam em valores abaixo dos valores de atenção mostram que o comportamento das estruturas deve estar normal e de acordo com os critérios de projeto, segundo os quais foram dimensionadas. Já os valores de alerta indicam os máximos valores aceitáveis para cada instrumento, a partir dos quais deverão ser realizadas análises mais detalhadas de projeto, uma vez que as condições mínimas aceitáveis de segurança podem estar sendo comprometidas.

4.2.1 Instrumentação por piezômetro de tubo aberto (Casagrande)

Os valores de atenção e alerta dos piezômetros foram definidos através de modelagens numéricas, a partir de simulações realizadas para dimensionamento com o software computacional SLOPE/W. Para a definição do valor de atenção

utilizando-se estes modelos, impõe-se a linha freática obtida nos estudos de percolação em regime de operação (N.A. do reservatório na cota Máximo Normal, EL. 97,00). A jusante do filtro vertical considera-se a continuidade da linha freática coincidente com uma hipotética linha de saturação do maciço acima do tapete drenante, que leva a estrutura a apresentar um fator de segurança igual a 1,50 (FS=1,5). Nessa condição, as cargas piezométricas que definem os valores de atenção são obtidas pela diferença entre a linha freática considerada e a cotas de instalação dos instrumentos. Analogamente, para a definição dos valores de alerta aplica-se a mesma metodologia, ajustando-se linha freática, no trecho a jusante do filtro vertical, de modo a se obter um fator de segurança FS=1,3. A tabela 30 abaliza os valores de referência para controle dos piezômetros do dique 01-A.

Tabela 30 - Valores de controle dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-A

Piezômetro	Cota Piezométrica (m)			Carga Piezométrica (mca)		
	Nível de Referência	Valor de Atenção	Valor de Alerta	Nível de Referência	Valor de Atenção	Valor de Alerta
PZ-D01A-01	-	92,33	94,35	-	18,29	20,31
PZ-D01A-02	-	92,33	94,35	-	24,36	26,38
PZ-D01A-03	-	88,22	88,7	-	14,19	14,67
PZ-D01A-04	-	88,22	88,7	-	20,11	20,59
PZ-D01A-05	86,50	-	-	12,04	-	-
PZ-D01A-06	85,50	-	-	12,04	-	-

Fonte: Manual de instrumentação Dique 01-A, Norte Energia: S.A (2018)

Para os piezômetros situados a jusante do dique, PZ-05 e 06, as leituras são consideradas apenas como de referência, uma vez que estes níveis da linha freática nesta região não condicionam a segurança do dique, logo, os mesmos servem para fornecer informações de fluxo da região.

O critério padrão adotado para a determinação do valor de referência de piezômetros instalados a jusante do dique refere-se à cota do terreno natural. No entanto, no Dique 01-A foram observadas surgências de água a jusante, em locais próximos aos piezômetros 05 e 06.

Com o objetivo de impedir que surgências de água que brotam na superfície do terreno do dique 01-A, através de canalículos, desencadeiem um processo de erosão regressiva subterrânea no terreno adjacente ao dique e foi executada uma proteção com filtro invertido nas ombreiras.

Através dos gráficos 01 ao 46, pode-se observar que após um ano do enchimento do reservatório os piezômetros 05 e 06 já se encontram em processo de estabilização. Dessa forma, os valores de referência foram ajustados considerando-se como base os valores de leitura atuais.

Caso as leituras venham a superar o nível de referência revisado, deverá ser providenciada, em um prazo máximo de 24 horas, uma inspeção ao local do instrumento para detectar novos possíveis pontos de surgência na região. Caso sejam detectados tais pontos, deverá ser elaborado um projeto de intervenção para evitar possíveis danos à integridade do dique.

Já a tabela 31 apresenta os valores de controle para todos os piezômetros instalados no dique 01-B.

Tabela 31 - Valores de controle dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-B

Piezômetro	Cota Piezométrica (m)			Carga Piezométrica (mca)		
	Nível de Referência	Valor de Atenção	Valor de Alerta	Nível de Referência	Valor de Atenção	Valor de Alerta
PZ-D01B-01	96,63	-	-	0,45	-	-
PZ-D01B-02	96,63	-	-	3,46	-	-
PZ-D01B-03	94,92	-	-	8,06	-	-
PZ-D01B-04	93,50	-	-	8,09	-	-

Fonte: Manual de instrumentação Dique 01-B, Norte Energia: S.A (2018)

Nos casos dos piezômetros PZ-01 e 02, onde não se atingiu os níveis de alerta ou atenção, ou seja, os fatores de segurança são sempre superiores a 1,50, independente da linha freática considerada, optou-se por utilizar somente um nível de referência, obtido a partir da linha freática do critério de projeto, no qual se define o dreno funcionando com um gradiente hidráulico máximo de 10%.

Para os piezômetros PZ-03 e PZ-04 situados a jusante do dique, as leituras devem ser consideradas apenas como de referência, uma vez que estes níveis da linha freática nesta região não condicionam a segurança do dique. Estes servem para fornecer informações de fluxo da região.

O critério padrão adotado para a determinação do valor de referência de piezômetros instalados a jusante do dique refere-se à cota do terreno natural. No entanto, no dique 01-B foram observadas surgências de água a jusante, em local próximo ao piezômetro PZ-04.

Com o objetivo de impedir que surgências de água que brotam na superfície do terreno do dique 1B, através de canalículos, desencadeiem um processo de erosão regressiva subterrânea no terreno adjacente ao dique foi executada uma proteção com filtro invertido no local.

Observa-se que após um ano do enchimento do reservatório o piezômetro 04 já se encontra em processo de estabilização. Dessa forma, o valor de referência foi ajustado considerando-se como base os valores de leitura atuais.

A tabela 32 apresenta abaliza dos dados de referência de controle para todos os piezômetros instalados no dique 01-C.

Tabela 32 - Valores de controle dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-C

Piezômetro	Cota Piezométrica (m)			Carga Piezométrica (mca)		
	Nível de Referência	Valor de Atenção	Valor de Alerta	Nível de Referência	Valor de Atenção	Valor de Alerta
PZ-D01C-01	-	82,79	86,47	-	10,85	14,53
PZ-D01C-02	-	82,79	86,47	-	15,84	19,52
PZ-D01C-03	-	80,6	85,8	-	14,7	19,9
PZ-D01C-04	-	86,6	88,7	-	13,37	15,47
PZ-D01C-05	-	86,6	88,7	-	21,41	23,51
PZ-D01C-06	-	71,2	71,5	-	5,93	6,23
PZ-D01C-07	94,54	-	-	14,9	-	-
PZ-D01C-08	87,5	-	-	11,71	-	-
PZ-D01C-09	96,94	-	-	9,97	-	-
PZ-D01C-10	75,42	-	-	8,08	-	-
PZ-D01C-11	74,36	-	-	7,08	-	-
PZ-D01C-12	73,8	-	-	8,17	-	-
PZ-D01C-13	92,72	-	-	15	-	-

Fonte: Manual de instrumentação Dique 01-C, Norte Energia: S.A (2018)

Para os piezômetros PZ-07 ao PZ-13 situados a jusante do dique, as leituras devem ser consideradas apenas como de referência, uma vez que estes níveis da linha freática nesta região não condicionam a segurança do dique. Estes servem para fornecer informações de fluxo da região. O valor de referência adotado se refere à cota do terreno natural.

Para os instrumentos instalados a jusante do dique, caso as leituras realizadas apresentem valores iguais ou superiores ao seu Nível de Referência

(nível do terreno), deverá ser providenciada, em um prazo máximo de 24 horas, uma inspeção ao local do instrumento para detectar possíveis pontos de surgência na região. Caso sejam detectados tais pontos, deverá ser elaborado um projeto de intervenção para evitar possíveis danos à integridade do dique.

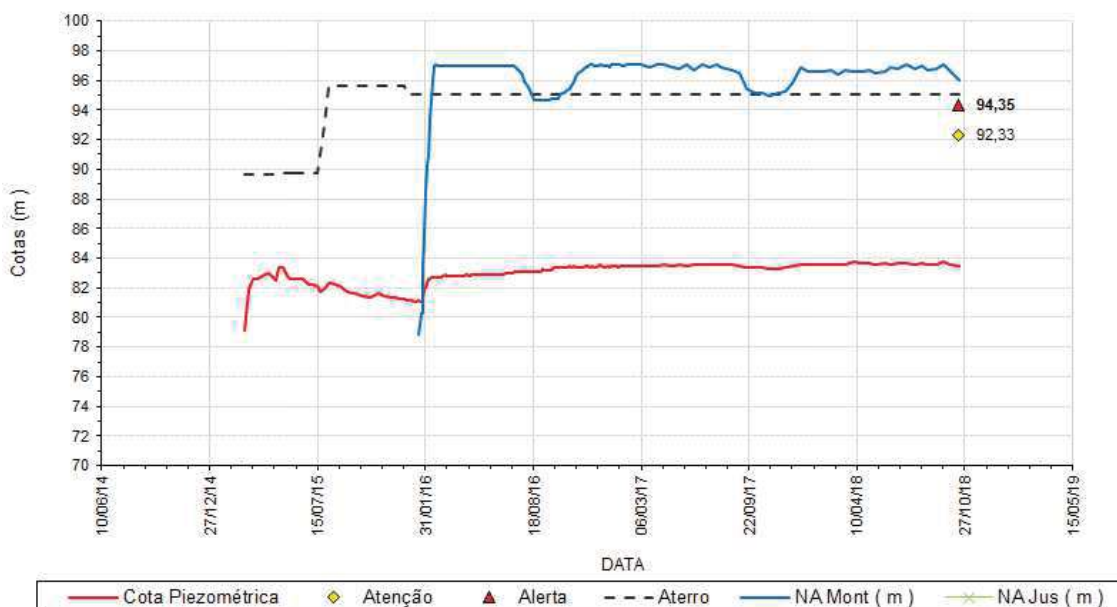
O critério padrão adotado para a determinação do valor de referência de piezômetros instalados a jusante do dique refere-se à cota do terreno natural. No entanto, observa-se que para os piezômetros PZ-07 e PZ-12 as leituras estão indicando valores um pouco acima do terreno.

Estes piezômetros estão localizados em uma região fora da área delimitada para necessidade de intervenções e não apresentam riscos para a estabilidade da estrutura.

Considerando que os piezômetros instalados no tapete horizontal em região próxima estão operando dentro da normalidade, conclui-se que a drenagem interna está operando em condições normais.

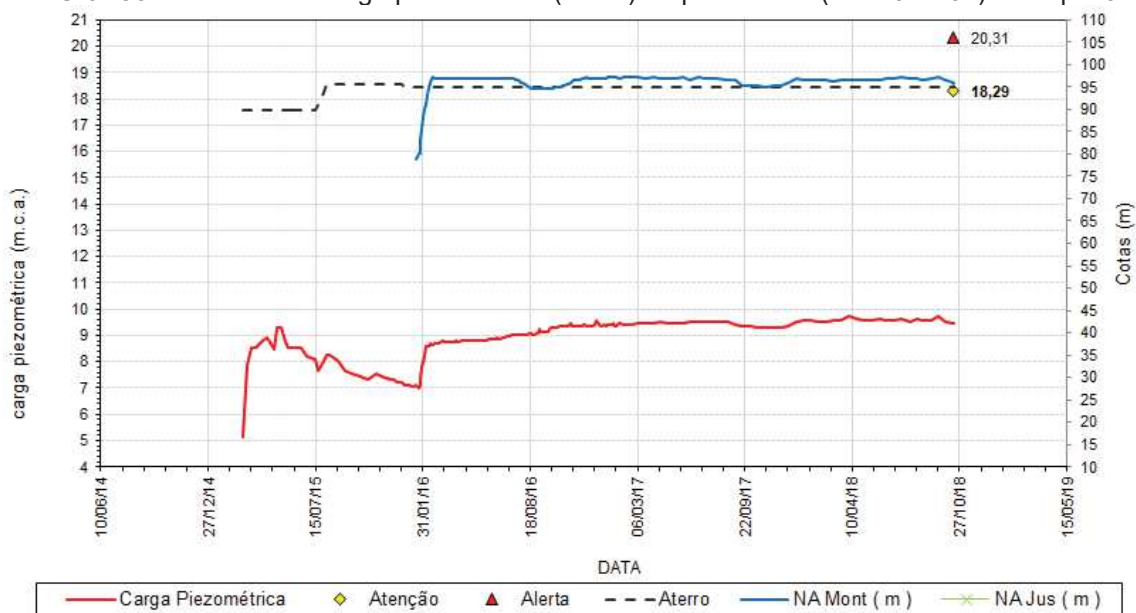
Os gráficos 01 ao 12 apresentam as leituras das cotas piezométricas em metro e cargas piezométricas em m.c.a dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-A.

Gráfico 1 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-01) do dique 01-A



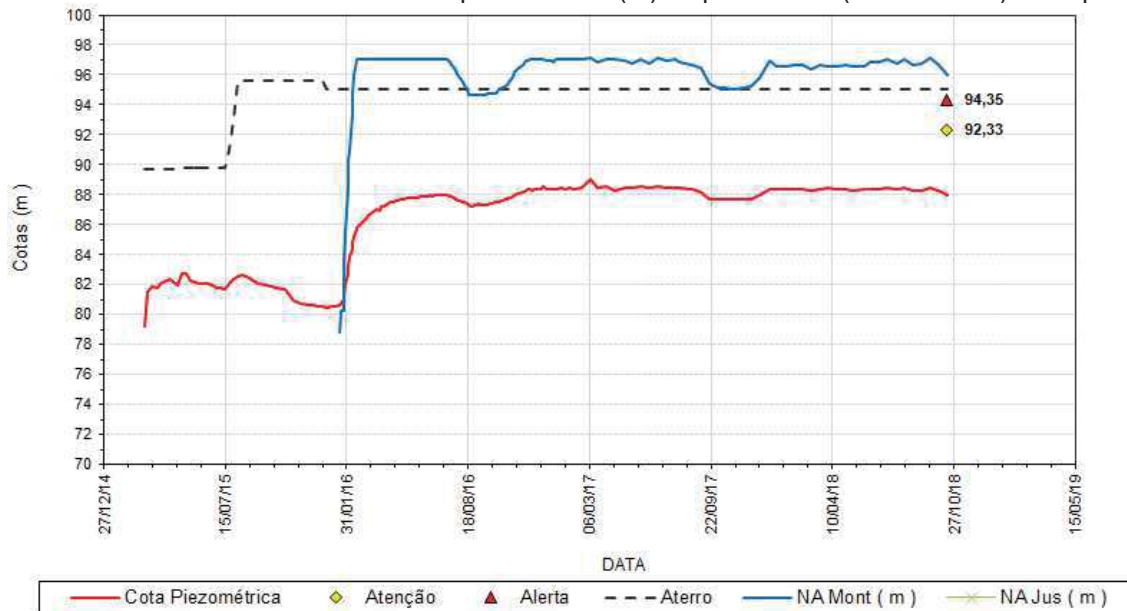
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 2 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-01) do dique 01-A



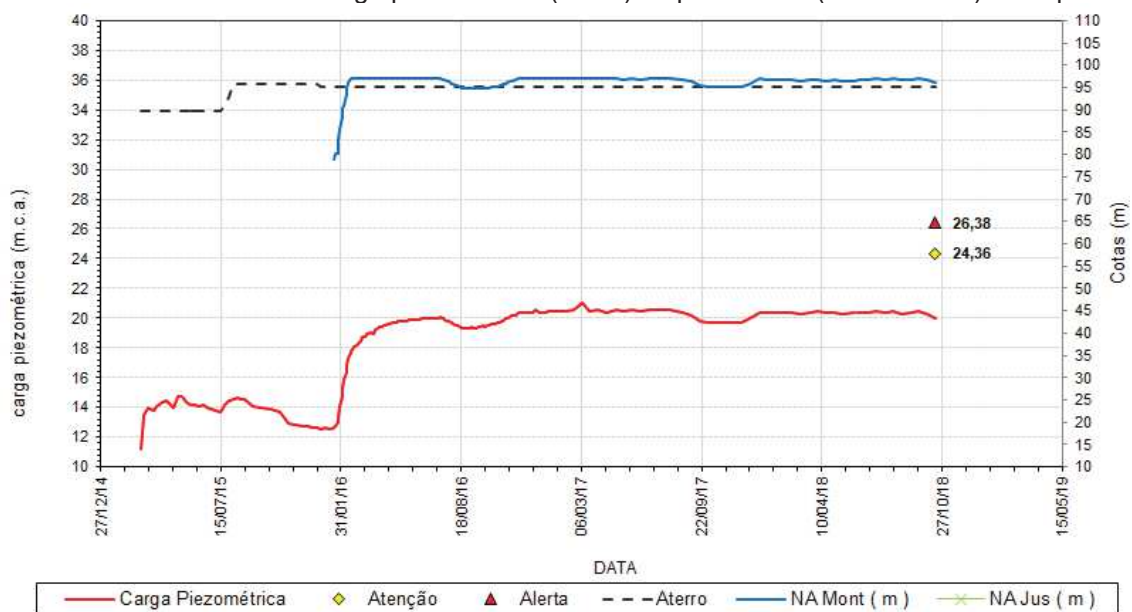
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 3 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-02) do dique 01-A



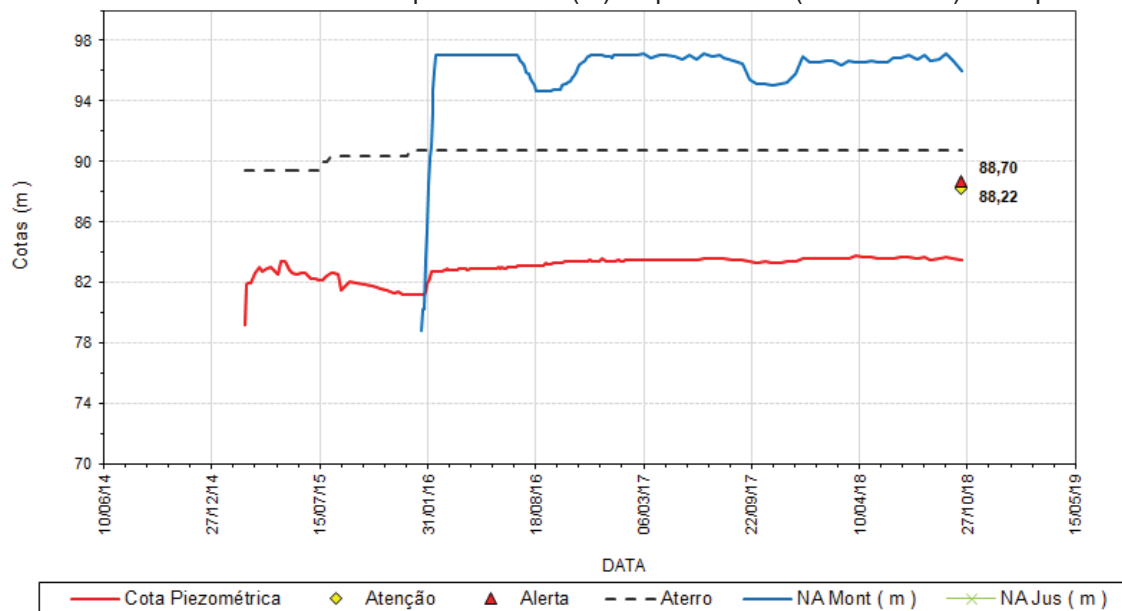
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 4 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-02) do dique 01-A



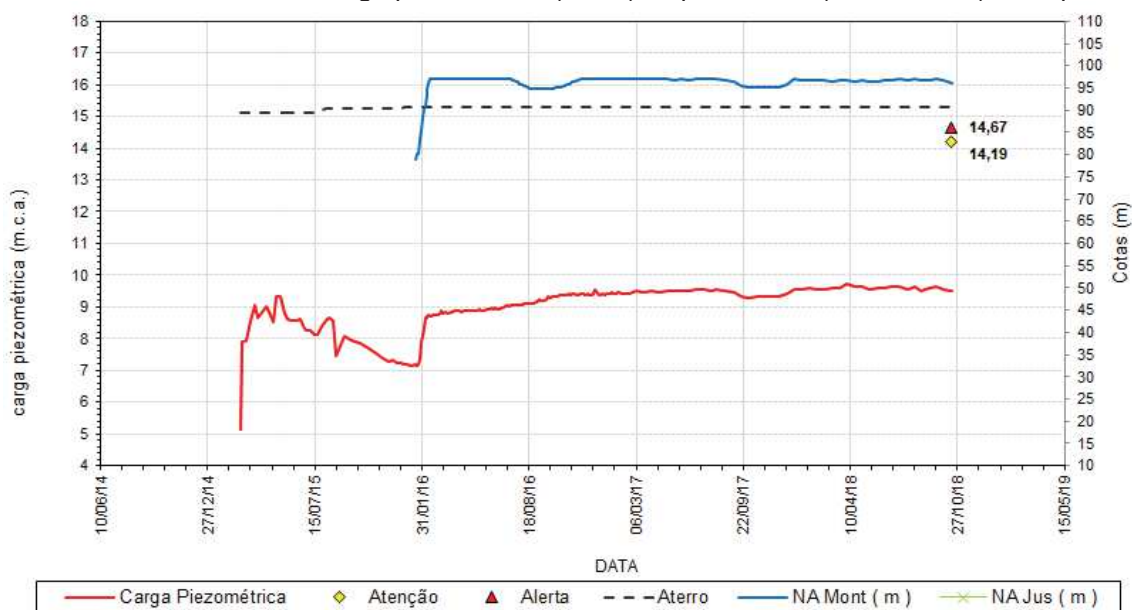
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 5 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-03) do dique 01-A



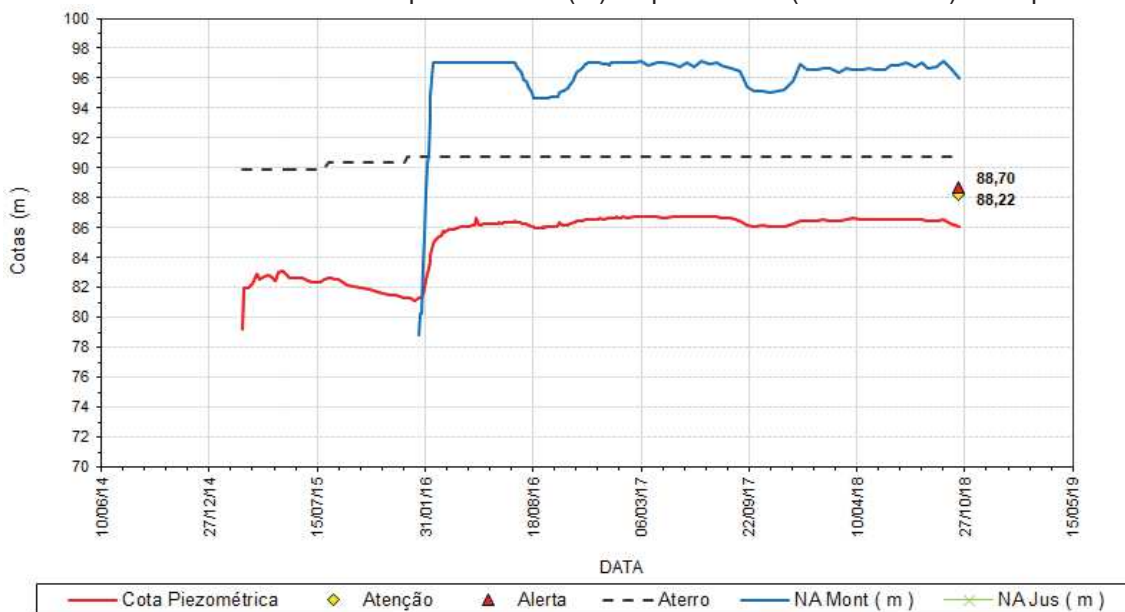
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 6 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-03) do dique 01-A



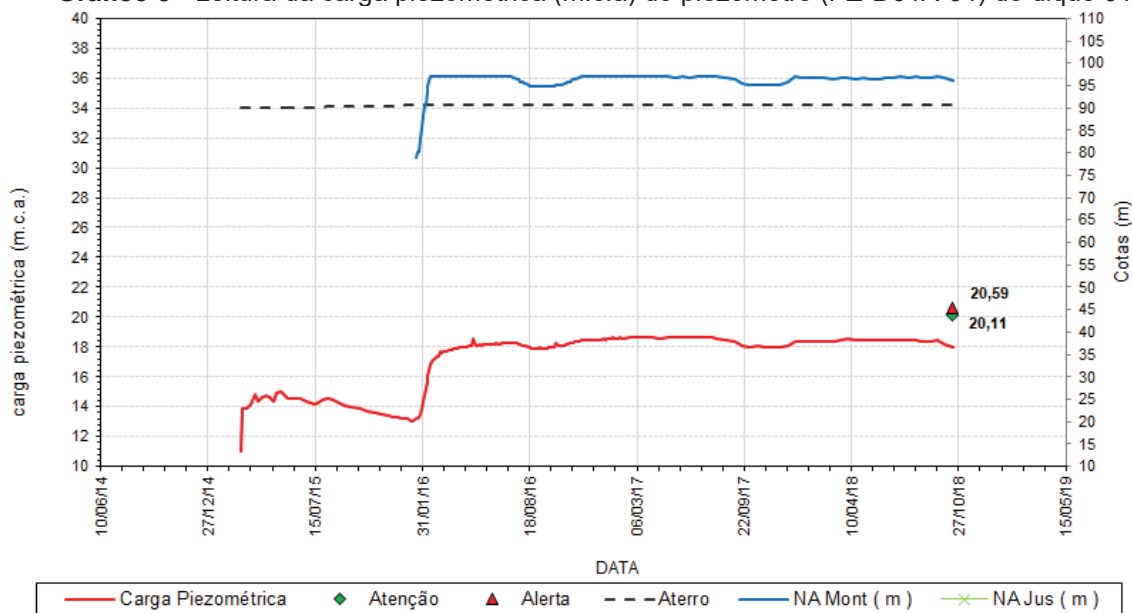
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 7 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-04) do dique 01-A



