



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

MONOGRAFIA CIENTÍFICA

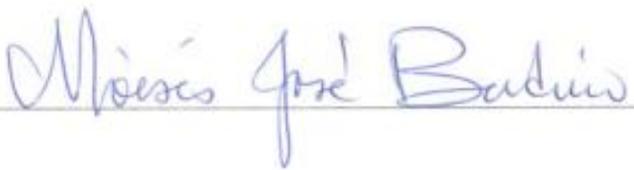
**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E
PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA
BARRAGEM DE MASSINGIR**

Autor: Denílson Tomás Armando Vilanculos

Tutor: Moisés José Buduio

Lionde, Julho de 2021

**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E
PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA
BARRAGEM DE MASSINGIR**


A handwritten signature in blue ink, reading "Moisés José Buduio", is written over a horizontal line.

Tutor: Moisés José Buduio



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia Científica sobre ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia defendida e aprovada no dia 13 de Janeiro de 2021

Júri

Supervisor:

Moisés José Buduio

(Eng. Moisés José Buduio)

Avaliador 1:

Orlando Couve

(Eng. Orlando Couve)

Avaliador 2:

Ezar Alfredo Nharreluga

(Eng. Ezar Alfredo Nharreluga)

Lionde, Julho de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que este Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, 19 de julho de 2021

Denilson Tomás Armando Vilanculos

(Denilson Tomás Armando Vilanculos)

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	i
ÍNDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	ii
DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivos.....	2
1.1.1. Geral.....	2
1.1.2. Específicos.....	2
1.2. Problema e Justificativa.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Barragens.....	4
2.1.1. Barragens de Terra e/ou Enrocamento.....	4
2.2. Segurança da Barragem.....	5
2.3. Auscultação.....	5
2.3.1. Instrumentação.....	6
2.3.2. Instrumentação da Barragem de Massingir.....	7
2.3.3. Valores Limite e Modelos de Cálculo.....	9
2.4. Percolação de água em barragens de terra.....	10
2.4.1. Força da água sobre os taludes.....	10
2.4.2. Controlo de percolação em barragens de terra.....	11
2.4.3. Acção da subpressão no maciço de uma barragem.....	11
2.5. Soluções para o problema de subpressões em barragens de terra.....	12
3. METODOLOGIA.....	13
3.1. Descrição Do Local De Estudo.....	13
3.1.1. Características Gerais da Barragem.....	15

3.1.2.	Descrição da Fundação da Barragem.....	15
3.1.3.	Instrumentação e Monitorização.....	18
3.1.4.	Visão da Empresa	21
3.1.5.	Missão da Empresa	21
3.1.6.	Valores da Empresa	21
3.1.7.	Organograma da Unidade de Gestão da Bacia do Limpopo.....	22
3.2.	Colecta, Análise e Processamento de dados.....	22
3.2.1.	Piezómetros.....	23
3.2.2.	Poços de Alívio.....	24
3.2.3.	Relação das leituras dos instrumentos com algumas anomalias observadas em campo	24
3.2.4.	Diagnóstico de segurança da Barragem.....	25
3.2.5.	Comparação dos dados actuais com os do Projecto.....	25
4.	RESULTADOS	26
4.1.	Piezómetros do corpo da Barragem	26
4.1.1.	Piezómetros acima dos limites de alerta.....	27
4.2.	Piezómetros da vala de drenagem	28
4.3.	Poços de alívio	28
4.4.	Análise conjunta de poços de alívio e piezómetros da vala de drenagem.....	29
4.5.	Inspeção Visual	31
5.	DISCUSSÃO.....	32
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7.	RECOMENDAÇÕES.....	38
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
9.	ANEXOS.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de uma Barragem de terra.....	5
Figura 2 - Esquema de Piezómetro Eléctrico.....	8
Figura 3 - Esquema de Piezómetro Standpipe	9
Figura 4 - Mapa do Distrito de Massingir.....	13
Figura 5 - Fotografia aérea da localização da Barragem de Massingir.....	14
Figura 6 - Perfil da Barragem de Massingir.....	15
Figura 7 - Mapa Geológico Parcial da Barragem de Massingir.....	17
Figura 8 - Mapa de distribuição de instrumentos de auscultação da Barragem de Massingir.....	20
Figura 9 - Organograma da UGBL	22
Figura 10 - Sensor de Nível	23
Figura 11 - Balde de 10 litros	24
Figura 12- Cronómetro.....	24
Figura 13 - Esquema de uma banquetta estabilizadora.....	35
Figura 14 - Dimensões da escavação da proposta	35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Ilustra o Comportamento dos Piezómetros do Corpo da Barragem	26
Gráfico 2. Ilustra Piezómetros Acima dos Limites de Alerta	27
Gráfico 3. Ilustra o comportamento dos Piezómetros da Vala de Drenagem.....	28
Gráfico 4. Ilustra a análise conjunta de Poços de alívio e Piezómetros da vala de drenagem.....	30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas de mitigação propostas por alguns autores	12
Tabela 2. Características da Albufeira	15
Tabela 3 - Situação actual dos instrumentos de auscultação	19
Tabela 4. Plano Semanal de Actividades	23