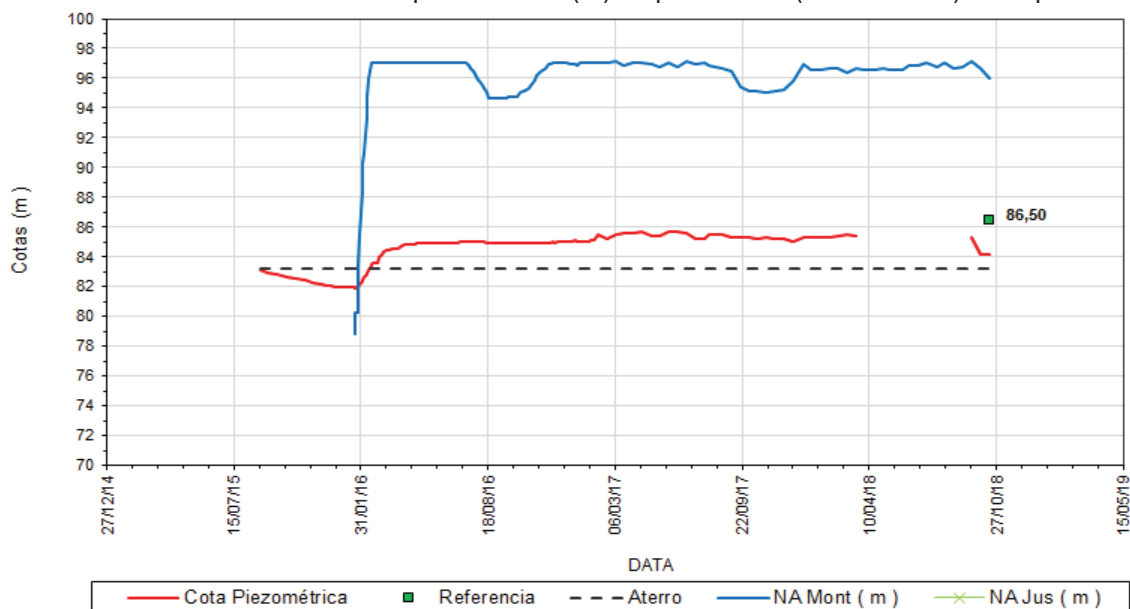
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 8 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01A-04) do dique 01-A



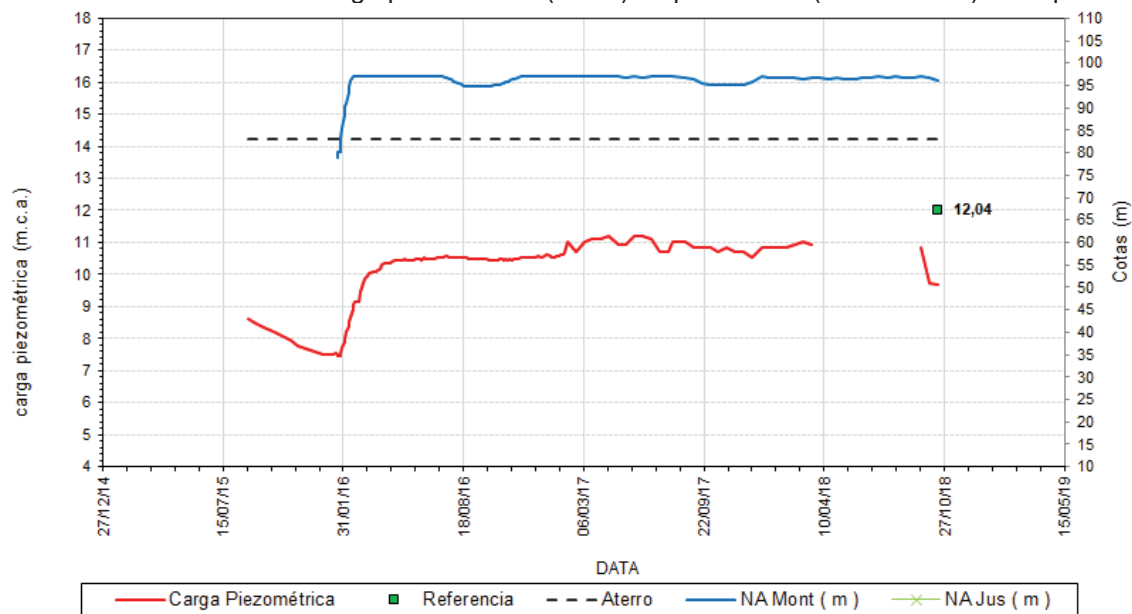
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 9 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-05) do dique 01-A



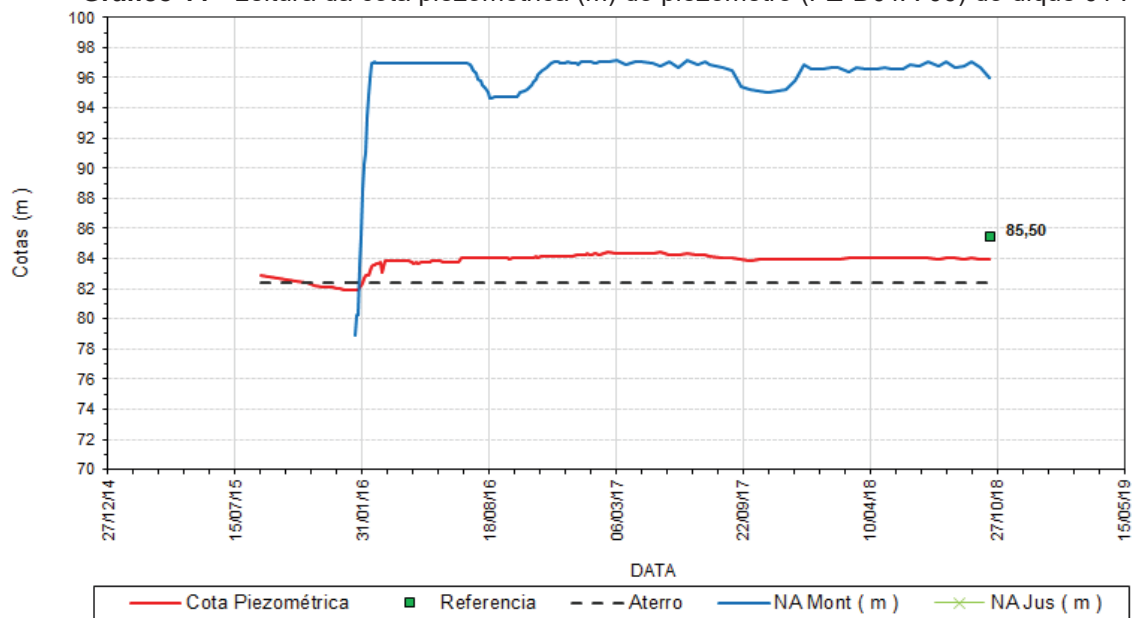
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 10 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01A-05) do dique 01-A



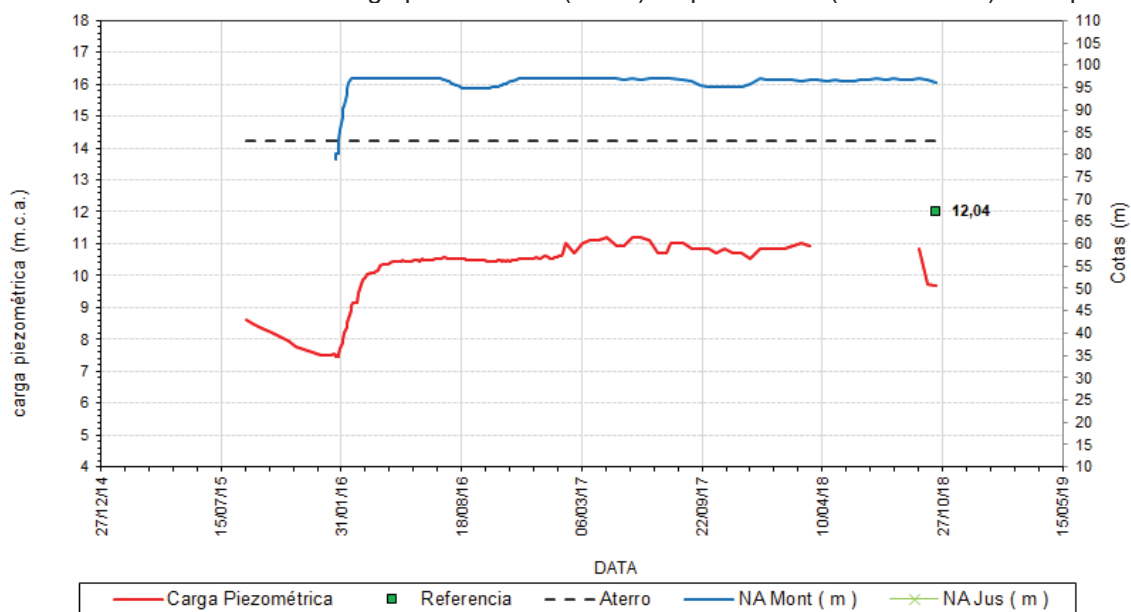
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 11 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01A-06) do dique 01-A



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

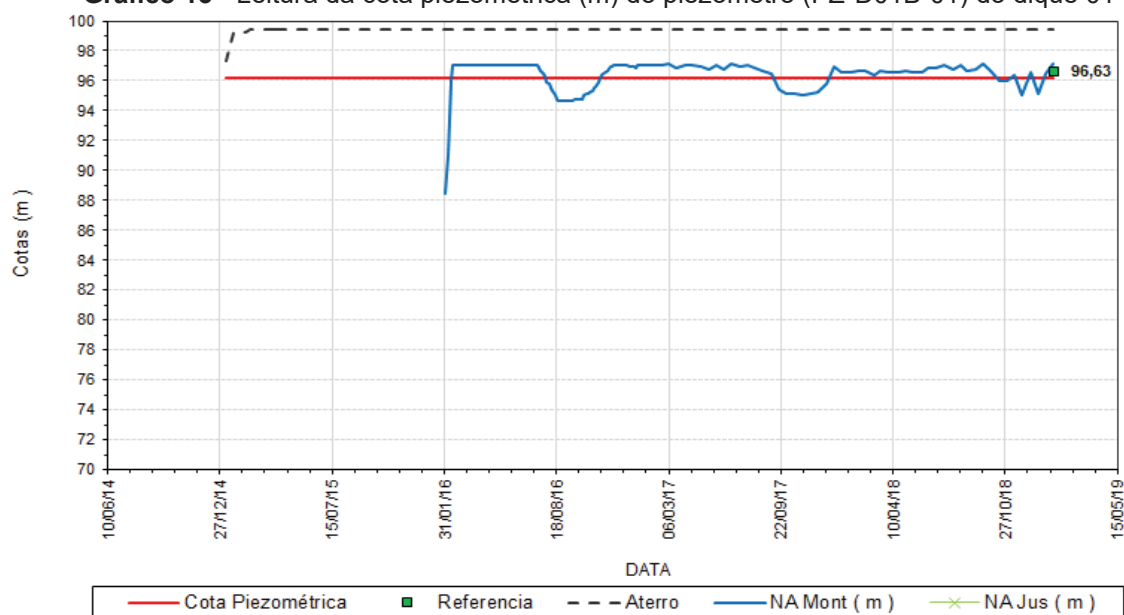
Gráfico 12 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01A-06) do dique 01-A



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

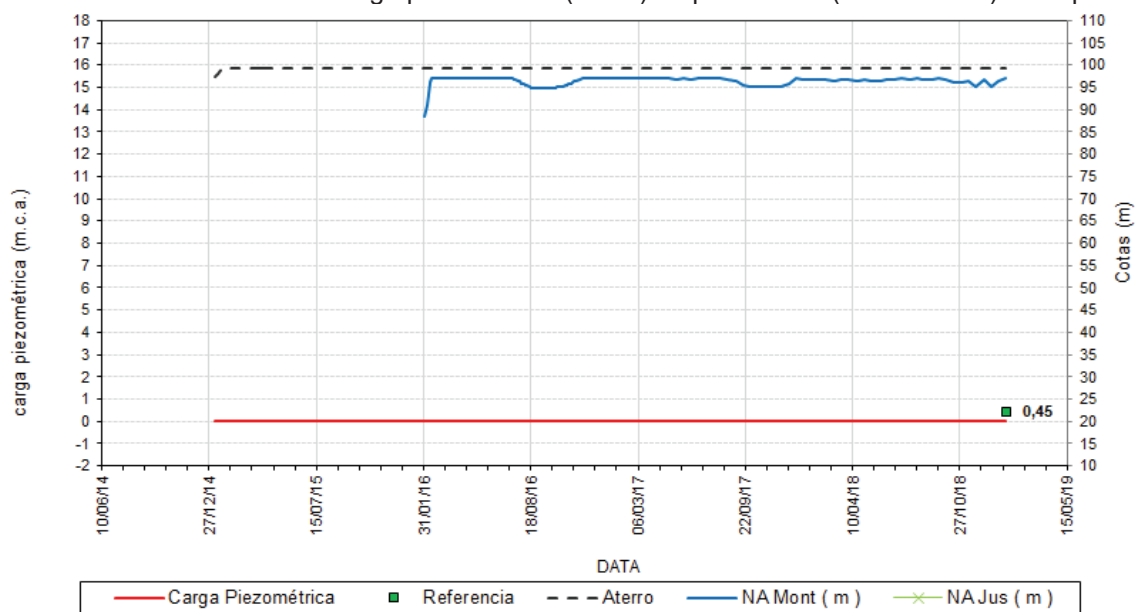
Os gráficos 13 ao 20 apresentam as leituras das cotas piezométricas em metro e cargas piezométricas em m.c.a dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-B.

Gráfico 13 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-01) do dique 01-B



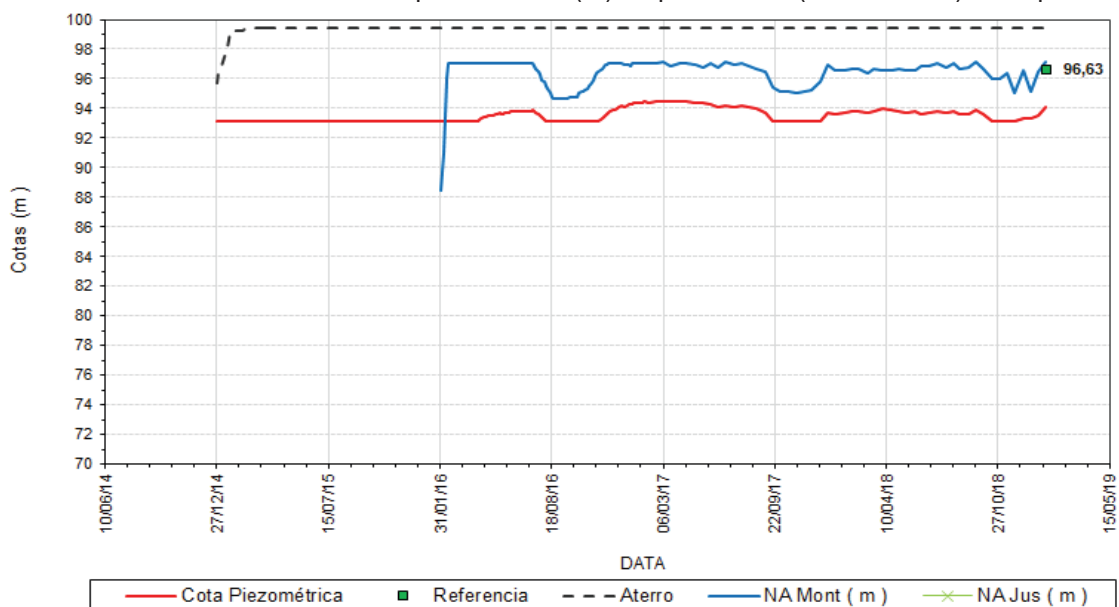
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 14 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01B-01) do dique 01-B



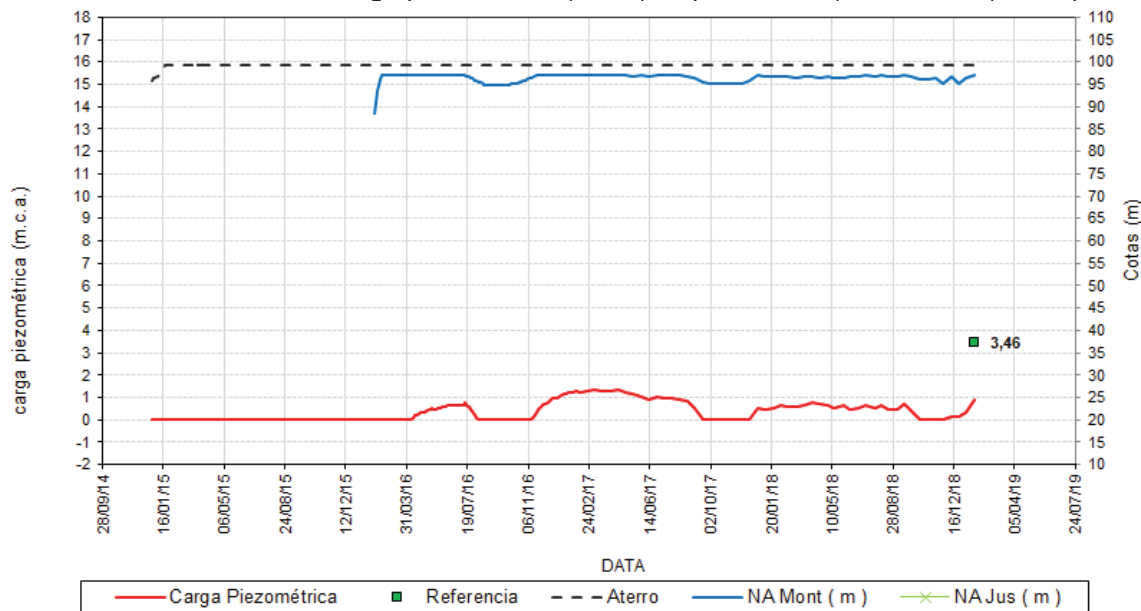
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 15 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-02) do dique 01-B



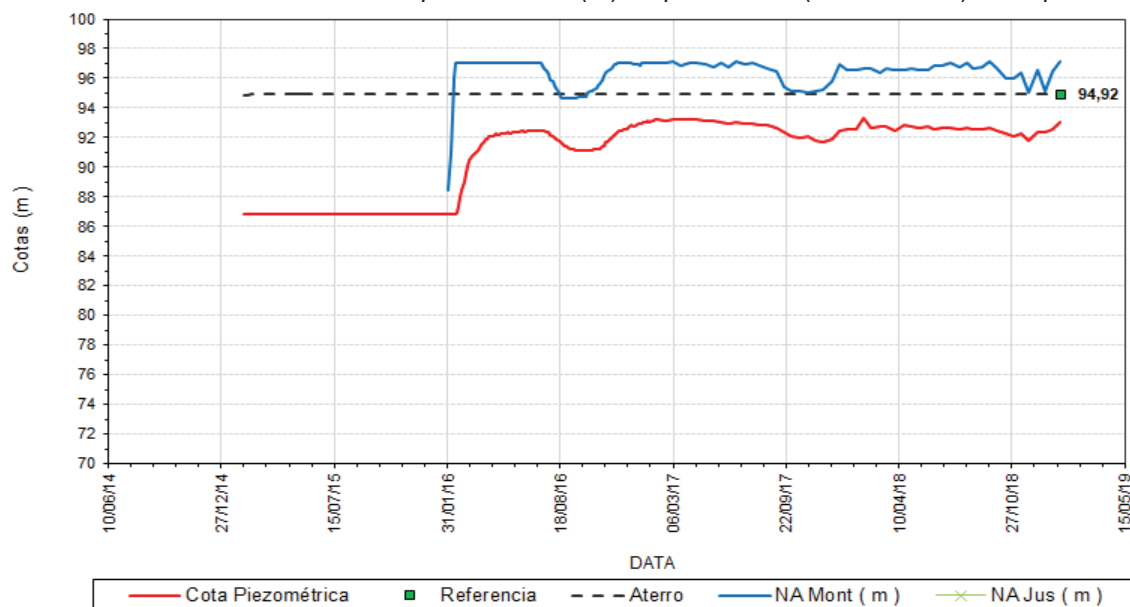
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 16 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-02) do dique 01-B



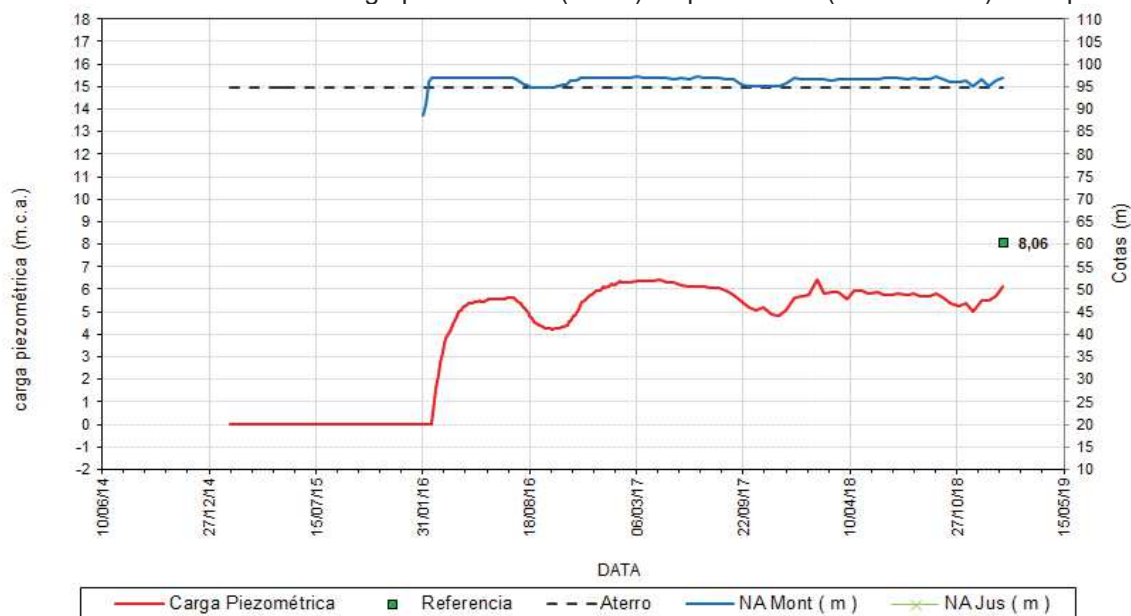
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 17 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-03) do dique 01-B



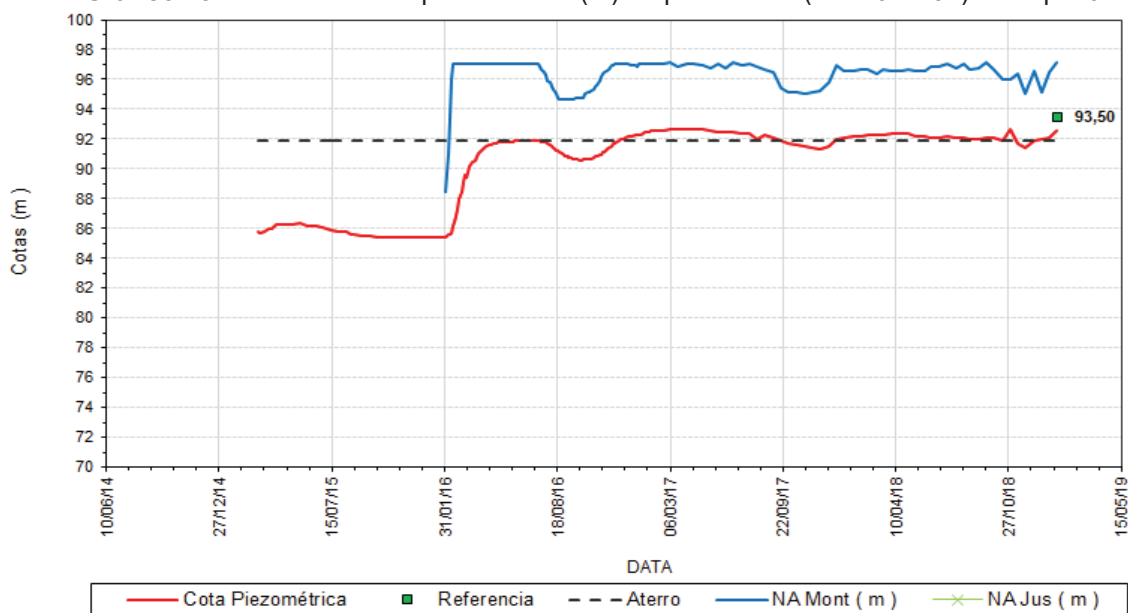
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 18 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-03) do dique 01-B



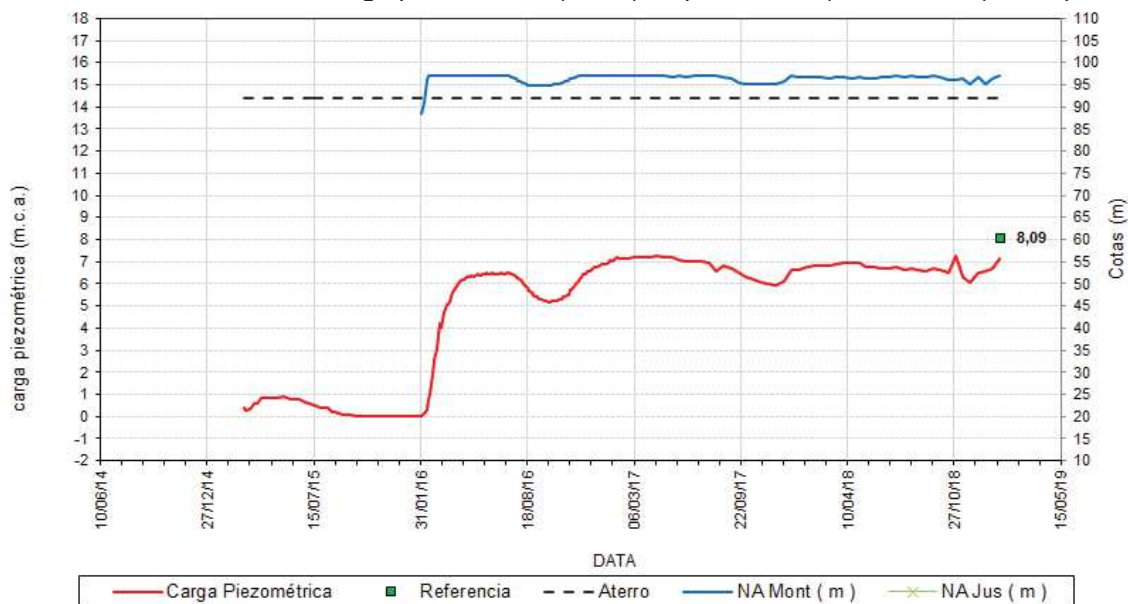
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 19 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01B-04) do dique 01-B



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

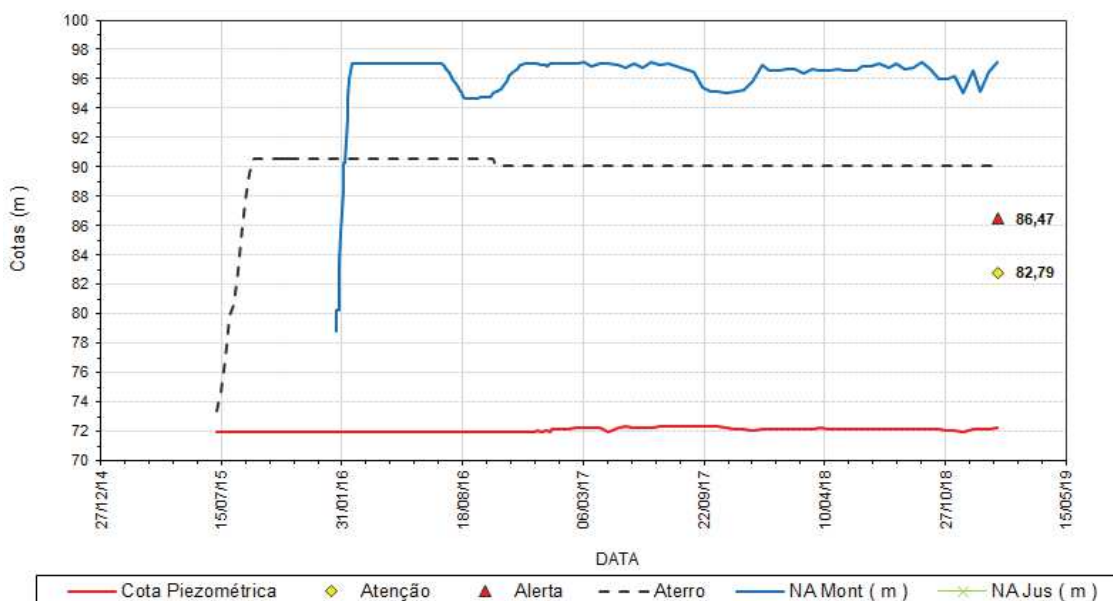
Gráfico 20 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01B-04) do dique 01-B



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

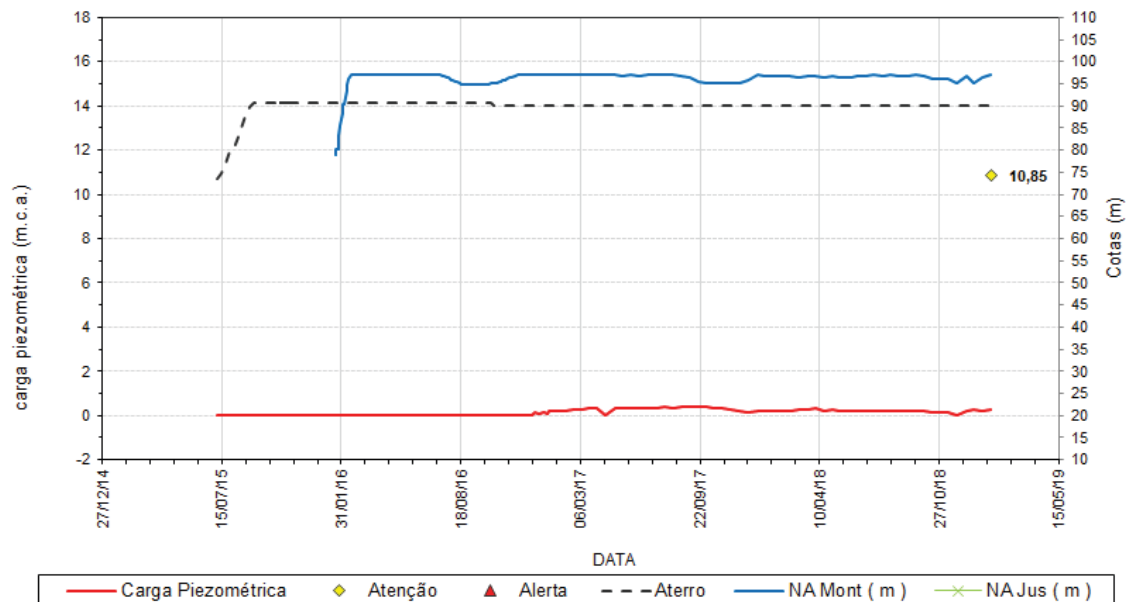
Os gráficos 21 ao 46 apresentam as leituras das cotas piezométricas em metro e cargas piezométricas em m.c.a dos piezômetros instalados no corpo do dique 01-B.

Gráfico 21 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-01) do dique 01-C



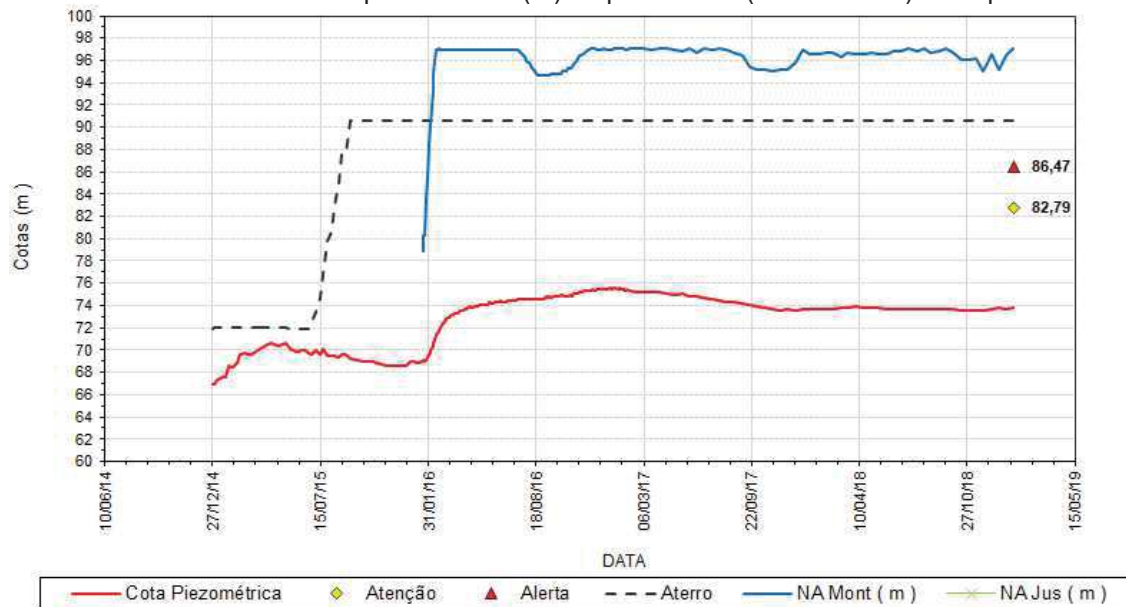
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 22 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-01) do dique 01-C



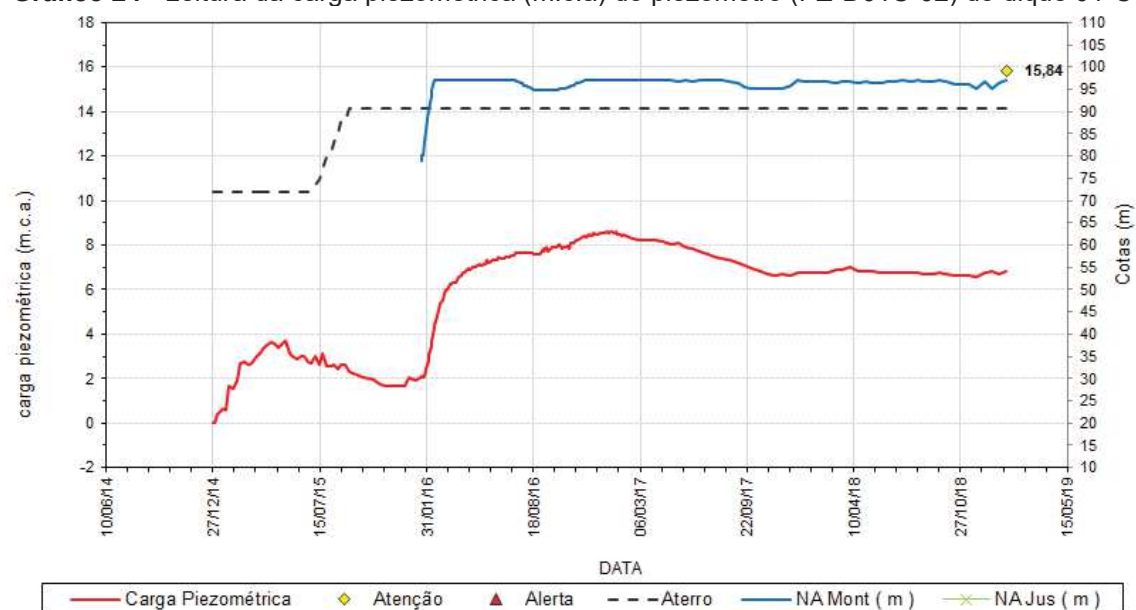
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 23 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-02) do dique 01-C



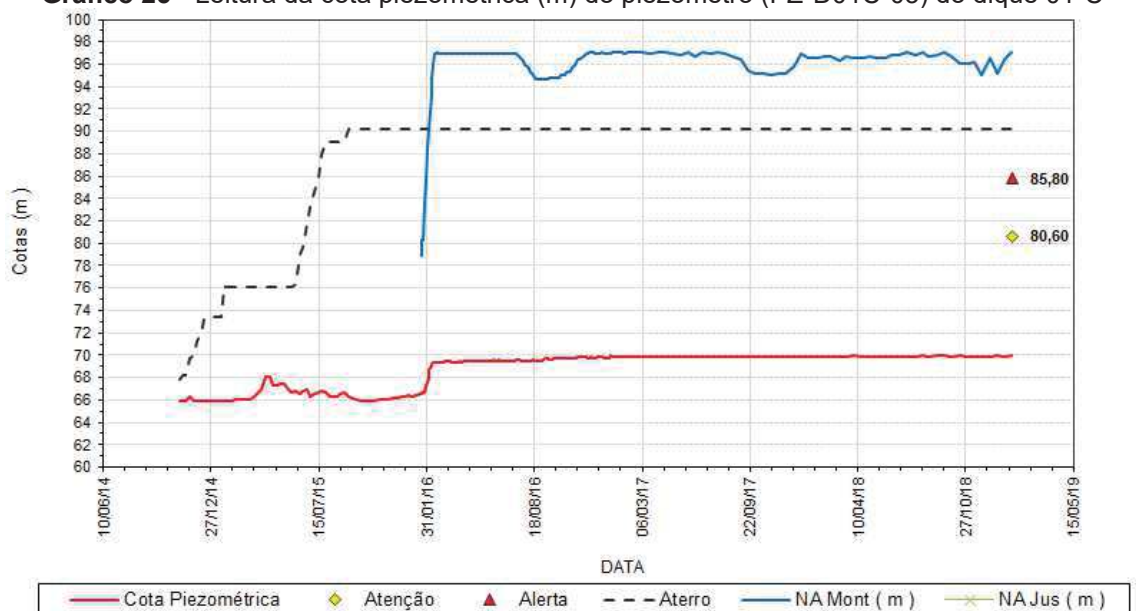
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 24 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-02) do dique 01-C



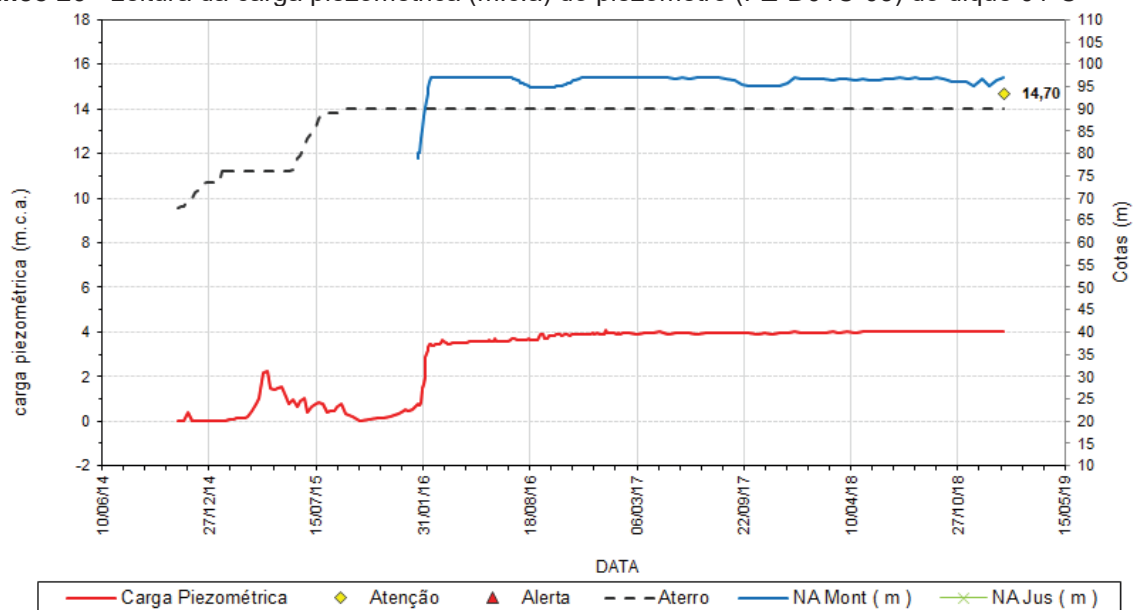
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 25 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-03) do dique 01-C



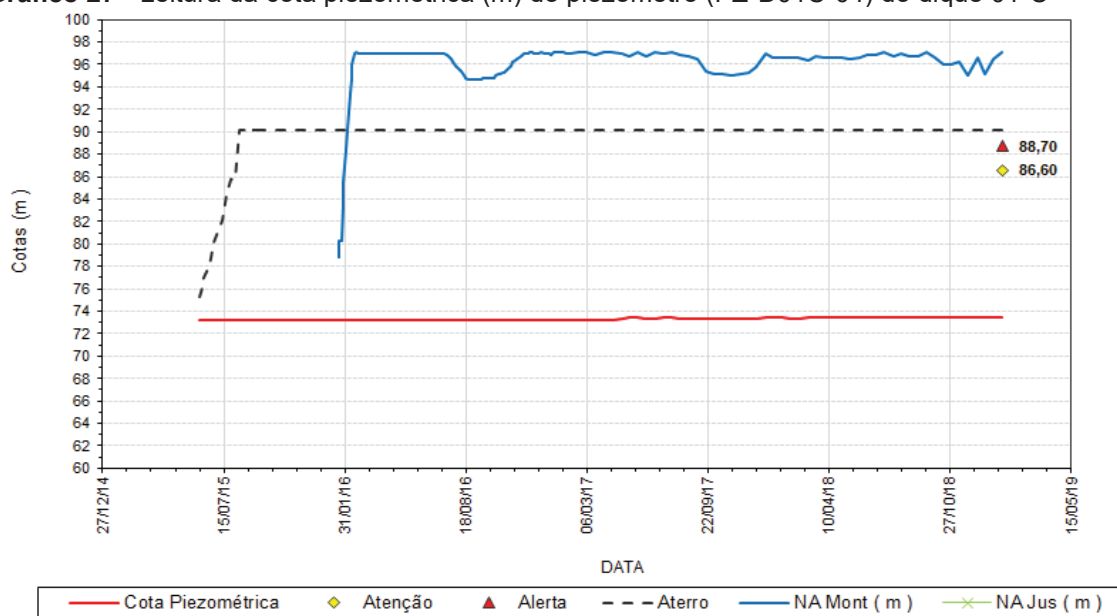
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 26 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-03) do dique 01-C



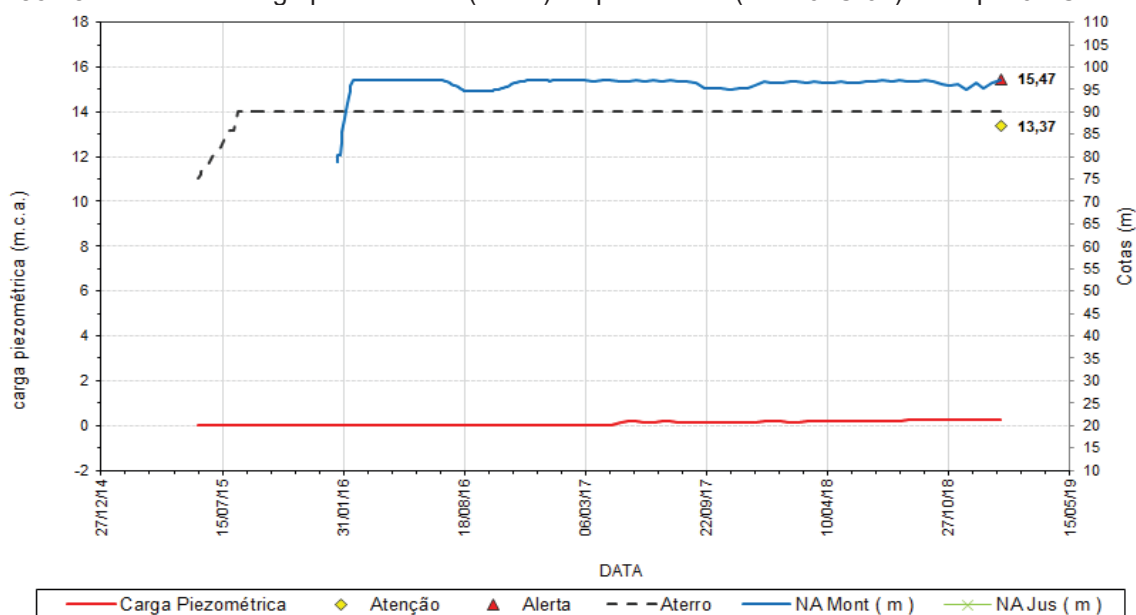
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 27 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-04) do dique 01-C



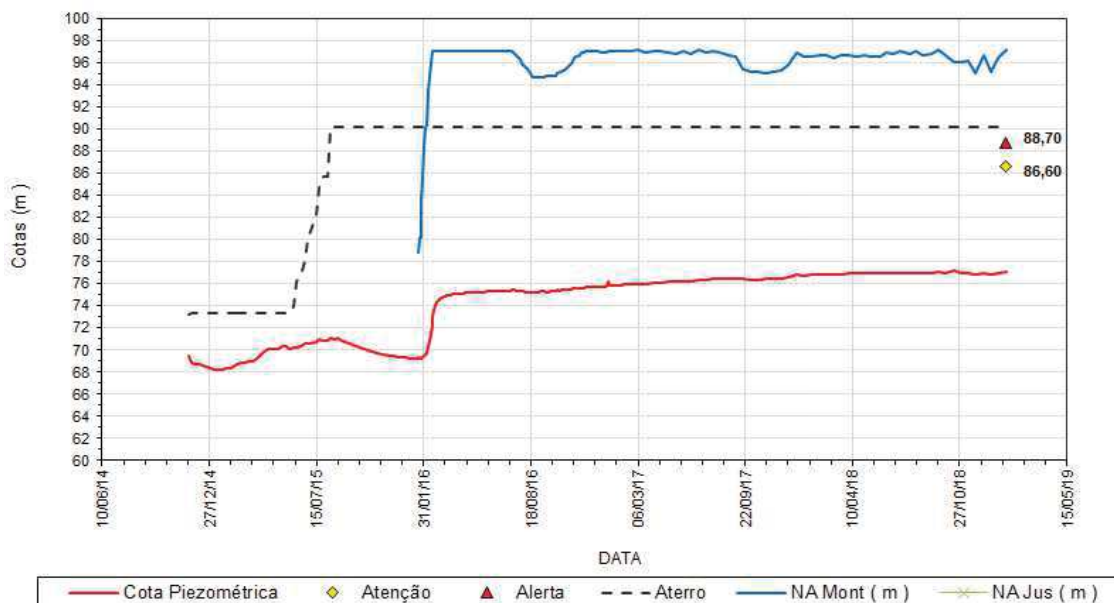
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 28 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-04) do dique 01-C



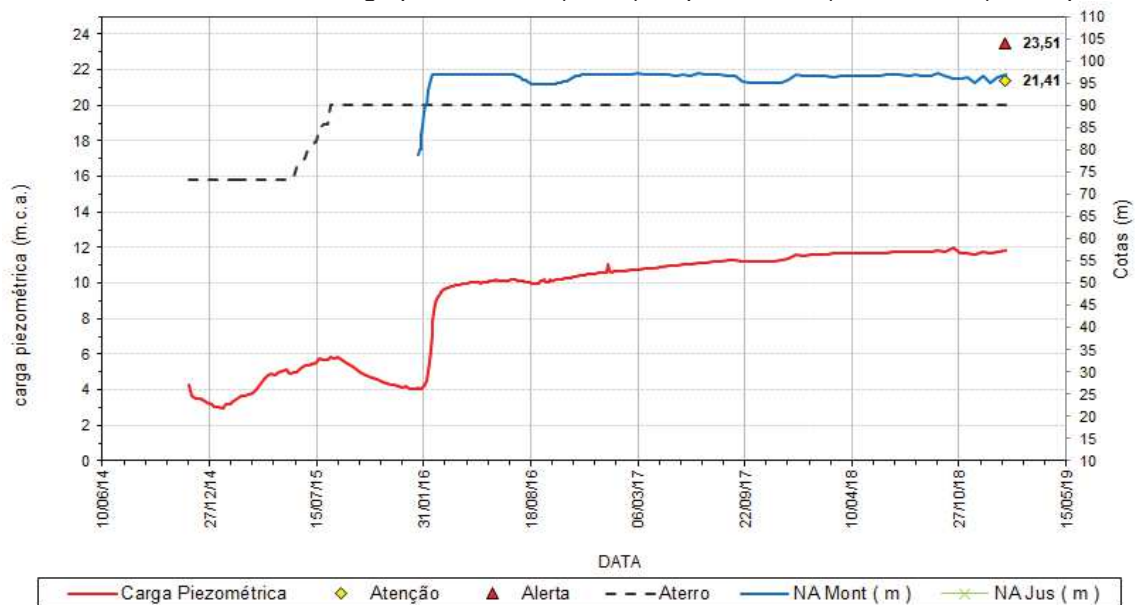
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 29 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-05) do dique 01-C



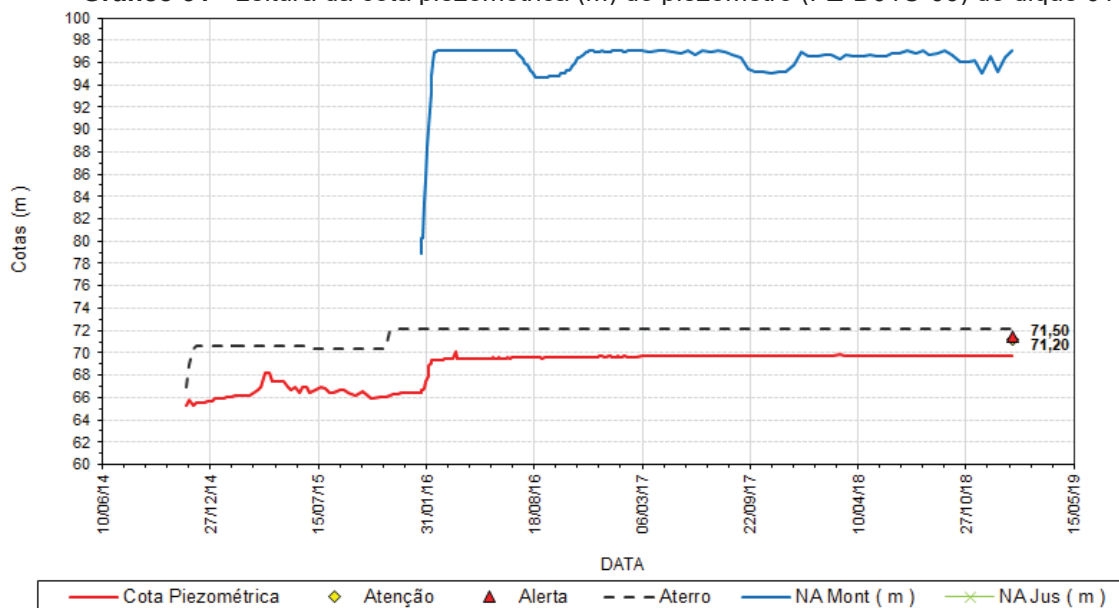
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 30 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-05) do dique 01-C



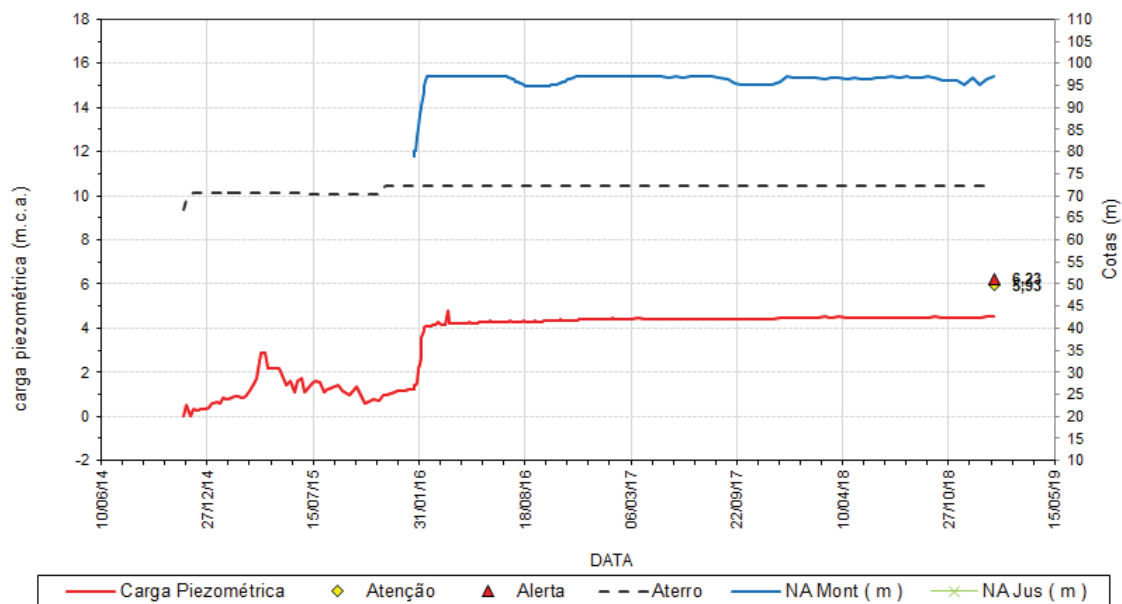
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 31 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-06) do dique 01-C



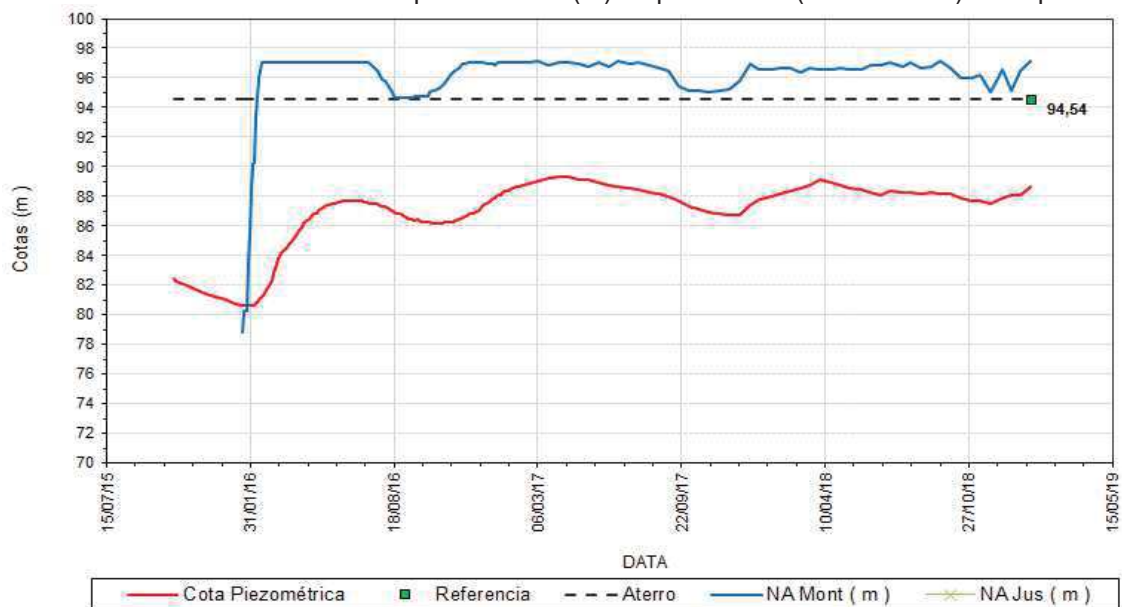
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 32 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-06) do dique 01-C

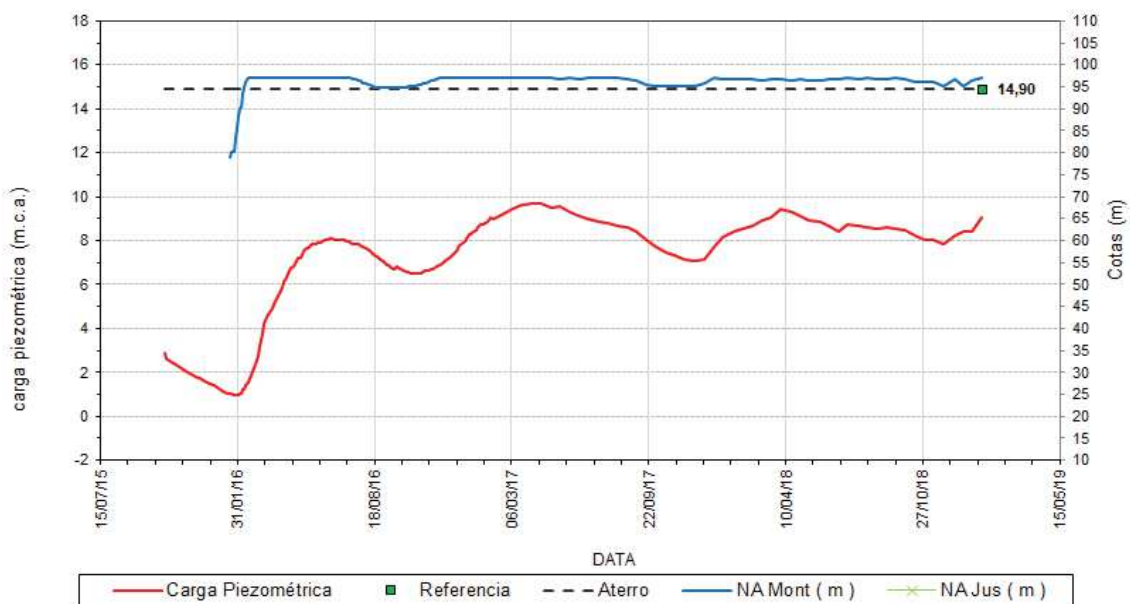


Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

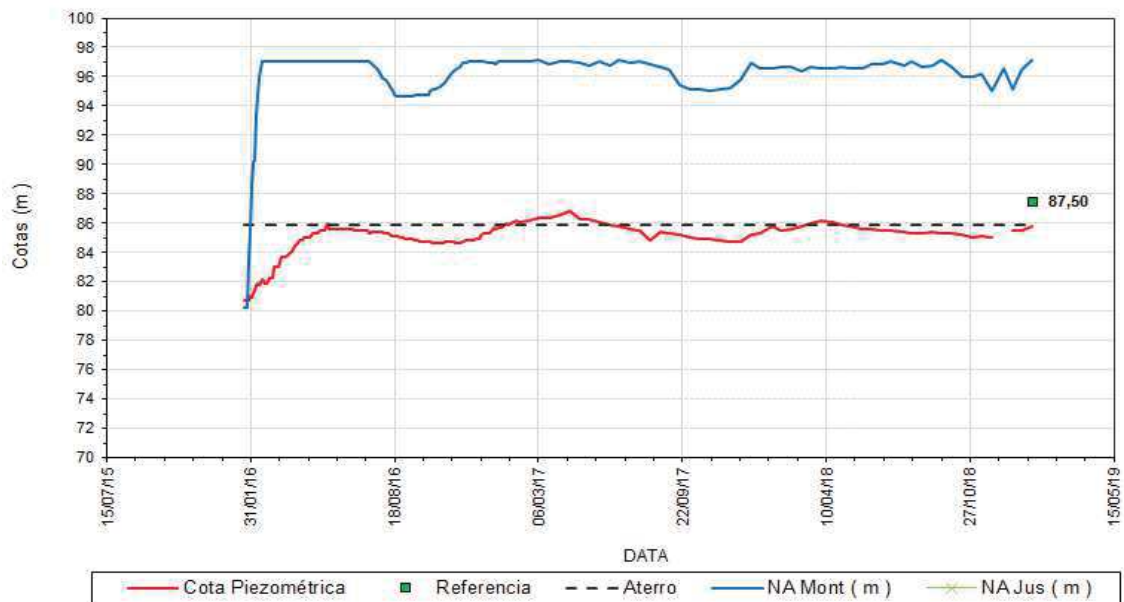
Gráfico 33 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-07) do dique 01-C



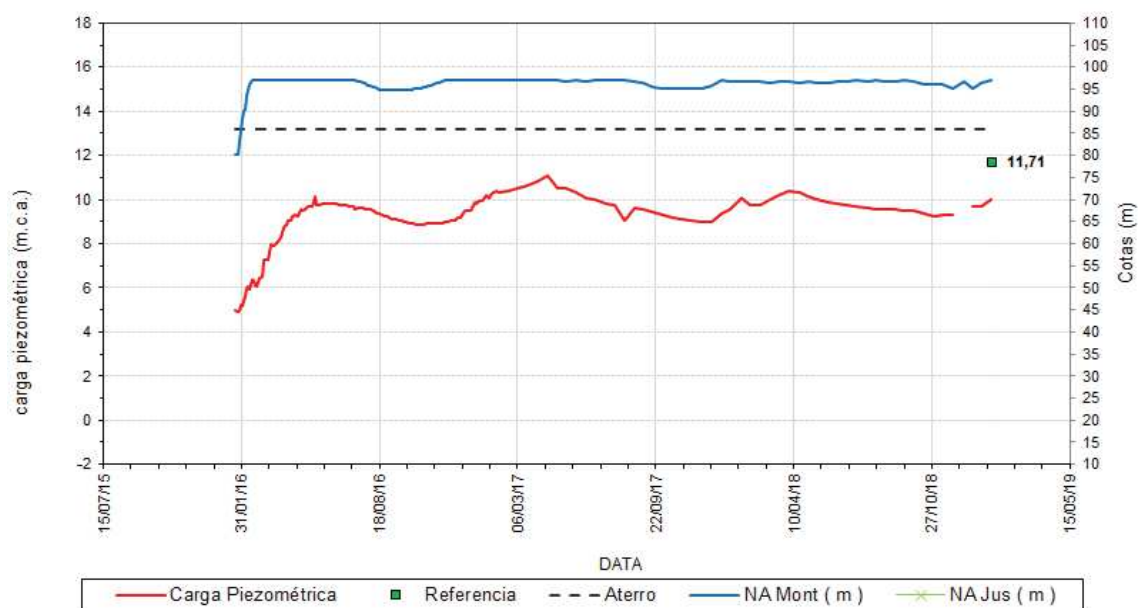
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 34 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-07) do dique 01-C

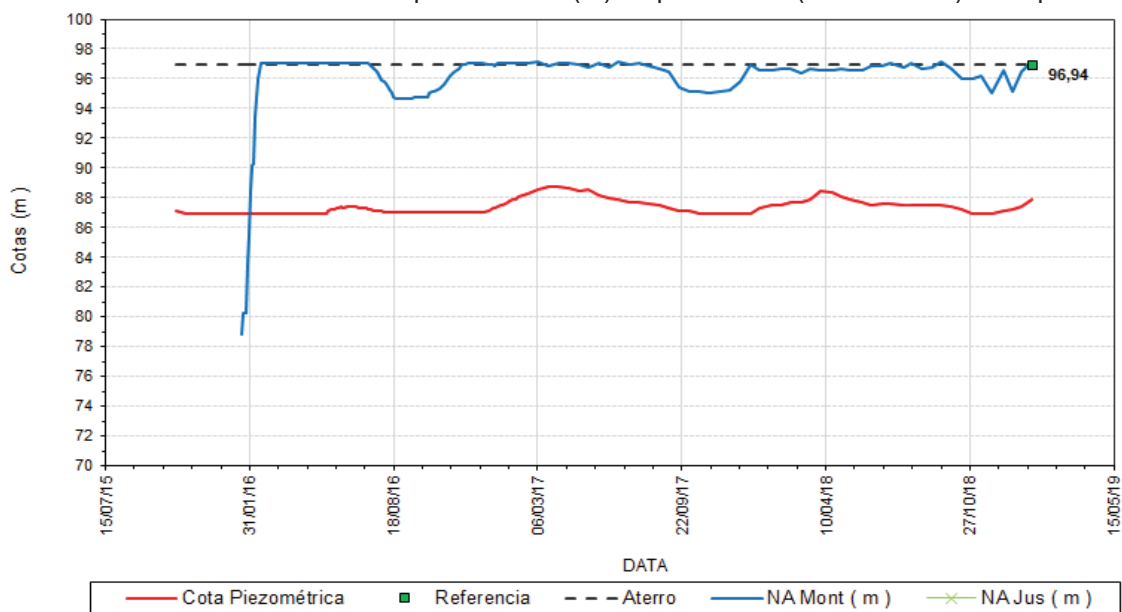
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 35 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-08) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

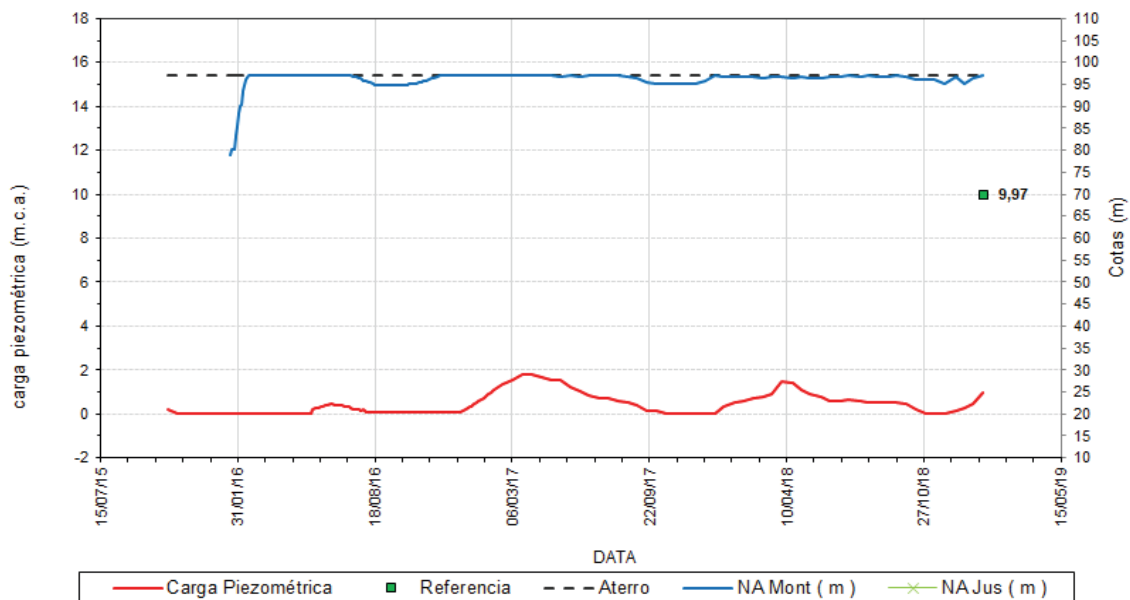
Gráfico 36 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-08) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 37 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-09) do dique 01-C

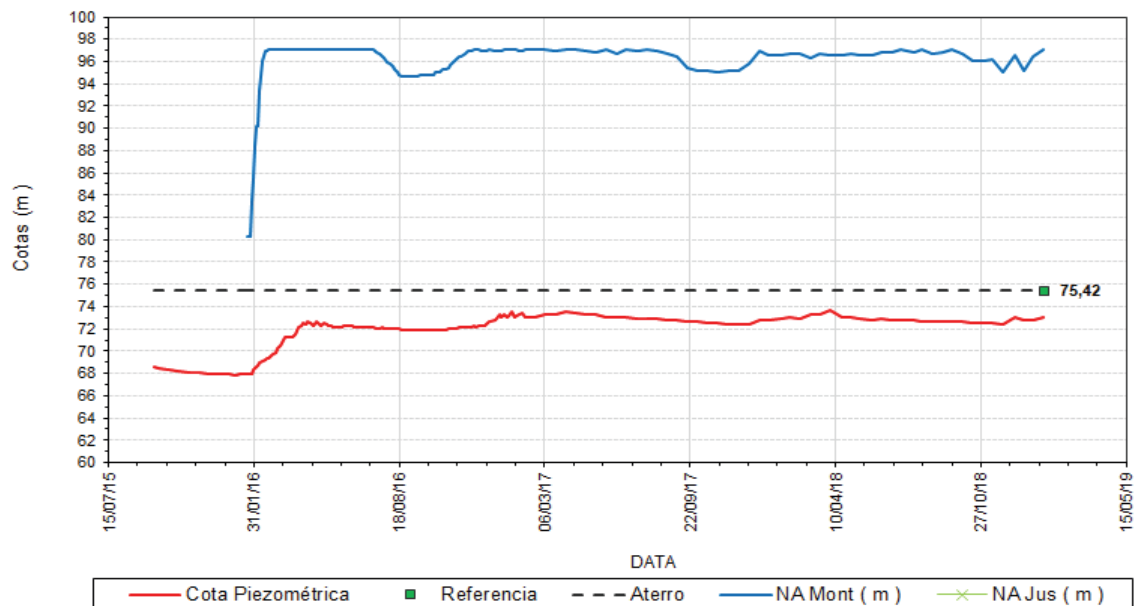
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 38 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-09) do dique 01-C



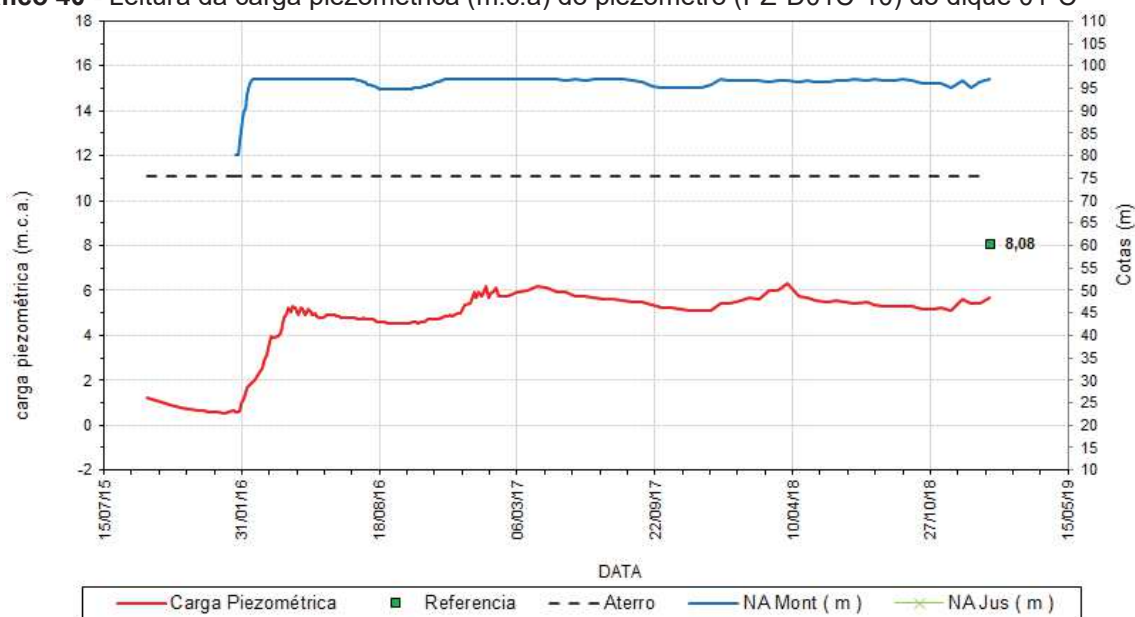
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 39 – Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-10) do dique 01-C



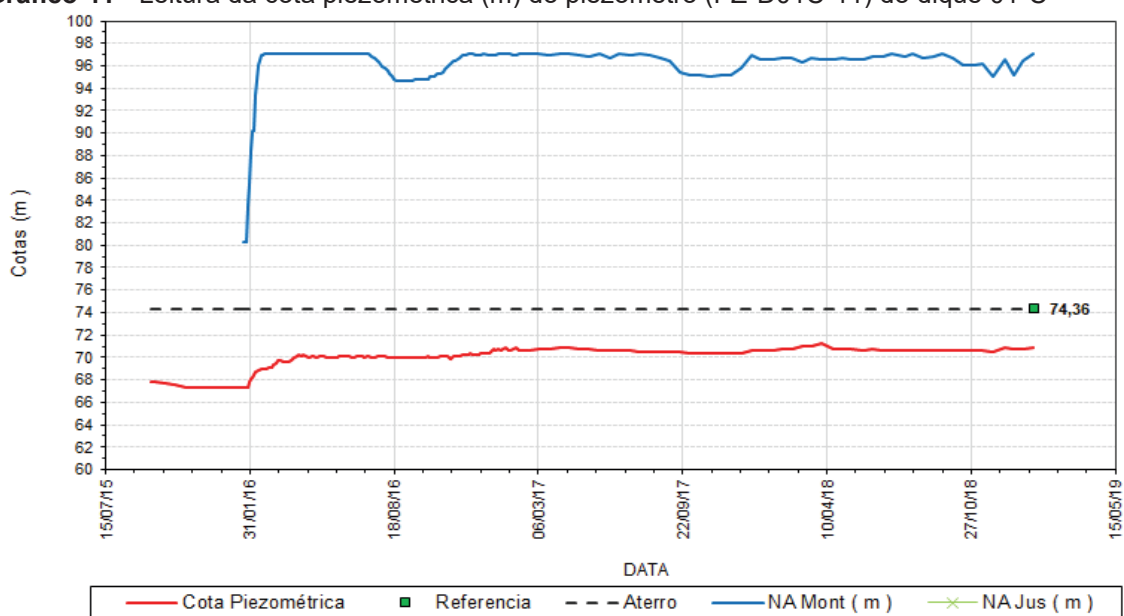
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 40 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-10) do dique 01-C

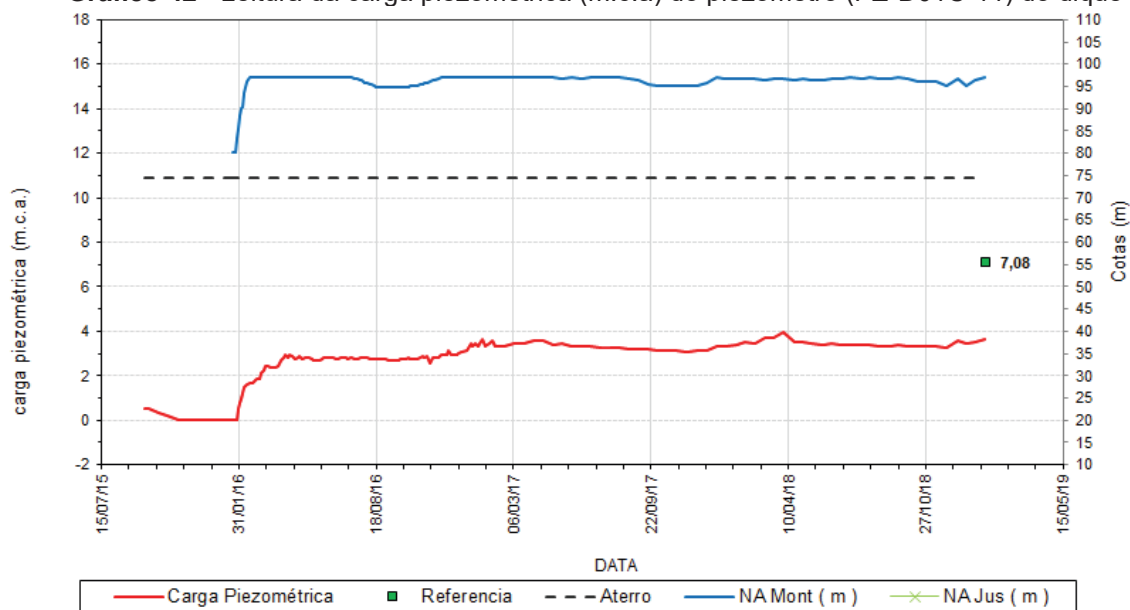


Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

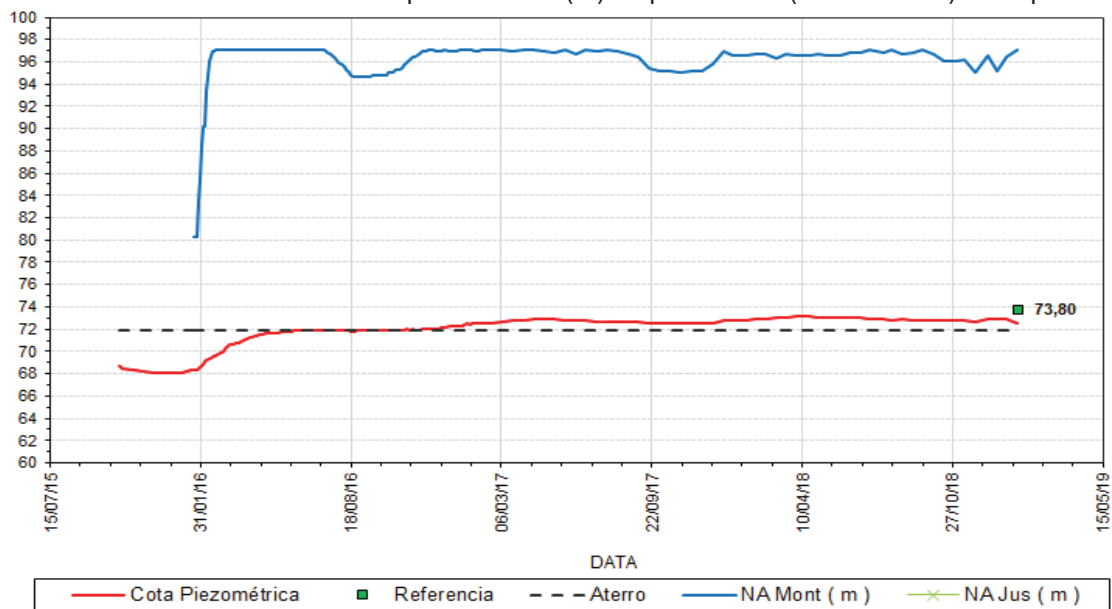
Gráfico 41 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-11) do dique 01-C



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

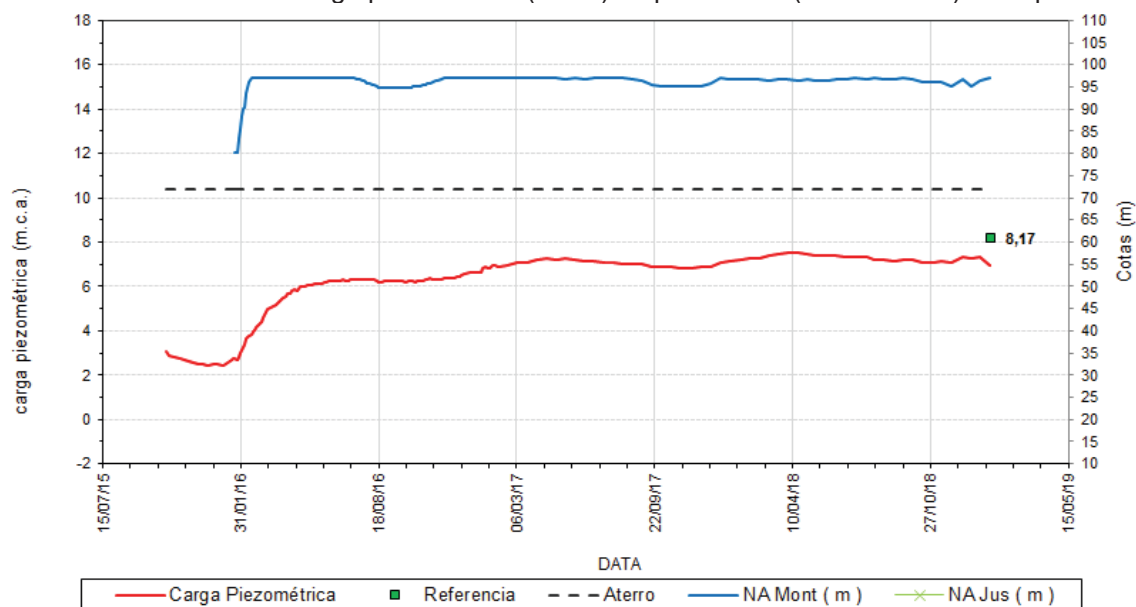
Gráfico 42 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-11) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 43 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-12) do dique 01-C

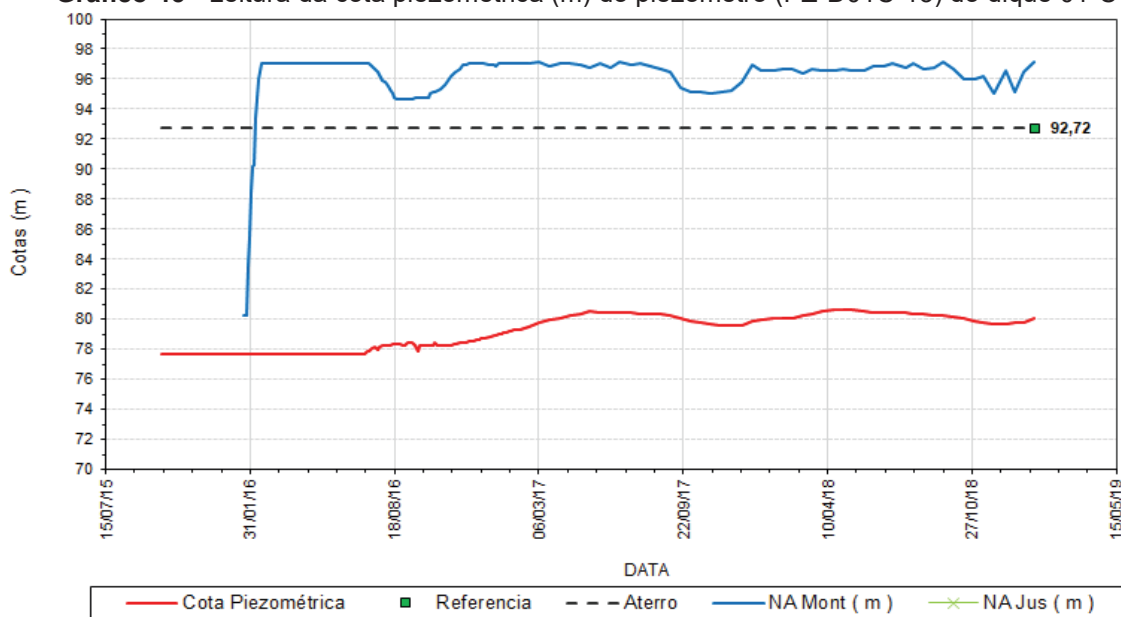
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 44 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a.) do piezômetro (PZ-D01C-12) do dique 01-C

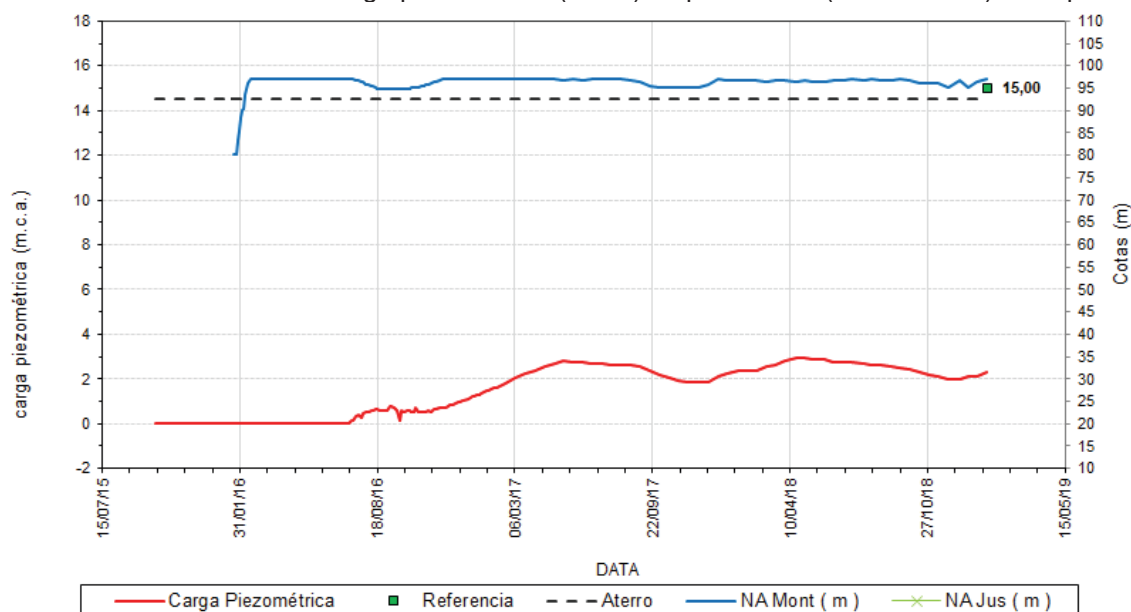


Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 45 - Leitura da cota piezométrica (m) do piezômetro (PZ-D01C-13) do dique 01-C



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 46 - Leitura da carga piezométrica (m.c.a) do piezômetro (PZ-D01C-13) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

O comportamento dos piezômetros locados no corpo dos diques 01-A, 01-B e 01-C entre o período do enchimento e operação se apresentaram sem grandes variações. Entretanto no dique 01-A os piezômetros 02 e 04 foram os instrumentos que mais se aproximaram dos valores de atenção e alerta, ambos concomitantemente no mesmo período entre os meses de março a maio de 2017. O PZ-D01A-02, tem valores de atenção para cota de 92,33m e alerta de 94,35m e os valores da carga de atenção e alerta são respectivamente de 24,36 m.c.a e 26,38 m.c.a. A leitura do dia 06 de março de 2017 registrou cota de 89,01 e carga de 21,04 a mais próxima dos valores de atenção. Já o PZ-D01A-04 tem valores de atenção para cota de 88,22m e alerta de 88,70m e os valores da carga de atenção e alerta são respectivamente de 20,11 m.c.a e 20,59 m.c.a. A leitura registrada em 29 de maio de 2017 registrou cota de 86,79 e carga de 18,68, ou seja, valores bem semelhantes aos estabelecidos como advertência.

No dique 01-B todos os piezômetros são extraídos apenas leituras de referência, uma vez que a linha freática na região não condiciona a segurança do dique. E quando avaliado o período de período de enchimento e operação nenhuma leitura se aproximou aos valores de referência estabelecidos dos instrumentos.

Já o dique 01-C apesar de contar com treze piezômetros apenas os seis primeiros apresentam dados para verificação de segurança da estrutura. O PZ-

D01C-06 é o único que apresenta seus dados próximos aos valores de atenção e alerta. Entretanto apesar de ser leituras muito próximo aos níveis de atenção e alerta o gráfico 34 demonstra estabilização dos valores de cota e carga obtidos. Entre o período estudado a leitura do dia 06 de março de 2018 tem valores de 69,82 para cota e 4,55 para carga, e seus valores de referência são 71,20 para cota e 5,93 para carga.

Nos piezômetros não citados as leituras de linha de carga e cota acompanharam a movimentação do nível do reservatório e linha do aterro, além de uns comportamentos absolutamente abaixo dos valores de atenção e alerta estabelecidos para segurança dessas estruturas.

4.2.2 Instrumentação por marcos superficiais

Nos instrumentos de marco superficial o recalque máximo da crista para os diques 01-A, 01-B e 01-C foi adotado deformação vertical equivalente a $0,5\%H$, com base nas simulações de segurança desse instrumento, sendo H a altura da barragem.

Assim, para os marcos instalados em aterros com alturas superiores a 5,00m, característica dos diques 01-A, 01-B e 01-C, o critério utilizado para a determinação dos valores de atenção foi de 50% do deslocamento máximo definido para a crista do Dique, ou seja, $0,25\%H$. Para os valores de alerta, adotou-se 100% do valor, ou seja, $0,50\%H$. Para os marcos superficiais instalados em aterros com alturas inferiores a 5,00m, os valores de atenção e alerta adotados serão, respectivamente, 1,25cm e 2,50cm. A tabela 33 apresenta as leituras referente aos valores de atenção e alerta dos marcos superficiais dos diques.

Tabela 33 - Valores de atenção e alerta para os marcos superficiais instalados no Dique 01-A, 01-B e 01C

DIQUE 01-A					
Instrumento	Cota de Instalação	Deslocamentos Verticais		Deslocamentos Horizontais	
		Valor de Atenção (cm)	Valor de Alerta (cm)	Valor de Atenção (cm)	Valor de Alerta (cm)
MS-D01A-01	100,32	2,6	5,2	2,6	5,2
MS-D01A-02	100,27	6,6	13,2	6,6	13,2
MS-D01A-03	100,31	3,1	6,2	3,1	6,2
MS-D01A-04	91,21	4,4	8,7	4,4	8,7
DIQUE 01-B					
Instrumento	Cota de Instalação	Deslocamentos Verticais		Deslocamentos Horizontais	
		Valor de Atenção (cm)	Valor de Alerta (cm)	Valor de Atenção (cm)	Valor de Alerta (cm)
MS-D01B-01	100,44	1,25	2,5	1,25	2,5
MS-D01B-02	100,33	1,25	2,5	1,25	2,5
MS-D01B-03	100,37	1,25	2,5	1,25	2,5
MS-D01B-04 ¹	99,26	1,5	3	1,5	3
MS-D01B-05 ¹	99,4	1,5	3	1,5	3
DIQUE 01-C					
Instrumento	Cota de Instalação	Deslocamentos Verticais		Deslocamentos Horizontais	
		Valor de Atenção (cm)	Valor de Alerta (cm)	Valor de Atenção (cm)	Valor de Alerta (cm)
MS-D01C-01	100,09	2	3	2	3
MS-D01C-02	100,21	3,1	3,7	3,1	3,7
MS-D01C-03	100,26	7,1	14,2	7,1	14,2
MS-D01C-04	100,31	8,6	17,2	8,6	17,2
MS-D01C-05	100,36	6,4	12,7	6,4	12,7
MS-D01C-06	80,73	3,7	7,4	3,7	7,4
MS-D01C-07	80,11	3,8	7,6	3,8	7,6
MS-D01C-08	80,06	3,6	7,1	3,6	7,1

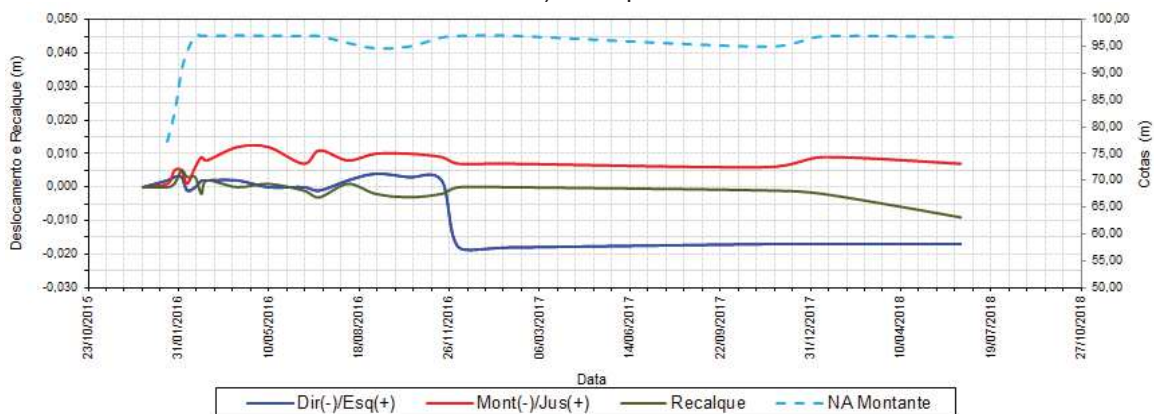
Fonte: Manual de instrumentação Dique 01-A, 01-B e 01-C, Norte Energia: S.A (2018).

⁽¹⁾ Níveis revisados em função das leituras observadas durante o 1º ano de operação.

Tomando-se como base o acompanhamento das leituras dos marcos superficiais realizado após o enchimento do reservatório e durante o primeiro ano de operação, observa-se que os deslocamentos medidos pelos marcos superficiais estão dentro da normalidade. Dessa forma, para os marcos superficiais indicados o valor de referência foi revisado em função dos deslocamentos observados no período. Leituras posteriores que venham a ultrapassar tais valores e que indiquem tendência de aumento nos deslocamentos deverão ser avaliadas caso a caso.

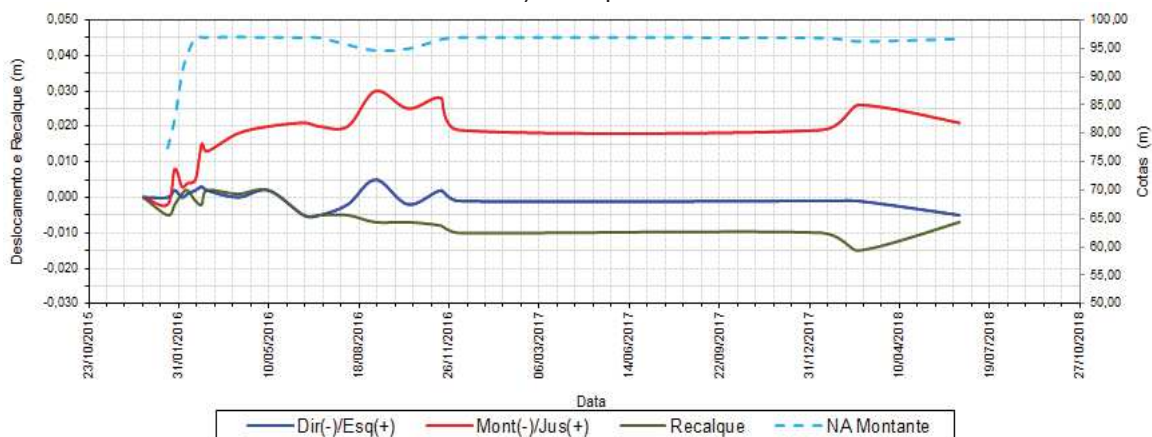
Os gráficos 47 a 50 apresentam as leituras dos marcos superficiais que revelam os deslocamentos e recalques sofridos pelo dique 01-A no período do enchimento e operação.

Gráfico 47 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 01 (MS-D01A-01) do dique 01-A



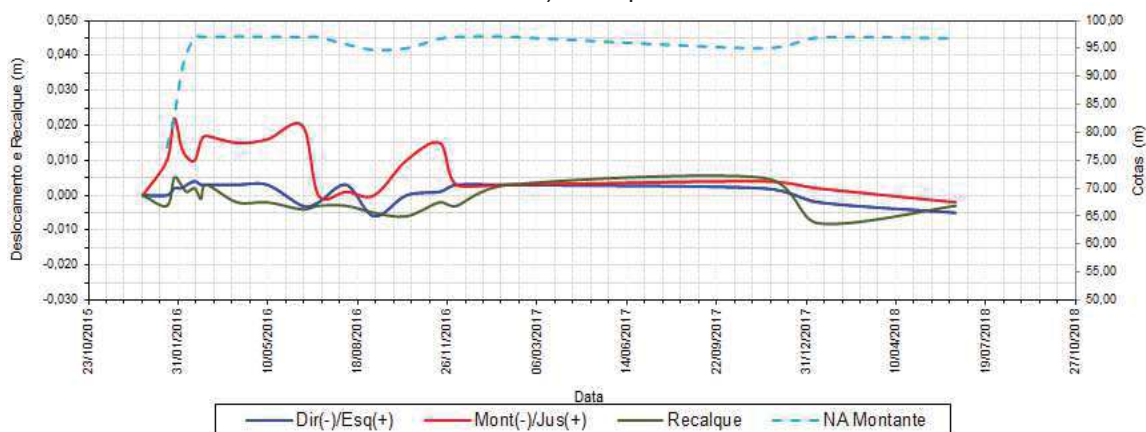
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 48 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 02 (MS-D01A-02) do dique 01-A



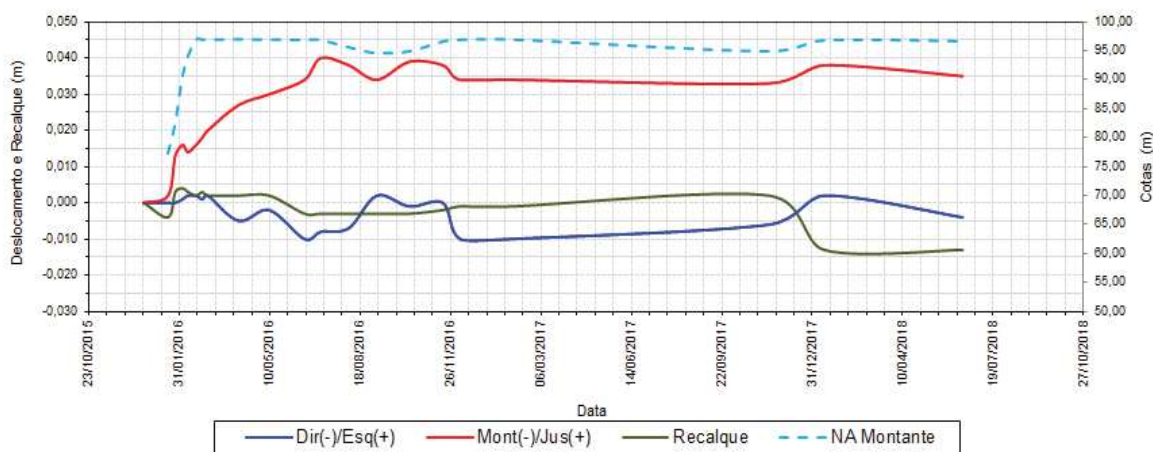
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 49 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 03 (MS-D01A-03) do dique 01-A



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

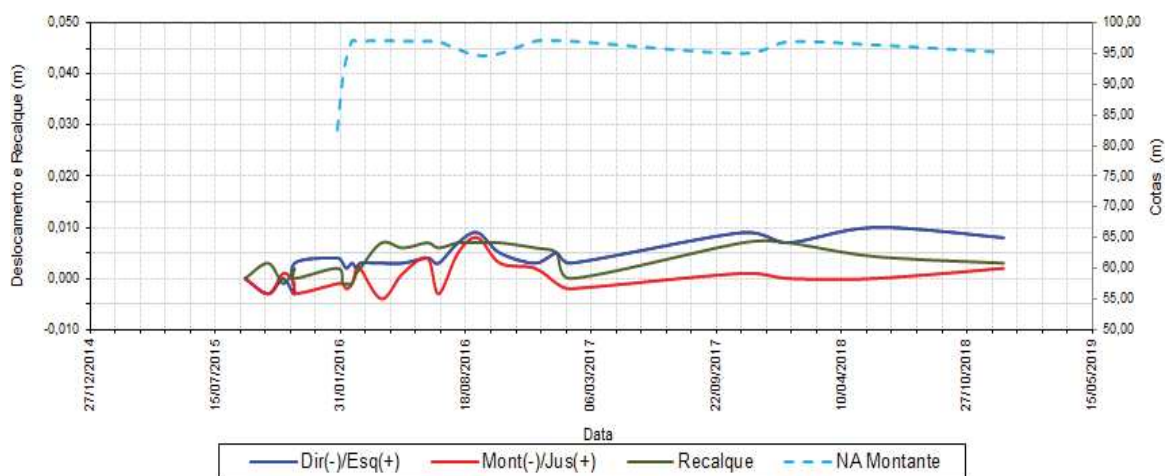
Gráfico 50 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 04 (MS-D01A-04) do dique 01-A



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

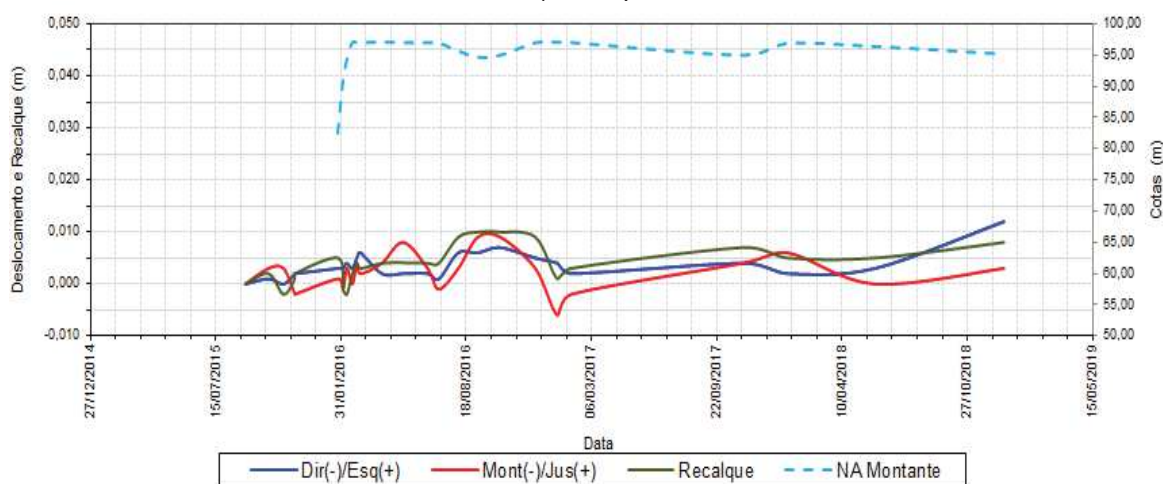
Os gráficos 51 a 55 apresentam as leituras dos marcos superficiais que revelam os deslocamentos e recalques sofridos pelo dique 01-B no período do preenchimento e operação.

Gráfico 51 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 01 (MS-D01B-01) do dique 01-B



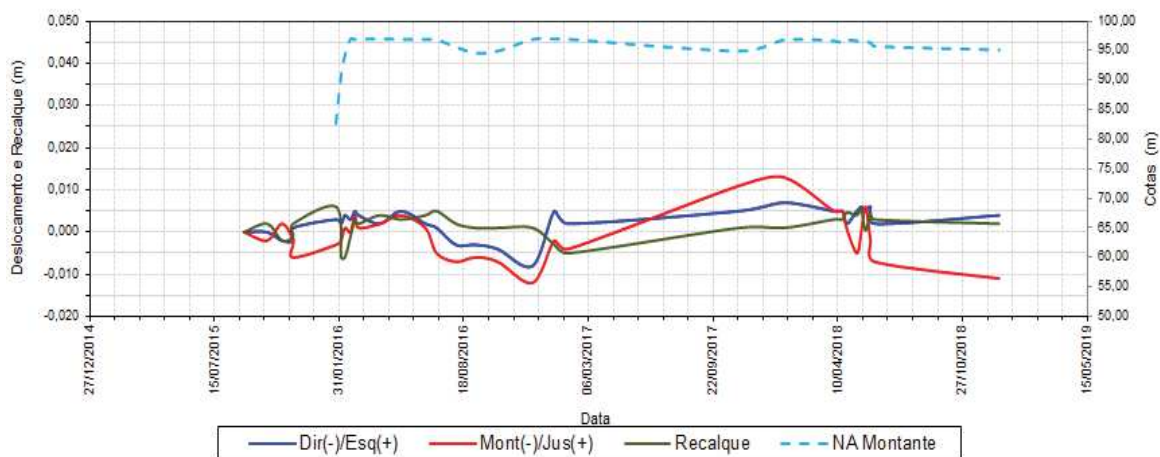
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 52 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 02 (MS-D01B-02) do dique 01-B



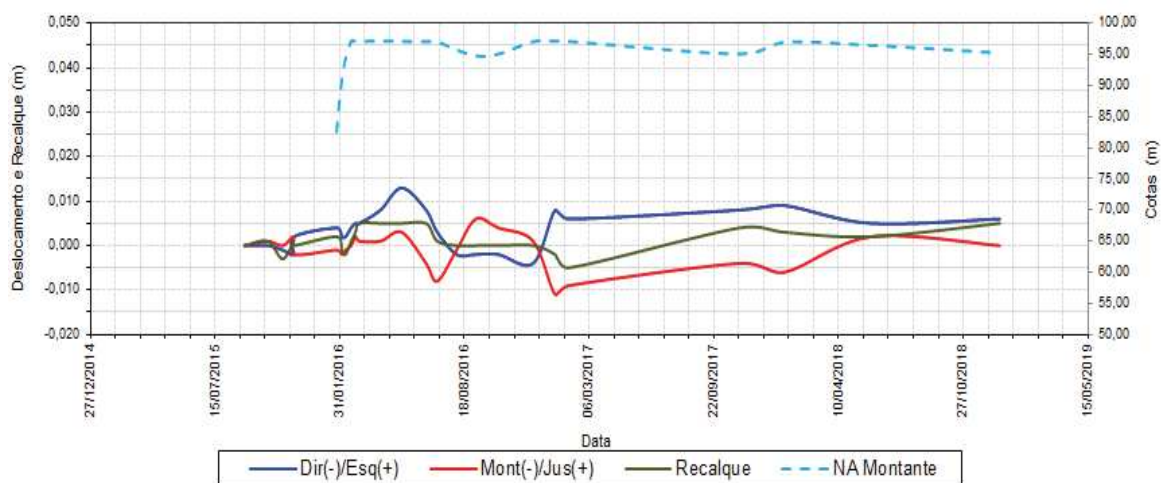
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 53 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 03 (MS-D01B-03) do dique 01-B



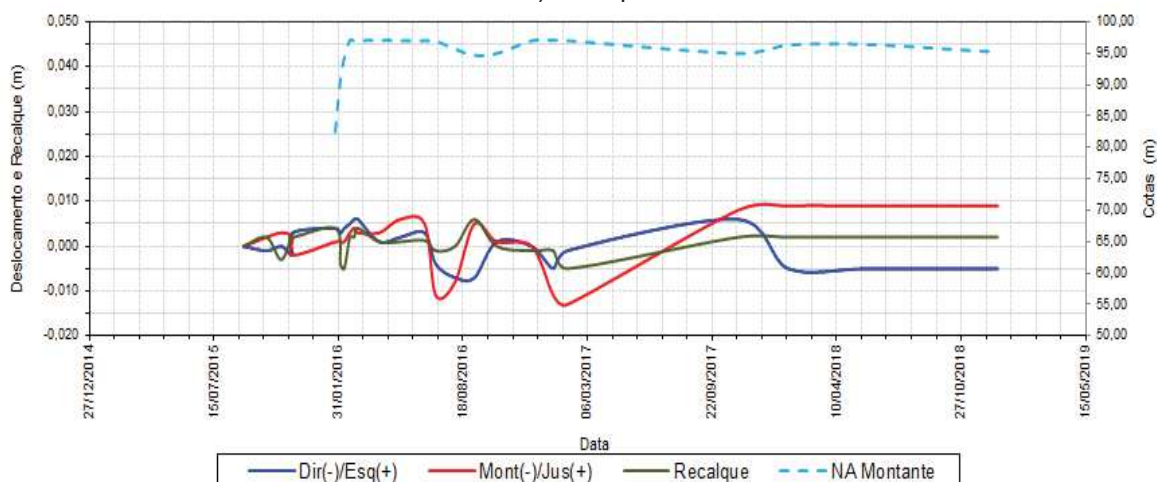
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 54 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 04 (MS-D01B-04) do dique 01-B



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

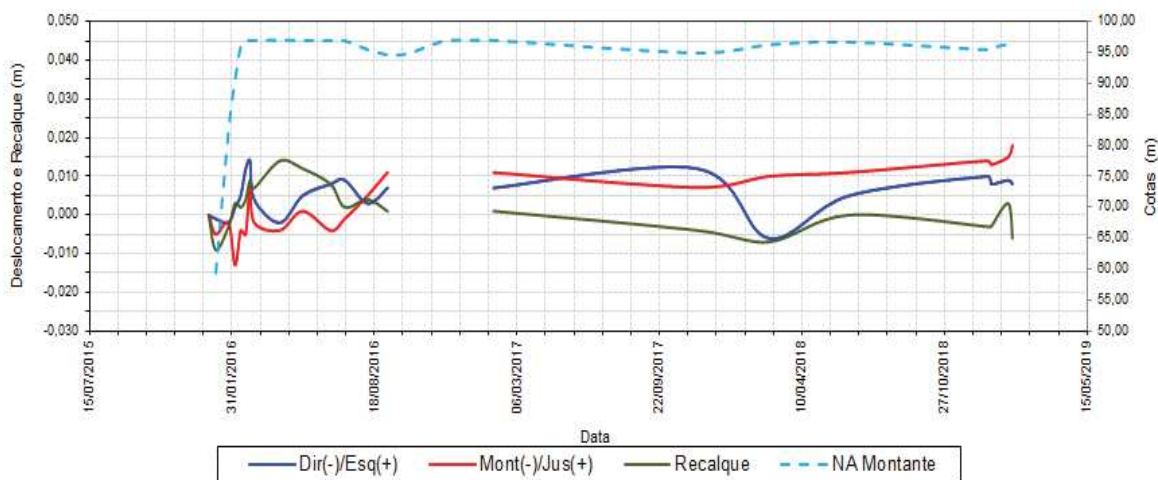
Gráfico 55 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 05 (MS-D01B-05) do dique 01-B



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

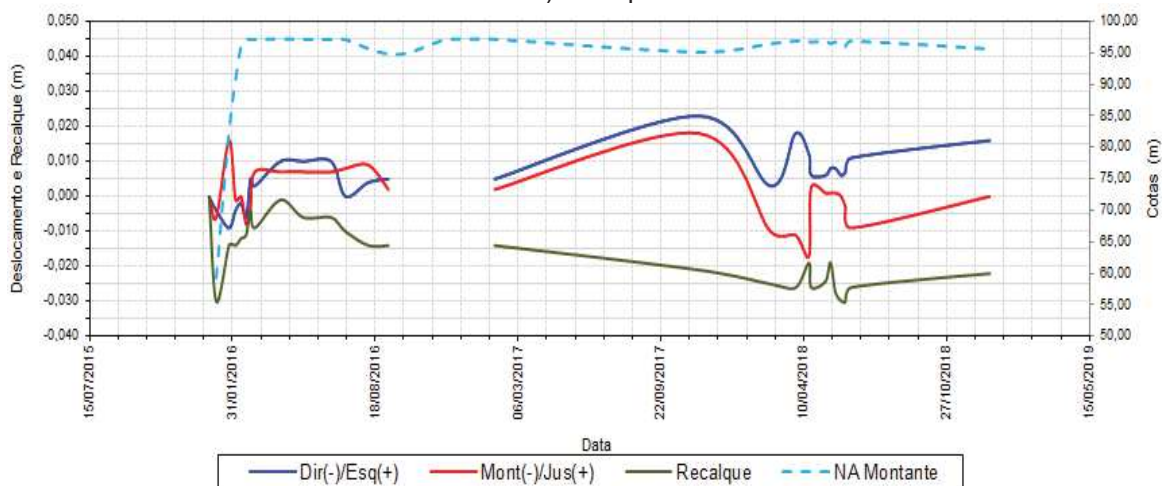
Os gráficos 56 ao 63 apresentam as leituras dos marcos superficiais que revelam os deslocamentos e recalques sofridos pelo dique 01-C no período do pre-enchimento e operação.

Gráfico 56 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 01 (MS-D01C-01) do dique 01-C



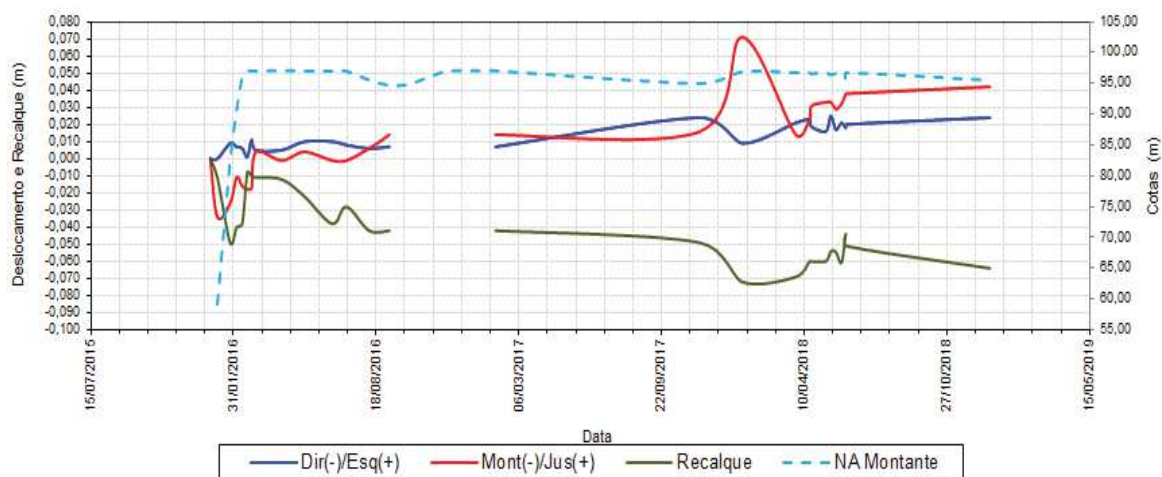
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 57 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 02 (MS-D01C-02) do dique 01-C



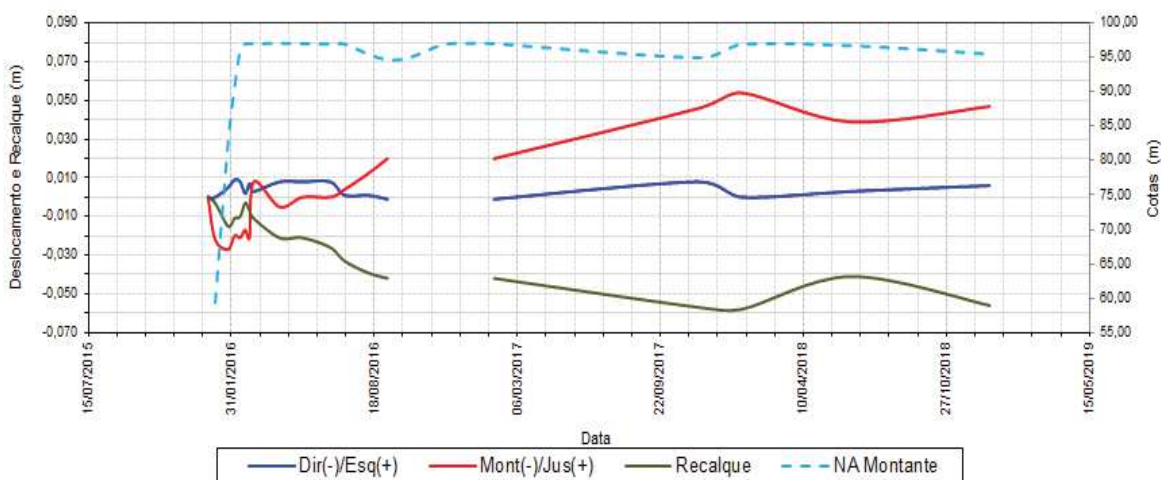
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 58 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 03 (MS-D01C-03) do dique 01-C



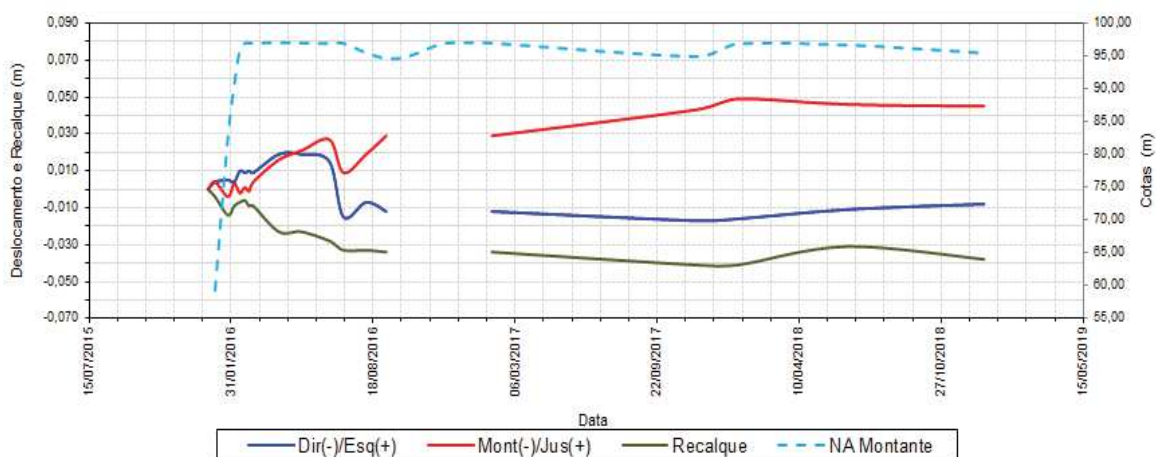
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 59 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 04 (MS-D01C-04) do dique 01-C



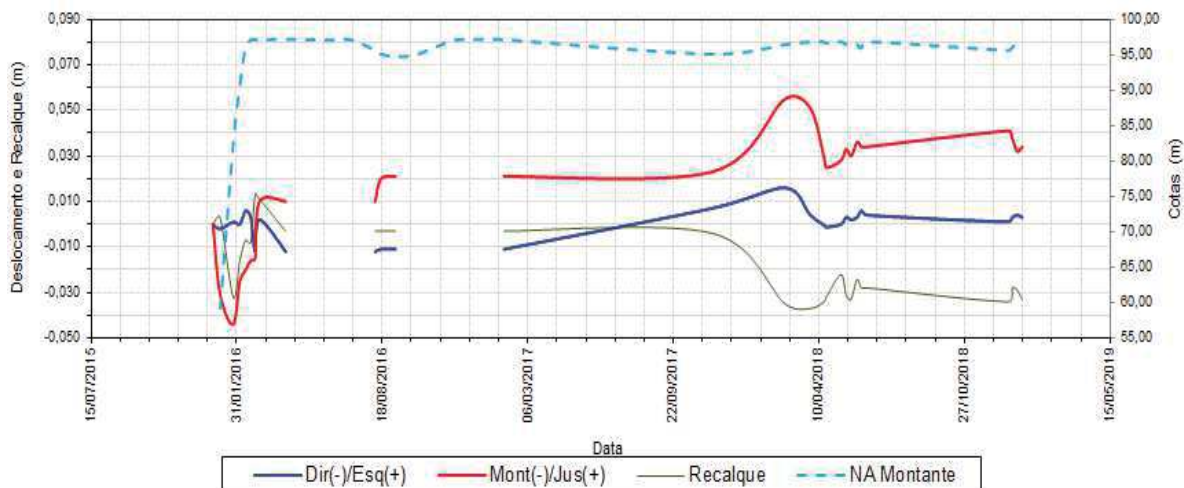
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 60 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 05 (MS-D01C-05) do dique 01-C



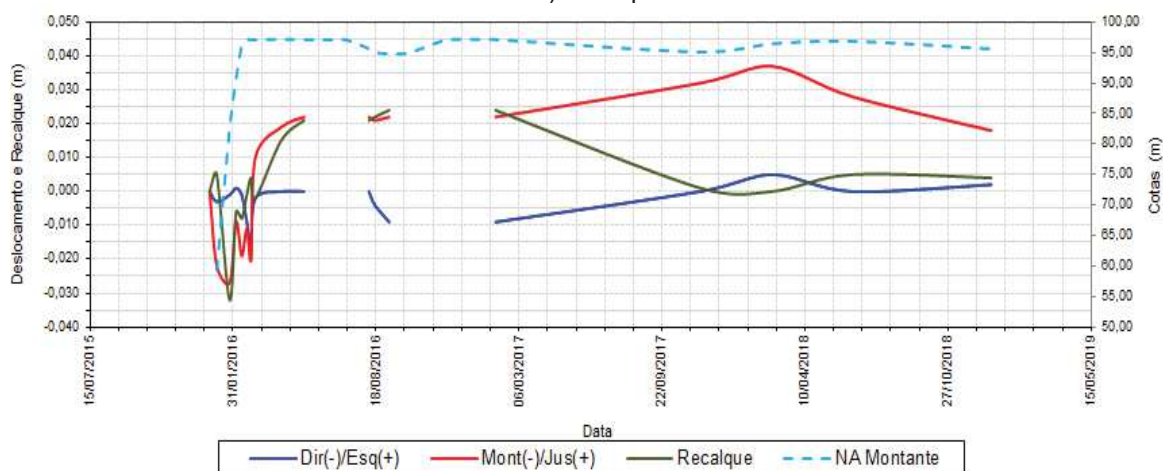
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 61 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 06 (MS-D01C-06) do dique 01-C



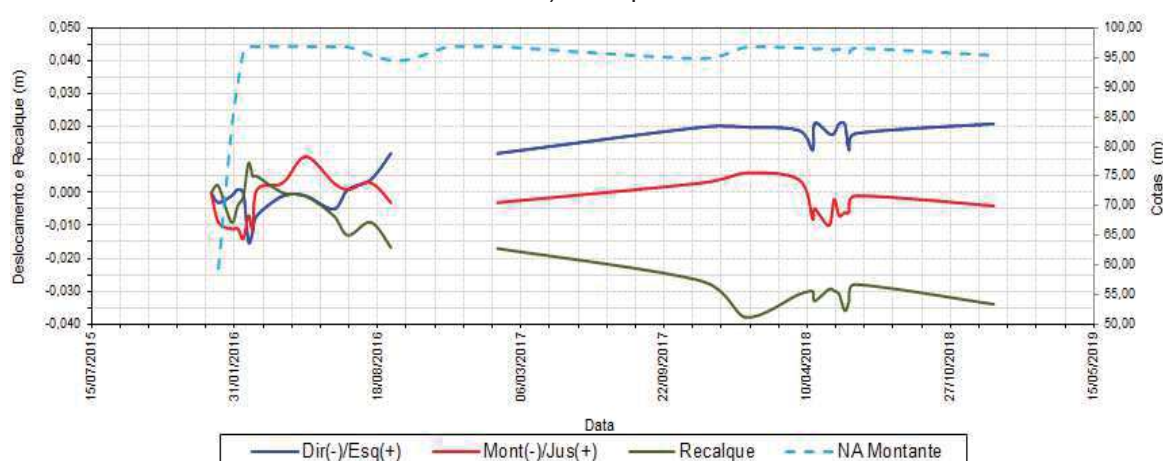
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 62 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 07 (MS-D01C-07) do dique 01-C



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

Gráfico 63 - Leitura dos deslocamentos e recalques em metro do marco superficial 08 (MS-D01C-08) do dique 01-C



Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação, Norte Energia S.A (2018).

A análise dos gráficos 47 ao 63 referente a leitura de deslocamentos e recalques dos marcos superficiais instalados no corpo do aterro dos diques 01-A, 01-B e 01-C reforça que em conformidade com a tabela 25 que apresenta os valores de atenção e alerta respectivamente definidos para deformação equivalente a 0,25% e 0,5%H, sendo H a altura da barragem. Os deslocamentos verticais e horizontais o comportamento dos barramentos estão dentro dos parâmetros aceitáveis para a segurança da estrutura.

Apesar dos dados não representarem um comportamento estático e/ou estável todas as variações dentro do período do enchimento e operação não representaram nenhum risco aos níveis de atenção e alerta. Portanto, no período

estudado as estruturas dos diques 01-A, 01-B e 01-C tiveram bom comportamento estrutural dispensando a necessidade de intervenção por recalque ou deslocamentos.

4.2.3 Instrumentação por medidores triangulares de vazão

Os medidores de vazão dos diques 01-A, 01-B e 01-C têm a função de monitorar a percolação através da fundação e do sistema de drenagem interno do dique. As águas efluentes do sistema de drenagem interno são de interesse para a segurança da barragem principalmente em dois aspectos: fluxo incidente e transporte de partículas sólidas. Observações de vazões crescentes ao longo do tempo e presença de material fino em suspensão podem refletir alguns dos problemas que podem ocorrer com este tipo de estrutura.

No entanto, os valores medidos devem ser tomados apenas como referência para auxiliar na interpretação do comportamento da estrutura, juntamente com a avaliação das leituras de outros instrumentos e devem ser analisados em conjunto com dados piezométricos para verificar a eficiência do sistema de drenagem interna. A tabela 34 contém os valores de referência para os medidores de vazão dos diques 01-A, 01-B e 01-C.

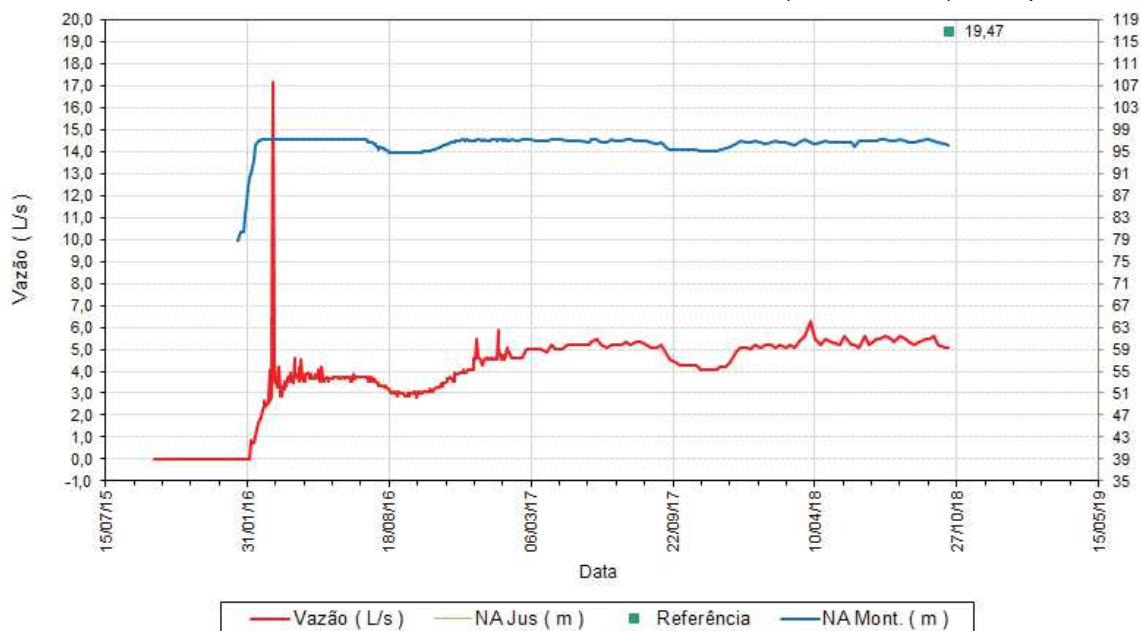
Tabela 34 - Valor de referência para os medidores de vazão

DIQUE 01-A			
Instrumento	Vazão (l/s)	Placa	Capacidade de Medição (l/s)
	Valor de Referência	H (cm)	
MV-D01A-01	19,47	20	26,12
DIQUE 01-B			
Instrumento	Vazão (l/s)	Placa	Capacidade de Medição (l/s)
	Valor de Referência	H (cm)	
MV-D01B-01	0,02	10	4,62
DIQUE 01-C			
Instrumento	Vazão (l/s)	Placa	Capacidade de Medição (l/s)
	Valor de Referência	H (cm)	
MV-D01C-01	8,2	20	26,12
MV-D01C-02	4,34	10	4,62
MV-D01C-03	6,1	20	26,12

Fonte: Manual de instrumentação Dique 01-A, 01-B e 01-C, Norte Energia: S.A (2018)

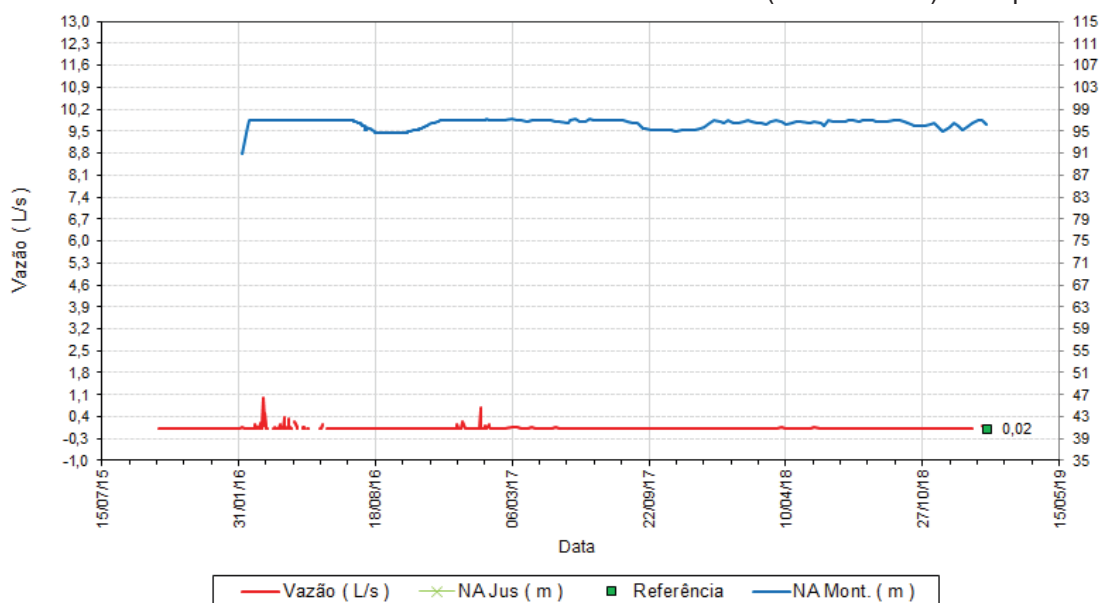
Os gráficos 64 ao 68 apresentam as leituras dos medidores de vazão dos diques 01-A, 01-B e 01-C em litro por segundo no período de 2015 a 2018.

Gráfico 64 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01A-01) do dique 01-A

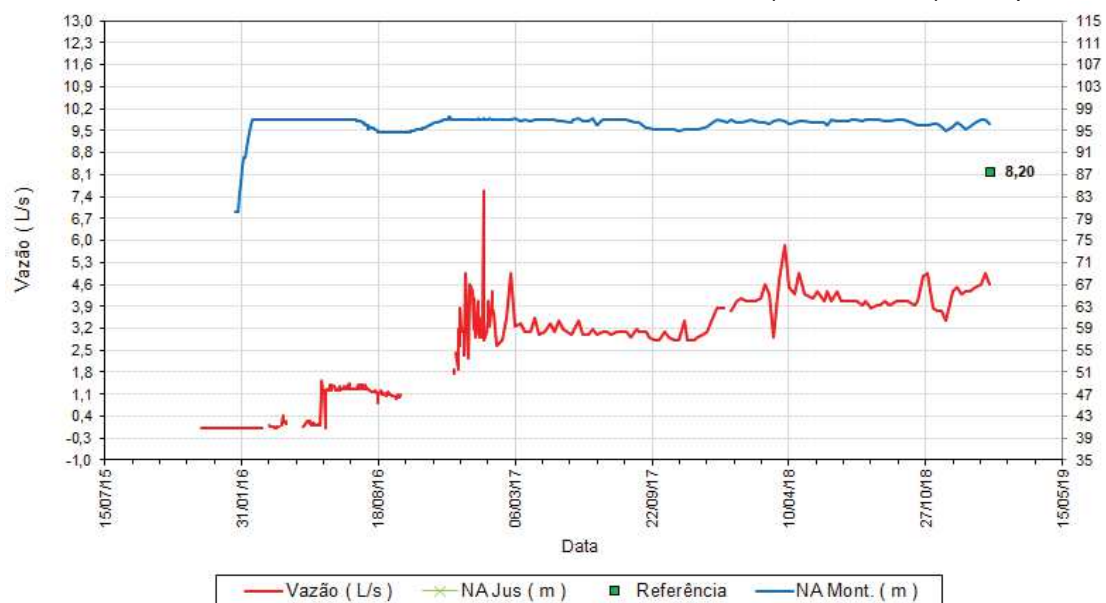


Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação Dique 01-A, Norte Energia S.A (2018).

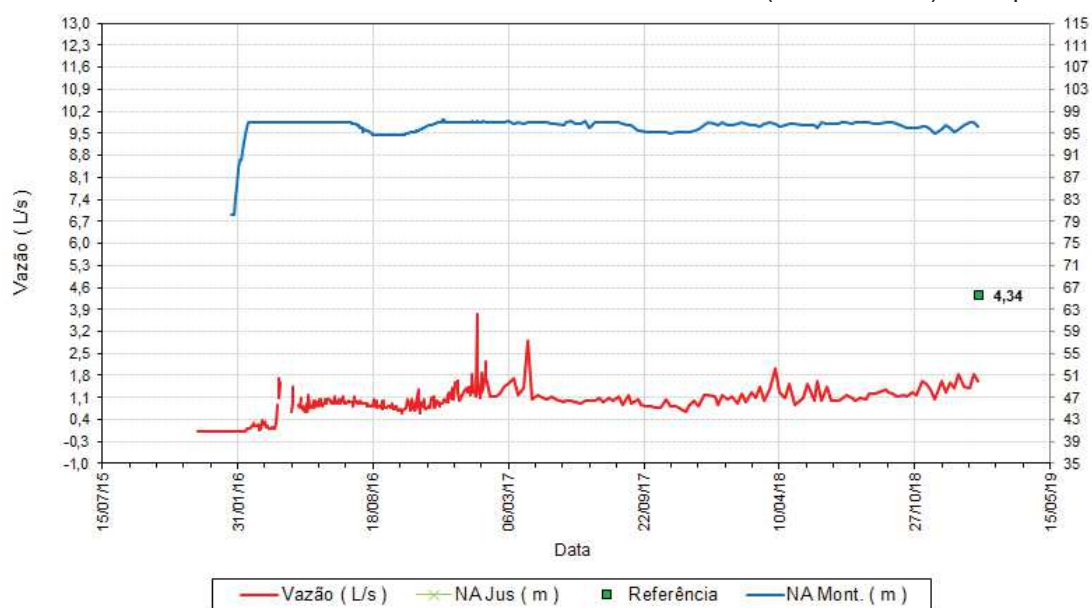
Gráfico 65 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01B-01) do dique 01-B



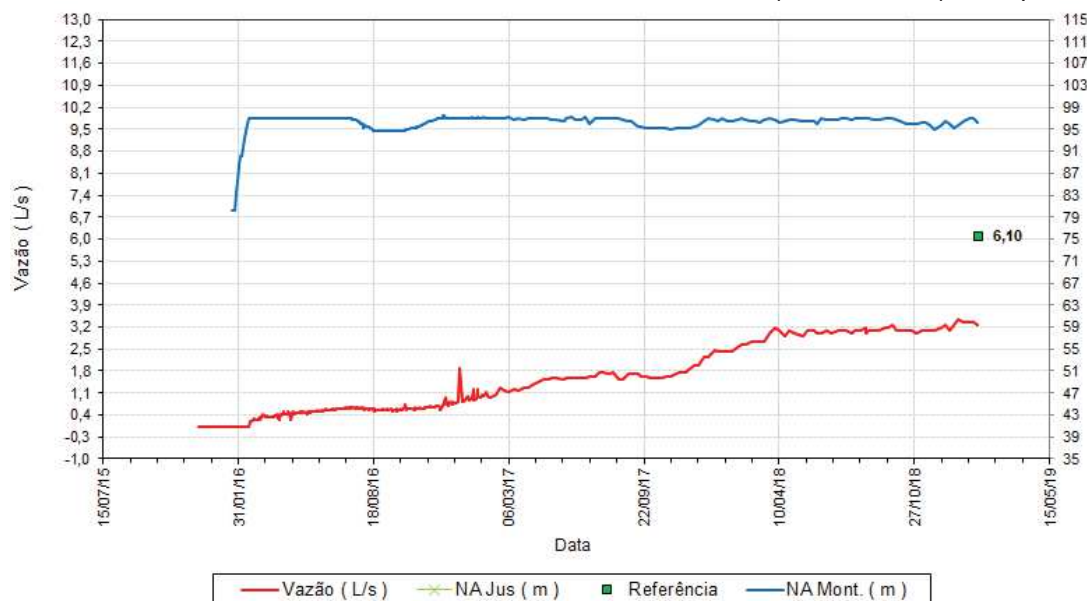
Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação Dique 01-B, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 66 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01C-01) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação Dique 01-C, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 67 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01C-02) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação Dique 01-C, Norte Energia S.A (2018)

Gráfico 68 - Leitura da vazão em L/s do medidor de vazão (MV-D01C-03) do dique 01-C

Fonte: Relatório dos instrumentos de auscultação Dique 01-C, Norte Energia S.A (2018).

Após análise dos gráficos dos medidores de vazão onde o valor de referência é correspondente à vazão obtida da modelagem numérica, sob regime de operação (El. 97,00), majorada por cinco. Este valor representa 50% da vazão calculada para o dimensionamento do sistema interno de drenagem das estruturas. O gráfico 64 referente ao diques 01-A registrou ainda no ano de 2016 um pico de vazão muito próximo ao valor de referência considerado de atenção.

No gráfico 65 que representa o dique 01-B até o ano de 2017 foi constatado em pelo menos três leituras instrumental uma vazão acima da referência permitido para a estrutura. Junto com essas leituras houve distorção nos dados piezométricos das mesmas estruturas, em períodos próximos. Quando a mesma anomalia, não conformidade e/ou manifestação fora do desejável se apresentam simultâneo em ambas metodologias de monitoramento. Logo, é a situação mais desfavorável a segurança da barragem e requer ação emergencial imediata.

Os medidores de vazão do dique 01-C apresentaram leituras bem abaixo da referência para atenção em todo período do enchimento e operação da estrutura. Os piezômetros do dique também não revelaram nenhuma leitura que pudesse colocar a segurança em risco.

4.2.4 Instrumentação por referência de nível

As referências de nível são pontos indeslocáveis que servem apenas para apoio e fixação do teodolito/estação total para realização de levantamentos topográficos. Portanto, apesar de compor parte da instrumentação de auscultação dos diques 01-A, 01-B e 01-C, não há dados ou gráficos sobre o monitoramento desse instrumento. A tabela 35 apresenta a estaca, afastamento do eixo do dique e cota de instalação de cada instrumento.

Tabela 35 – Dados dos instrumentos de referência no nível dos diques 01-A, 01-B e 01-C

DIQUE 01-A			
Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
RN-D01A-01	0+7,30	21,98(J)	103,9
RN-D01A-02	10+14,68	22,27(J)	107,91
DIQUE 01-B			
Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
RN-D01B-01	0+8,31	20,81(J)	103,15
RN-D01B-02	5+18,82	17,40(J)	102,02
DIQUE 01-C			
Instrumento	Estaca	Afastamento do Eixo do Dique	Cota de Instalação
RN-D01C-01	00 -8,19	11,30(M)	104,08
RN-D01C-02	38+9,34	29,79 (J)	101,14

Fonte: Manual de instrumentação Dique 01-A, 01-B e 01-C, Norte Energia: S.A (2018).

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

A partir da análise dos diques 01-A, 01-B e 01-C o percurso metodológico adotado foi eficaz para fundamentar os objetivos desta pesquisa e auxiliaram na discussão sobre a segurança dos diques. Os estudos buscaram um melhor entendimento sobre os procedimentos de monitoramento de segurança de barragens que é resultado das inspeções visuais e instrumentais, e foram abordados de forma detalhada, permitindo estabelecer, a partir da integração das informações, que apesar dos 364 eventos adversos a harmonia da segurança dos diques e constados nos *check lists* desde o enchimento até os de operação entre os anos de 2015 a 2018, a maioria que avolumaram e que se repetiam eram itens inspecionados de menor gravidade a segurança e que recaía no processo de comissionamento que ainda não havia sido concluída.

As ocorrências mais adversas a segurança das estruturas também se submetia a hierarquia do comissionamento, uma vez que esse processo não estava concluído. Assim, a responsabilidade é da empresa executora CCMB - Consórcio Construtor Belo Monte. Todavia, quando observado os *check lists* do ano de 2018 a maioria das ocorrências haviam sido mitigadas, logo, se aproximava a entrega das estruturas a empresa de operação Norte Energia.

Apesar do enchimento do reservatório causar imediatamente fenômenos naturais como saturação e subpressões o desempenho dos diques 01-A, 01-B e 01-C foram adequados. Todavia através da análise dos gráficos dos instrumentos de auscultação só foi possível alcançar a estabilização nas leituras a partir do primeiro ano após o enchimento. Foster et al. (2000) apresenta estatísticas de que cerca de 50% das falhas envolvendo barragens ocorrem durante o primeiro enchimento e 64% de situações que contrariam a segurança da estrutura ocorrem nos primeiros 5 anos de operação. Existem recomendações internacionais de que haja o projeto de monitoramento do primeiro enchimento, e que essa ação não deve se limitar ao enchimento em si conforme aconteceu na UHE Belo Monte.

É sabido que os órgãos fiscalizadores de segurança de barragens no Brasil têm autonomia para legislar dentro de suas competências obedecendo as diretrizes da PNSB. As Usinas Hidrelétricas são fiscalizadas diretamente pela ANEEL, as informações são encaminhadas para a ANA que por sua vez emite o Relatório Anual de Segurança de Barragens, que é encaminhado para o Conselho Nacional de Recursos Hídricos e para o Congresso Nacional. Entretanto nenhum desses órgãos brasileiros exige uma metodologia clara ou proposta de um plano sobre o primeiro enchimento conforme as metodologias já adotadas no âmbito internacional. Fundamentado pelas estatísticas das pesquisas e procedimentos praticados internacionalmente é importante que o Brasil adote um plano mais específico que envolva a velocidade do enchimento, o monitoramento com instrumentos de resposta rápida e planos de contingenciamento.

Quanto à existência de correlação entre as metodologias de inspeção de campo com os resultados de leitura dos instrumentos, foi uma associação positiva e sempre desempenharam um papel importante para tomada de decisões em todo período do enchimento e operação do complexo hidrelétrico da UHE Belo Monte.

Diferente do dique 01-C que não sofreu nenhuma intervenção no período estudado, os diques 01-A e 01-B foram submetidos a ações de correção para garantir a segurança, pautados pelas ocorrências registradas em campo com leituras dos instrumentos que registravam variações. E foi justamente a correlação que fortaleceu a necessidade de intervir com urgência.

Em linhas gerais, os mecanismos de monitoramento não necessariamente se associam, uma não conformidade nas inspeções visuais não obriga o instrumental ter uma leitura fora da referência. Porém, a análise desses mecanismos de forma casada garante uma conservação e maior segurança da estrutura. Pode-se observar três cenários para tomada de decisão, a saber:

I – Apenas uma metodologia de monitoramento apresentou não conformidades ou evidência de comportamento fora do desejável. Quando a inspeção se encaixa nesse cenário a anomalia requer reparo, entretanto, a segurança do dique não está comprometida.

II – Quando diferentes não conformidades e/ou anomalias se apresentam concomitante tanto na inspeção visual, quanto no monitoramento por

instrumentação. Essa situação requer ação corretiva a curto prazo, além de ser considerada um cenário desfavorável a segurança da estrutura.

III - Quando a mesma anomalia, não conformidade e/ou manifestação fora do desejável se apresentam simultâneo em ambas metodologias de monitoramento. Logo, é a situação mais desfavorável a segurança da barragem e requer ação emergencial imediata.

Foi pautada no segundo cenário que os diques 01-A e 01-B foram submetidos a intervenções a jusante. Portanto, pode-se afirmar que não há uma metodologia mais importante que a outra, mas que o emprego de ambas se complementam para fornecer mais segurança a barragem e permitir a implantação de medidas anteriores à ocorrência de qualquer emergência na estrutura, mitigando a possibilidade de uma situação emergencial e de todas as consequências associadas ao cenário com ela relacionadas.

5.2 Sugestões Para trabalhos futuros

Diante da presente dissertação, sugere-se a elaboração de novas pesquisas, a fim de ampliar a compreensão dos procedimentos de monitoramento de segurança do complexo Belo Monte. Uma vez que a UHE é composta por diferentes sítios e estruturas com diferentes processos executivos. Portanto, aconselha-se os seguintes pontos de pesquisas futuras:

- a) Realizar o estudo de monitoramento de segurança no período do enchimento e operação nas estruturas de concreto que compõe o complexo Belo Monte;
- b) Ampliar a análise do monitoramento de segurança de estruturas em diferentes sítios que arranja a UHE Belo Monte;
- c) Avaliar as ocorrências registradas após o enchimento do reservatório em estruturas executadas em solo compactado com seção homogênea e as de concreto;
- d) Proceder com o estudo dos procedimentos de monitoramento no cenário pós comissionamento das estruturas;

- e) Simular por meio de modelagem o enchimento dos reservatórios considerando o fluxo e diferentes vazão para obter o menor impacto possível.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2011**. Brasília: ANA, 2013. 95 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2012-2013**. Brasília: ANA, 2015a. 124 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2014**. Brasília: ANA, 2015b. 156 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de segurança de barragens 2015**. Brasília: ANA, 2016. 1684 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume III**. Brasília: ANA, 2016. 70 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

AGUIAR, D. P. O. **Contribuição ao estudo do índice de segurança de barragens – ISB**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2014.

ANTHINIAC, P.; BONELLI, S.; CARRÈRE, A.; DÉBORDES, O. **Modeling saturation settlements in rockfill dams. Proceedings of the International**

Symposium on New Trends and Guidelines on Dam Safety, ICOLD, Barcelona, Espanha, 2: 841-847, 1998.

ARCOVERDE, W. **Acidentes com barragens no Brasil estão acima da média mundial, admite DNPM**. In: SEMINÁRIO SOBRE MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE, 2015, Belo Horizonte. Seminário realizado pela Procuradoria Geral da República (PGR) 2015. Disponível em: < <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/11/12/acidentes-com-barragens-no-brasil-estao-acima-da-media-mundial-admite-dnpm.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de Planos de Ações Emergenciais para inundações induzidas por barragens. Estudo de caso: Barragem de Peti-MG**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

BOWLES, D. S.; ANDERSON, L. R.; GLOVER, T. F.; CHAUHAN, S. S. **Understanding and Managing The Risk of Aging Dams: Principles and Case Studies**. Nineteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture. Atlanta, 1999.

BRASIL. **Lei Federal 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 9433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei 9984, de 17 de julho de 2000.

BRASIL. ANA – Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 91, de 02 de Abril de 2012**. Estabelece a Periodicidade de Atualização, a Qualificação do Responsável Técnico, o Conteúdo Mínimo e o Nível de Detalhamento do Plano de Segurança de Barragens e da Revisão Periódica da Segurança de Barragens, Conforme Artigo 8º, 10 e 19 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

BRASIL. ANA – Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 742, de 17 de Outubro de 2011.** Estabelece a Periodicidade, Qualificação da Equipe Responsável, Conteúdo Mínimo e Nível de Detalhamento das Inspeções de Segurança Regulares de Barragem, Conforme Artigo 9º da Lei nº 12.334 de 20 de Setembro de 2010.

BRASIL. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 59, de 20 de Agosto de 2013.** Proposta de regularização do Plano de Ação de Emergência (PAE) a ser aplicado pelo Setor Elétrico Brasileiro (SEB), em conformidade com os artigos 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de Setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

BRASIL. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 76, de 29 de Outubro de 2013.** Regulamentação dos critérios para classificação dos empreendimentos de energia elétrica por Categoria De Risco e Dano Potencial Associado.

BRASIL. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 77, de 29 de Outubro de 2013.** Regulamentação do conteúdo mínimo do Plano de Segurança de Barragens, Características e Periodicidade dos Tipos de Inspeção, Revisão Periódica de Segurança de Barragens e Obrigações do Empreendedor.

BRASIL. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 696, de 15 de Dezembro de 2015.** Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

BRASIL. CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 143, de 10 de Julho de 2012.** Estabelece Critérios Gerais de Classificação de Barragens por Categoria de Risco, Dano Potencial Associado e pelo Volume do Reservatório, em Atendimento ao Artigo 7º da Lei nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010.

BRASIL. CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 144, de 10 de Julho de 2012**. Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. DNPM – Departamento Nacional De Produção Mineral. **Portaria nº 70.389, de 17 de Maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

CASTRO, G. F. **A regulamentação e fiscalização sobre segurança de barragens no Brasil e no mundo**. In: Simpósio sobre segurança de barragens e riscos associados, [20--], Porto Alegre. Palestra.

DIAS, JOÃO DO Ó MONTEIRO PEIXOTO. **Efeitos do Clima no Comportamento de Barragens de Terra-Enrocamento**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

DIVINO, PAULA LUCIANA. **Comportamento de enrocamentos em barragens [manuscrito]: estudo de caso da Barragem de Emborcação**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Geotecnia de barragens, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

DUNNICLIFF, J. **Geotechnical instrumentation for monitoring field performance**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

FAHLBUSCH, H. **Early dams. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering History and Heritage**, London, v. 162, n. 1, p. 13-18, fev. 2009.

FELL, R.; MACGREGOR, P., STAPLEDON, D.; BELL, G. **Geotechnical engineering of dams**. London: Taylor & Francis Group plc, 2005. 905 p.

FERC (2003). **Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects**. Chapter IX – Instrumentation and Monitoring. Federal Energy Regulatory Commission.

FONSECA, ALESSANDRA DA ROCHA. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – estudo de caso das barragens da UHE São Simão**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003

FOSTER M., R. FELL, AND M. SPANNAGLE (2000). **The statistics of embankment dam failures and accidents**, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, Issue 5, pp. 1000–1024.

FRANCO, D. **Barragem de Mariana era do tipo mais barato e arriscado, diz especialista**. In: CONFERÊNCIA sobre as barragens do quadrilátero ferrífero de Minas Gerais, 2015, Belo Horizonte. Conferência realizada na Federação das Indústrias do estado de Minas Gerais (FIEMG) 2015. Disponível em: <<http://riscossegurobrasil.com/materia/barragem-de-mariana-era-do-tipo-mais-barato-e-arriscado-diz-especialista/>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS (ICOLD). **Dams and the world's water: an educational book that explains how dams help to manage the world's water**. Johannesburg: ICOLD, 2016.

JUSTO, J. L. (1991). **Collapse: its importance, fundamentals and modelling. Advances in Rockfill Structures**, E. Maranha ds Neves (ed.), Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 97-152.

KJAERNSLI, BJÖRN; VALSTAD, T.; HÖEG, K. (1992). **Rockfill Dams, Design and Construction. Norwegian Institute of Technology**, Norway, Volume 10, 141 p.

KUPERMAN, S.C.; MORETTI, M.R.; RE, G.; PEREIRA, P. N.; SANTOS, R.P. E FERREIRA, W.V.F. (2005). **Reavaliação da Instrumentação de Auscultação Instalada em Barragens da CESP**. XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, p. 116-134, Salvador, BA.

SAMPAIO, J. A. L. **The deficiencies of the emergency action planning for dams in Brazil**. Revista Brasileira de Direito. Vol. 12 (2): 7-17, 2016.

SANTOS, M. B. **Análise Computacional do Rompimento Hipotético da Barragem de Tucuruí-PA com o auxílio do software MIKE FLOOD**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA), Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2017.

SILVEIRA, J. F. A.. **Modernização e reinstrumentação de barragens**. In: Simpósio sobre segurança de barragens e riscos associados, 2015, Porto Alegre. Palestra.

SILVEIRA, J. F. A. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 416p.

SOUZA, G. TIGRE. **Dosagem experimental de concreto massa com adição de sílica ativa aplicado em barragem**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental (PEBGA), Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2017.

MANUAL A ENGENHARIA NOS EMPREENDIMENTOS (MEE). **Usinas de aproveitamento hidrelétrico**. Belo Horizonte: CREA-MG, 2017. 8p.

MARANGON, M. **Barragens de terra e enrocamento**. Juiz de Fora: UFJF, 2004. Apostila da disciplina Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Disponível em <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid05.pdf>. Acesso em 12 nov. 2018.

MEDEIROS, C. H. de A. C. **A Regulamentação da Lei de Segurança de Barragens e seus Desafios: Relato de uma Experiência**. Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB, XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Porto de Galinhas - PE, 2013.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília: MIN, 2002. 150 p.

OLIVEIRA, NOELLE. **Desastre em Mariana é o maior acidente mundial com barragens em 100 anos**. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-01/desastre-em-mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos>>. Acesso em: 17 nov. 2018.

PECK, R. B. **Judgement in Geotechnical Engineering – The Professional Legacy of Ralph B. Peck**. New York: John Willey & Sons, 1984. 332p.

PENG, M.; ZHANG, L. M. **Analysis of human risks due to dam-break floods – part 1: a new model based on Bayesian networks**. Natural Hazards, 64: 903-933, 2012.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório de apresentação de segurança de barragem**. Brasília: Norte Energia, 2018. 90 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório de apresentação novos colaboradores**. Brasília: Norte Energia, 2018. 71 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de ações emergências (PAE) – Dique 01-A.** Brasília: Norte Energia, 2016. 88 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de segurança de barragens (PSB) – Arcabouço Geral.** Brasília: Norte Energia, 2016. 270 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de segurança de barragens (PSB) – Dique 01-A.** Brasília: Norte Energia, 2016. 42 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de ações emergências (PAE) – Dique 01-B.** Brasília: Norte Energia, 2016. 88 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de segurança de barragens (PSB) – Dique 01-B.** Brasília: Norte Energia, 2016. 42 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de ações emergências (PAE) – Dique 01-C.** Brasília: Norte Energia, 2016. 88 p.

USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE (UHE BELO MONTE). **Relatório técnico do plano de segurança de barragens (PSB) – Dique 01-C.** Brasília: Norte Energia, 2016. 42 p.

**ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS – Diques 01-A, 01-B E 01-C –
PSB/2016**

CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS

NOME DA BARRAGEM	Dique 01-A, Dique 01-B e Dique 01-C
NOME DO EMPREENDEDOR	Norte Energia S.A
DATA	10/06/2016

CATEGORIA DE RISCO		PONTOS		
		DIQUE 01-A	DIQUE 01-B	DIQUE 01-C
1	Características Técnicas (CT)	18	17	20
2	Estado de Conservação (EC)	6	6	6
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	0	0	0
Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS		24	23	26

DANO POTENCIAL ASSOCIADO	PONTOS		
	DIQUE 01-A	DIQUE 01-B	DIQUE 01-C
DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	22	22	22

RESULTADO FINAL			
	DIQUE 01-A	DIQUE 01-B	DIQUE 01-C
CATEGORIA DE RISCO (CR)	BAIXO	BAIXO	BAIXO
DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	ALTO	ALTO	ALTO

Categoria de Risco Dique 01-A, 01-B e 01-C	Dano Potencial Associado Dique 01-A, 01-B e 01-C		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-A, DIQUE 01-B E DIQUE 01-C (2016).

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO

1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS – CT DIQUE 01-A

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem Quanto ao Material de Construção (c)	Tipo de Fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem casa de força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado – CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Casa de força desassociada da barragem (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de força ao pé da barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou desconhecida / estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-

Nota: As informações de altura (22,00 m), comprimento de crista (200,00 m), tipo de barragem e tipo de fundação foram obtidas do documento de referência: RI3-D01A-ITT-CDQ-MC-0002 (Reservatório Intermediário – Dique 1A – Análise de Estabilidade – Memória de Cálculo). As informações de vazão de projeto (CMP – cheia máxima provável e vazão igual a 62.000 m³/s) foram obtidas do documento de referência: BEL-C-GR-RT-GER-000-0001 (Usina Hidrelétrica Belo Monte – Projeto Básico Consolidado – Volume I – Texto – Tomo I).

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-A (2016).

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO

1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT DIQUE 01-B

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem Quanto ao Material de Construção (c)	Tipo de Fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem casa de força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado – CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Casa de força desassociada da barragem (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de força ao pé da barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou desconhecida / estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-

Nota: As informações de altura (4,00 m), comprimento de crista (80,00 m), tipo de barragem e tipo de fundação foram obtidas do documento de referência: RI3-D01B-ITT-CDQ-MC-0002 (Reservatório Intermediário – Dique 1B – Análise de Estabilidade – Memória de Cálculo). As informações de vazão de projeto (CMP – cheia máxima provável e vazão igual a 62.000 m³/s) foram obtidas do documento de referência: BEL-C-GR-RT-GER-000-0001 (Usina Hidrelétrica Belo Monte – Projeto Básico Consolidado – Volume I – Texto – Tomo I).

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-B (2016).

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO

1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS – CT DIQUE 01-C

Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem Quanto ao Material de Construção (c)	Tipo de Fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem casa de força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado – CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)	Casa de força desassociada da barragem (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra homogênea / enrocamento / terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de força ao pé da barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou desconhecida / estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-

Nota: As informações de altura (32,00 m), comprimento de crista (770,00 m), tipo de barragem e tipo de fundação foram obtidas do documento de referência: RI3-D01C-ITT-CDQ-MC-0002 (Reservatório Intermediário – Dique 1C – Análise de Estabilidade – Memória de Cálculo). As informações de vazão de projeto (CMP – cheia máxima provável e vazão igual a 62.000 m³/s) foram obtidas do documento de referência: BEL-C-GR-RT-GER-000-0001 (Usina Hidrelétrica Belo Monte – Projeto Básico Consolidado – Volume I – Texto – Tomo I).

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-C (2016).

**QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO 2 -
ESTADO DE CONSERVAÇÃO – EC DIQUE 01-A, 01-B E 01-C**

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (h)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (i)	Percolação (j)	Deformações e Recalques (k)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (l)	Eclusa (m)
Estruturas civis e hidroelétricas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroelétricos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroelétricas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelétricos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e hidroelétricas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelétricos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelétricos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelétricos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelétricos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroelétricos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-A, 01-B E 01-C (2016).

**QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO 3 - PLANO
DE SEGURANÇA DA BARRAGEM – OS DIQUE 01-A, 01-B E 01-C**

Existência de Documentação de Projeto (n)	Estrutura Organizacional e Qualificação Técnica dos Profissionais da Equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de Roteiros de Inspeções de Segurança e de Monitoramento (p)	Regra Operacional dos Dispositivos de Descarga da Barragem (q)	Relatórios de Inspeção de Segurança com Análise e Interpretação (r)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexistente documentação de projeto (8)	-	-	-	-

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-A, 01-B E 01-C (2016).

QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO – DPA DIQUE 01-A, 01-B E 01-C


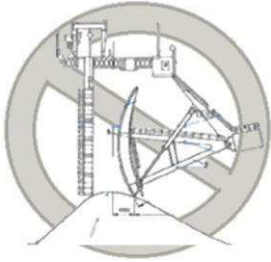
Volume Total do Reservatório (a)	Potencial de Perdas de Vidas Humana (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto Socioeconômico (d)
Pequeno ≤ 5 milhões m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão de atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m ³ (5)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão de atingidas) (12)	-	-

Nota: O volume do reservatório (4,29 bilhões de m³) foi obtido do documento de referência: BEL-C-GR-RT-GER-000-0001 (Usina Hidrelétrica Belo Monte – Projeto Básico Consolidado – Volume I – Texto – Tomo I).

Fonte: plano de segurança de barragens - PSB BELO MONTE – DIQUE 01-A, 01-B E 01-C (2016).


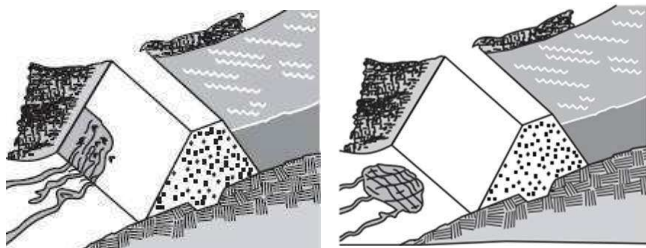
ANEXO B – FICHAS DE EMERGÊNCIA – NÍVEL DE EMERGÊNCIA 1 A 4

Ficha de emergência 1 – Nível de emergência 1.

	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 1	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-1	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
Falha no sistema eletromecânico de comportas do empreendimento da UHE Belo Monte.			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Impossibilidade de abertura ou operação incorreta das comportas; Erosão externa do talude de jusante; Instabilidade do maciço.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE PRONTIDÃO na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-1; 2. Avaliar a causa da redução da capacidade vertente; 3. Caso se verifique que o sistema extravasor está obstruído, providenciar sua desobstrução; 4. Caso existam problemas eletromecânicos limitando a operação de comportas, providenciar reparo imediato; 5. Avaliar a situação hidrometeorológica em conjunto com a equipe de planejamento hidroenergético; 6. Monitorar as ações corretivas de modo a avaliar sua eficiência. <p>Caso se esteja no período chuvoso, o reservatório no NA máximo com previsão de aflúncias importantes e/ou a borda livre esteja diminuindo em curto prazo de tempo, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº5 do NE-2.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Testes das comportas / Informações hidrometeorológicas.	


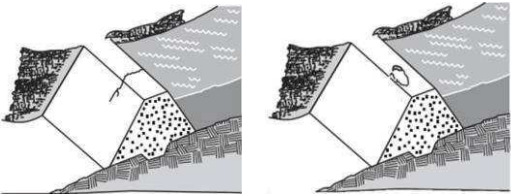
Fonte: PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE) - DIQUE 1A p.69 (2016).

Ficha de emergência 2 – Nível de emergência 1.


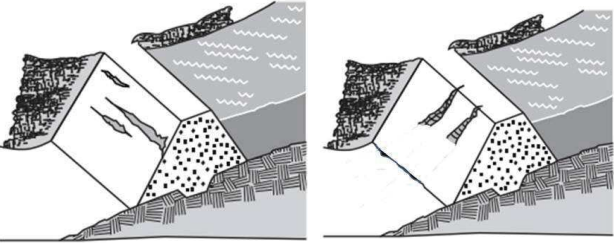
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 2	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-1	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<p><i>Surgência em taludes, áreas a jusante ou ombreiras, com carreamento de material ou vazão crescente, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura.</i></p>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Ocorrência de entubamento ou <i>piping</i>; Ocorrência de erosões no maciço; Instabilidade do talude ou ombreira; Recalque da crista.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<p>1 Estabelecer ESTADO DE PRONTIDÃO na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-1;</p> <p>2. Limpeza da área, caso necessário, para permitir a inspeção visual detalhada da região afetada;</p> <p>3. Inspeccionar cuidadosamente a área, verificando se há sinais de carreamento de solo ou areia, saída de água com pressão (borbulhamento) e outros sintomas indicativos de erosão interna (depressões, <i>sinkhole</i>);</p> <p>4. Tentar identificar a causa da surgência, utilizando informações da instrumentação sempre que possível;</p> <p>5. Caso seja possível, medir e monitorar a quantidade de fluxo e verificar se há aumento e/ou redução da vazão percolada (utilizando balde graduado e cronômetro);</p> <p>6. Se verificado o aumento de vazão e/ou carreamento de solo, deve-se definir imediatamente uma alternativa de reparo específica com a supervisão de um engenheiro especialista, sendo a mais usual a execução de dreno invertido, de acordo com a seguinte sequência de ações:</p> <p><i>a. Isolar a área do vazamento e remover a vegetação;</i></p> <p><i>b. Lançar camada de manta geotêxtil e de areia sobre a área do vazamento com folga lateral de aproximadamente 2,0 m;</i></p> <p><i>c. Instalar um tubo tipo kananet dentro da camada de areia, direcionando a vazão para um medidor de vazão, a ser construído;</i></p> <p><i>d. Lançar camada de brita 1 sobre a camada de manta geotêxtil e de areia;</i></p> <p><i>e. Lançar camada de brita 3 sobre a camada de brita 1.</i></p> <p>7. Monitorar a vazão percolada e a presença de material carreado no medidor de vazão instalado. Monitorar as ações corretivas de modo a avaliar sua eficiência.</p> <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº6 do Nível de Emergência 2.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas / Análise dos dados da instrumentação.	

Fonte: PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE) - DIQUE 1A p.70 (2016).

Ficha de emergência 3 – Nível de emergência 1.


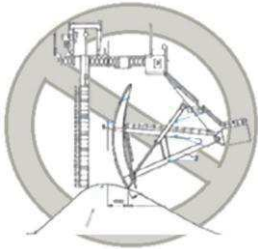
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 3
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-1
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA		
<p><i>Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (deformações e recalques).</i></p>		
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS
		<p>Perda da borda livre;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erosões no maciço pela passagem de água por trincas transversais; • Instabilidade do talude de montante ou de jusante.
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE PRONTIDÃO na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-1; 2. Inspecionar o local onde se encontram as trincas, abatimentos ou escorregamentos e registrar sua localização, extensão, profundidade e demarcar seus limites. Avaliar a causa provável, o grau de comprometimento da estrutura e a possibilidade de evolução da situação; 3. Tentar identificar a causa de trincas, abatimentos ou escorregamentos, utilizando informações da instrumentação sempre que possível; 4. Para identificação da profundidade da trinca, se necessário: <ol style="list-style-type: none"> i) injetar mistura de cal e água na proporção 1:3 (cal: água) (para cada saco de 25 kg de cal, utilizar 75 litros de água); <u>e/ou</u> ii) escavar o local afetado até ultrapassar o fundo da trinca; reaterrar e recompatar com solo argiloso, preferencialmente da área de empréstimo ou bentonita, em camadas de 20 cm. 5. Se existirem trincas relevantes que continuam a abrir, deve-se definir imediatamente uma alternativa de reparo específica com a supervisão de um engenheiro especialista, sendo as mais usuais: <ol style="list-style-type: none"> 5.1- Preenchimento da trinca com areia e execução de selo superficial em asfalto; 5.2- Preenchimento da trinca com bentonita e cimento: utilizar calda de cimento com 10% de bentonita – Traço 7:10:1 (água: cimento: bentonita); 5.3- Escavação de trincheira ao longo da trinca e reconstituição com argila compactada. 6. Recompôr o maciço no local dos abatimentos ou escorregamentos. Caso o problema tenha afetado também a inclinação do talude, deve-se restabelecer sua inclinação de projeto e recuperar o sistema de drenagem superficial; 7. Rever os cálculos de estabilidade global do maciço e projetar obras de reforço, se necessário. 8. Monitorar as ações implantadas de modo a avaliar sua eficiência. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº 7 do Nível de Emergência 2.</p>		
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas / Análise dos dados da instrumentação.

Ficha de emergência 4 – Nível de emergência 1.


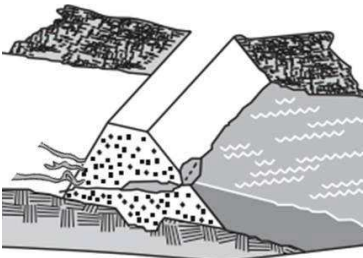
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 4	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-1	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<i>Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (deterioração dos taludes/paramentos).</i>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Ocorrência de erosões no maciço; Instabilidade do talude; Ruptura do talude de montante ou de jusante.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE PRONTIDÃO na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-1; 2. Inspeccionar o local onde se encontram as depressões, escorregamentos e sulcos profundos de erosão e registrar sua localização, extensão, profundidade e demarcar seus limites. Avaliar a causa provável, o grau de comprometimento da estrutura e a possibilidade de evolução da situação; 3. Recompôr o maciço no local das depressões e/ou escorregamentos e/ou erosões. Caso o problema tenha afetado também a inclinação do talude, deve-se restabelecer sua inclinação de projeto e recuperar o sistema de drenagem superficial; 4. Monitorar as ações implantadas de modo a avaliar sua eficiência. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº 8 do Nível de Emergência 2.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas.	

Fonte: PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE) - DIQUE 1A p.72 (2016).

Ficha de emergência 5 – Nível de emergência 2.


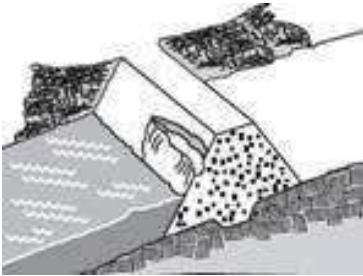
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 5
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-2
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA		
<p>As ações adotadas no NE-1 não foram efetivas e o NA do reservatório está subindo de maneira significativa. <i>Situação potencial de ruptura se agravando.</i></p>		
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA	POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
	<p>Impossibilidade de abertura ou operação incorreta das comportas; Erosão externa do talude de jusante; Instabilidade do maciço.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE ALERTA na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-2; 2. Avaliar a situação hidrometeorológica (previsão de chuva, aflúncias e níveis do reservatório) em conjunto com a equipe de planejamento hidroenergético; 3. Caso necessário, preparar plano de rebaixamento de um ponto específico da crista e mobilizar equipamentos necessários; 4. Manter monitoramento contínuo das vazões afluentes ao reservatório; 5. Restabelecer as condições operacionais de desempenho dos órgãos extravasores. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº 9 do Nível de Emergência 3.</p>		
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO	Testes das comportas / Informações hidrometeorológicas.	

Ficha de emergência 6 – Nível de emergência 2


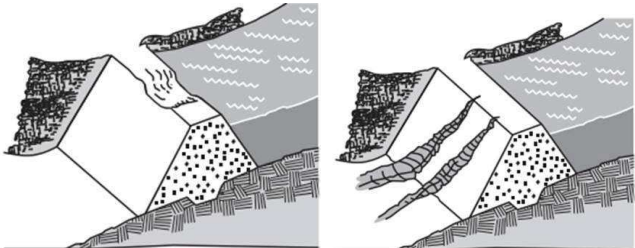
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 6	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-2	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<p><i>Aumento significativo de surgências em taludes, áreas a jusante ou ombreiras, com carreamento de material ou vazão crescente, sem sinais de estabilização. Situação potencial de ruptura se agravando.</i></p>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Ocorrência de entubamento ou <i>piping</i>; Ocorrência de erosões no maciço; Instabilidade do talude ou ombreira; Recalque da crista.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE ALERTA na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-2; 2. Inspecionar o local para avaliar a extensão dos danos e reavaliar a gravidade da situação; 3. Avaliar imediatamente a possibilidade de rebaixamento do nível do reservatório, por meio da abertura das comportas; 4. Avaliar a possibilidade de continuidade das ações de mitigação; 5. Avaliar a possibilidade de lançamento de material a montante, visando colmatar (parcialmente) o caminho de percolação; 6. Monitorar a ocorrência; 7. Manter o reservatório rebaixado até a recuperação das estruturas; 8. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº 10 do Nível de Emergência 3.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas / Análise dos dados da instrumentação.	

Fonte: PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE) - DIQUE 1A p.75 (2016).


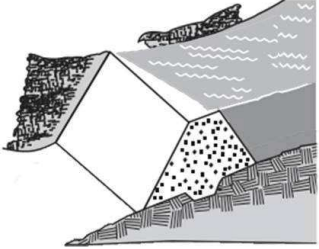
Ficha de emergência 7 – Nível de emergência 2.

	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 7	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-2	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<p><i>Aumento de trincas, abatimentos ou escorregamentos sem sinais de estabilização (deformações e recalques).</i></p> <p><i>Situação potencial de ruptura se agravando.</i></p>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Perda da borda livre;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erosões no maciço pela passagem de água por trincas transversais; • Instabilidade do talude de montante ou de jusante. 	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE ALERTA na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-2; 2. Inspeccionar o local para avaliar a extensão dos danos e reavaliar a gravidade da situação; 3. Avaliar imediatamente a possibilidade de rebaixamento do nível do reservatório, por meio da abertura das comportas; 4. Avaliar a possibilidade de continuidade das ações de mitigação; 5. Avaliar a necessidade de lançamento de blocos de rocha a jusante ou construção de berna de equilíbrio; 6. Monitorar a ocorrência; 7. Manter o reservatório rebaixado até a recuperação das estruturas; 8. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº 11 do Nível de Emergência 3.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas / Análise dos dados da instrumentação.	

Ficha de emergência 8 – Nível de emergência 2.


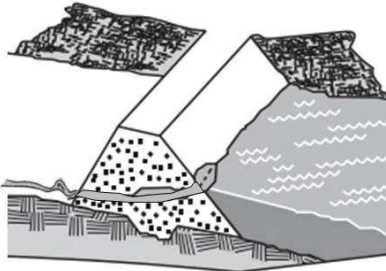
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 8	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-2	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<p><i>Aumento de depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, sem sinais de estabilização (deterioração dos taludes/paramentos). Situação potencial de ruptura se agravando.</i></p>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Ocorrência de erosões no maciço;</p> <p>Instabilidade do talude; Ruptura do talude de montante ou de jusante.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE ALERTA na barragem e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-2; 2. Inspeccionar o local para avaliar a extensão dos danos e reavaliar a gravidade da situação; 3. Avaliar imediatamente a possibilidade de rebaixamento do nível do reservatório, por meio da abertura das comportas; 4. Avaliar a possibilidade de continuidade das ações de mitigação; 5. Monitorar a ocorrência; 6. Manter o reservatório rebaixado até a recuperação das estruturas; 7. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas na Ficha de Emergência nº 12 do Nível de Emergência 3.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas	

Ficha de emergência 9 – Nível de emergência 3.


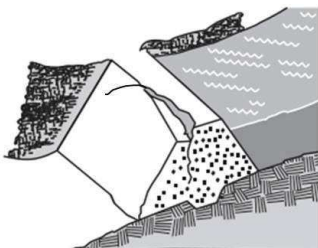
	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 9
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE- 3
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA		
<i>Nível do reservatório próximo à cota da crista da barragem.</i>		
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA	POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
	<p>Ocorrência de erosões no maciço; Instabilidade do talude; Ruptura do talude de montante ou de jusante.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE EMERGÊNCIA na área de autossalvamento e possíveis áreas impactadas a jusante e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-3; 2. Rebaixar um local específico da crista da barragem ou ombreira, empregando escavadeira ou equipamento similar, conforme plano desenvolvido anteriormente, para induzir o transbordamento por um ponto desejado; 3. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura; 4. Atualização permanente das informações aos órgãos internos e externos; 5. Acompanhamento das ações dos órgãos externos. 		
<p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas para o Nível de Emergência 4.</p>		
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO	Inspeções visuais / Informações hidrometeorológicas.	

Fonte: PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE) - DIQUE 1A p.79 (2016).


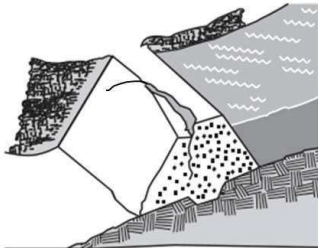
Ficha de emergência 10 – Nível de emergência 3.

	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 10
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-3
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA		
<p><i>Erosão interna (piping) com potencial evolução para desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura é iminente.</i></p>		
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA	POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
	<p>Ocorrência de entubamento ou <i>piping</i>;</p> <p>Ocorrência de erosões no maciço;</p> <p>Instabilidade do talude ou ombreira;</p> <p>Recalque da crista.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE EMERGÊNCIA na área de autossalvamento e possíveis áreas impactadas a jusante e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-3; 2. Abertura imediata das comportas, para rebaixamento do reservatório. 3. Avaliar a possibilidade de continuidade das ações de mitigação em andamento; 4. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura; 5. Atualização permanente das informações aos órgãos internos e externos. 6. Acompanhamento das ações dos órgãos externos <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas para o Nível de Emergência 4.</p>		
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO	Inspeções visuais.	


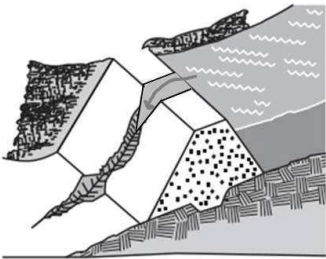
Ficha de emergência 11 – Nível de emergência 3.

	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 11	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-3	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<i>Instabilização global com potencial evolução para desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura é iminente</i>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<p>Formação de superfície de ruptura; Instabilidade do talude; Ruptura do maciço.</p>	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE EMERGÊNCIA na área de autossalvamento e possíveis áreas impactadas a jusante e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-3; 2. Abertura imediata das comportas, para rebaixamento do reservatório. 3. Avaliar a possibilidade de continuidade das ações de mitigação em andamento; 4. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura; 5. Atualização permanente das informações aos órgãos internos e externos. 6. Acompanhamento das ações dos órgãos externos. <p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas para o Nível de Emergência 4.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais.	

Ficha de emergência 12 – Nível de emergência 3.

	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 12	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-3	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<i>Instabilização localizada com potencial evolução para desenvolvimento de brecha de ruptura. A ruptura é iminente</i>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<ul style="list-style-type: none"> • Formação de superfície de ruptura; • Instabilidade do talude; • Ruptura do maciço. 	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE EMERGÊNCIA na área de autossalvamento e possíveis áreas impactadas a jusante e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-3; 2. Abertura imediata das comportas, para rebaixamento do reservatório. 3. Avaliar a possibilidade de continuidade das ações de mitigação em andamento; 4. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura; 5. Atualização permanente das informações aos órgãos internos e externos. 6. Acompanhamento das ações dos órgãos externos. 			
<p>Caso as ações adotadas não sejam efetivas e a anomalia não seja extinta, adotar as ações descritas para o Nível de Emergência 4.</p>			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais.	

Ficha de emergência 13 – Nível de emergência 4.

	FICHA DE EMERGÊNCIA	Nº 13	
	NÍVEL DE EMERGÊNCIA	NE-4	
SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA			
<p><i>Formação de brecha de ruptura.</i> <i>A ruptura está ocorrendo ou já ocorreu.</i></p>			
CROQUIS TÍPICOS DA ANOMALIA		POSSÍVEIS IMPACTOS ASSOCIADOS	
		<ul style="list-style-type: none"> • Descarga descontrolada de água para jusante com formação de onda de cheia induzida pela ruptura da barragem; • Inundação do vale a jusante, com perdas de vidas humanas e de animais e prejuízos às propriedades e infraestrutura de jusante; Danos ambientais; • Prejuízos financeiros à Norte Energia e à imagem da empresa; • Problemas de ordem legal e jurídica. 	
PROCEDIMENTOS DE MITIGAÇÃO / MONITORAMENTO / REPARAÇÃO			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer ESTADO DE EMERGÊNCIA na área de autossalvamento e possíveis áreas impactadas a jusante e implementar FLUXO DE NOTIFICAÇÃO NE-4; 2. Evacuar as instalações industriais afetadas, conforme rotas de fuga pré-estabelecidas; 3. Restabelecer as condições operacionais de desempenho da estrutura. 4. Atualização permanente das informações aos órgãos internos e externos. 5. Acompanhamento das ações dos órgãos externos. 			
MEDIDAS DE IDENTIFICAÇÃO		Inspeções visuais periódicas	

Fonte: PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS (PAE) - DIQUE 1A p.84 (2016).

ANEXO C – EVOLUÇÃO DO ENCHIMENTO DO RESERVATÓRIO – RESUMO

PREVISTO CA3-CV00-ITT-CHH-RT-0001 R2B									REALIZADO ACOMPANHAMENTO DE CAMPO				
Bacia	Dique	Início	Tempo (estimado)	Dias (acumulados estimados)	Elevação (m)	Volume (10 ⁶ m ³)	Cota de Fundação (m)	Coluna D'água Dique (m)	Início / Hs (Real)	Final / Hs (Real)	Tempo (Real)	Dias (acumulados)	Elevação (m)
ETAPAS 1 A 4													
CANAL / PAQUIÇAMBA	D - 28	14/12/15	76 h	3 dias e 4 h	77,00 / 76,00	6,4	69,00	7,00	12/12/15 às 06:15	15/12/15 às 17:30	83 h	3 dias e 11 h	77,00 / 76,00
TICARUCA	D - 19B	18/12/15	18 h	4 dias	65,00	4,3	52,00	13,00	* 15/12/15 às 15:30	17/12/15 às 07:40	40 h	5 dias e 3 h	65,00
CAJUEIRO	D - 14C	21/12/15	78 h	7 dias e 6 h	65,00	25,6	46,00	19,00	17/12/15 às 07:40	19/12/15 às 10:50	51 h	7 dias e 6 h	65,00
COBAL	D - 13	24/12/15	70 h	10 dias e 4 h	65,00	33,0	45,00	20,00	19/12/15 às 10:50	24/12/15 às 09:30	119 h	12 dias e 5 h	65,00
ETAPA 5													
TICARUCA CAJUEIRO COBAL	D - 19B D - 14C D - 13	28/12/15	108 h	14 dias e 16 h	71,00	96,1	52,00 46,00 45,00	19,00 25,00 26,00	24/12/15 às 09:30	31/12/15 às 02:00	160 h	18 dias e 21 h	71,00
ETAPA 6													
ATÚRIA	D - 8A	31/12/15	57 h	17 dias e 1 h	50,00	8,4	-	-	31/12/15 às 02:00	02/01/16 às 19:40	66 h	21 dias e 15 h	50,00
ETAPAS 7 E 8													
VERT. S1º ANTÔNIO TOMADA D'ÁGUA	BVSA BLD/BLE	31/12/15 01/01/16	20 h 21 h	17 dias e 21 h 18 dias e 18 h	45,00 45,00	4,3 6,8	- -	- -	02/01/16 às 19:40 03/01/16 às 13:00	03/01/16 às 13:00 04/01/16 às 13:00	17 h 24 h	22 dias e 8 h 23 dias e 8 h	45,00 45,00
ETAPA 9													
VERT. S1º ANTÔNIO TOMADA D'ÁGUA	BVSA BLD/BLE	01/01/16	10 h	19 dias e 4 h	50,00	7,1	-	-	04/01/16 às 13:00	04/01/16 às 22:00	9 h	23 dias e 17 h	50,00
ETAPA 10													
ATÚRIA VERT. S1º ANTÔNIO TOMADA D'ÁGUA	D - 8A BVSA BLD/BLE	08/01/16	177 h	26 dias e 13 h	71,00	121,2	- -	- -	04/01/16 às 22:00	13/01/16 às 20:00	214 h	32 dias e 15 h	71,00
ETAPA 11													
TICARUCA CAJUEIRO COBAL ATÚRIA VERT. S1º ANTÔNIO TOMADA D'ÁGUA	D - 19B D - 14C D - 13 D - 8A BVSA BLD/BLE	10/01/16	50 h	28 dias e 15 h	75,00	142,2	52,00 46,00 45,00 -	23,00 29,00 30,00 -	13/01/16 às 20:00	15/01/16 às 22:00	50 h	34 dias e 17 h	75,00
ETAPA 12													
TICARUCA CAJUEIRO COBAL ATÚRIA VERT. S1º ANTÔNIO TOMADA D'ÁGUA	D - 19B D - 14C D - 13 D - 8A BVSA BLD/BLE	23/01/16	296 h	40 dias e 23 h	88,00	856,1	52,00 46,00 45,00 -	36,00 42,00 43,00 -	15/01/16 às 22:00	31/01/16 às 20:00	382 h	50 dias e 15 h	88,00
ETAPAS 13 A 16													
TICARUCA CAJUEIRO COBAL ATÚRIA VERT. S1º ANTÔNIO TOMADA D'ÁGUA	D - 19B D - 14C D - 13 D - 8A BVSA BLD/BLE	02/02/16	218 h	50 dias e 1 h	95,00	682,3	52,00 46,00 45,00 -	43,00 49,00 50,00 -	31/01/16 às 20:00	10/02/16 às 14:30	234 h	60 dias e 9 h	95,00

Obs: * O NA transpôs o CTPT-1 na el. 76,00 m, antes da conclusão do enchimento da Bacia do Paquiçamba (ETAPA 1). Isto ocorreu porque a vala que interliga o Canal de Derivação com o D28 possui uma seção menor do que o necessário para suportar a vazão aduzida (100m³/s), o que ocasionou o represamento e consequente elevação do nível a montante da mesma.

**APÊNDICE A – SEQUÊNCIA FOTOGRÁFICA DO PROCESSO DE
IDENTIFICAÇÃO E EXECUÇÃO DA INTERVENÇÃO A JUSANTE DO DIQUE 1**

INTERVENÇÕES A JUSANTE	Dique 1A
PERÍODO:	2016 a 2018
RESPONSÁVEL PELA IMAGENS:	Técnico e assistente de área sênior do setor de segurança de barragens Leandro Carvalho Lima

PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO E EXECUÇÃO DA INTERVENÇÃO A JUSANTE DO DIQUE 01-A



1.0 Identificação de canalículos com surgências de água.



2.0 Identificação de surgência de água a jusante do Dique.



3.0 Identificação de surgência de água próximos ao dreno de pé e talude de escavação.



4.0 Identificação por meio da vista aérea das surgências de água a jusante do Dique.



5.0 Limpeza e retirada do material para proceder com o lançamento da areia compactada - 3AF-C.



6.0 lançamento da areia compactada para proceder com o assentamento da transição compactada com uso da 4A'-C



7.0 Início do lançamento da transição compactada com uso da 4A'-C.



8.0 Avanço da transição compactada com o início do enrocamento compactado.



9.0 Conclusão do lançamento da transição compactada com uso da 4A'-C.



10.0 Assentamento do enrocamento compactado.



11.0 Dreno invertido concluído.



12.0 Dreno invertido concluído.

**APÊNDICE B – SEQUÊNCIA FOTOGRÁFICA DO PROCESSO DE
IDENTIFICAÇÃO E EXECUÇÃO DA INTERVENÇÃO A JUSANTE DO DIQUE**

1B

INTERVENÇÕES A JUSANTE	Dique 1B
PERÍODO:	2016 a 2018
RESPONSÁVEL PELA IMAGENS:	Técnico e assistente de área sênior do setor de segurança de barragens Leandro Carvalho Lima

PROCESSO DE IDENTIFICAÇÃO E EXECUÇÃO DA INTERVENÇÃO A JUSANTE DO DIQUE 01-B



1.0 Identificação de canalículos com surgências de água.



2.0 Identificação de surgência de água a jusante do Dique.



3.0 Limpeza e retirada do material para proceder com o lançamento da areia compactada - 3AF-C.



4.0 Início do enrocamento compactado.



5.0 Aterro de proteção do talvegue - filtro invertido concluído.



6.0 Aterro de proteção do talvegue - filtro invertido concluído.