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 - Características dos Piezómetros do Corpo da Barragem	41
Anexo 2 - Características dos Piezómetros da Vala de Drenagem	41
Anexo 3 - Características dos Poços de Alívio	42
Anexo 4 - Leituras dos Piezómetros do Corpo da Barragem	44
Anexo 5 - Leituras dos Piezómetros da Vala de Drenagem	45
Anexo 6. Dados para Análise conjunta de PA e PVD	46
Anexo 7 – Erosão nos taludes e criação desordenada de caminhos nos maciços	47
Anexo 8- aparecimento de arbustos e falta de escadas para cesso aos instrumentos	47
Anexo 9 – Aparecimento de infestantes na vala de drenagem	47
Anexo 10 – Actos de Vandalismo	48
Anexo 11 - Aspecto geral da barragem principal (vista para a margem esquerda)	48
Anexo 12 - Aspecto geral do talude de jusante do dique da margem direita (vista para a margem direita)	49
Anexo 13 - Comportamento do poço 27 em relação ao nível de pleno armazenamento	49

LISTA DE ABREVIATURAS

ARA - Sul – Administração Regional de Águas do Sul

CBDB - Comité Brasileiro de Barragens

ICOLD – International Commission on Large Dams

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MD – Margem Direita

PVD – Piezómetros da Vala de Drenagem

UGBL – Unidade de Gestão da Bacia do Limpopo

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a família em geral e a todos que directa ou indirectamente apoiaram-me em todo processo de desenvolvimento do mesmo, e em especial aos meus pais Armando Xadrique Vilanculos e Benta Salvador Cumaio Vilanculos que muito apoiaram-me e financiaram os meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me ter dado saúde e vida até chegar aqui, ao meu supervisor Eng.º Moises José Buduio, pela sua incondicional disponibilidade e pela partilha de conhecimento.

À minha família, por ser o meu suporte, principalmente aos meus pais, as minhas irmãs Dalma, Decénia, Diência e Merciana Vilanculos e aos meus primos Mireldes, Emerson, Egnência e Keila por toda a preocupação e motivação para atingir os meus objectivos.

E por fim, aos meus amigos, Albino, Eque, Leonel, Valério, Válter e Victor e outros não menos importantes, pela confiança e pelo suporte dado e aos meus colegas, principalmente, ao Milton Massingue, Elton Raisse, Júlio Ussardo, Clinton Meque, Leocádia Chiau, Iocilde Maria, Alice Paulo, Joaquim Jovo, Cláudio Prince, Shelton Ngoca, Ivan Camisa e Anivaldo Muridjopois sem eles eu não teria conseguido alcançar os meus objectivos. Eu lhes chamo família, pois com eles aprendi muita coisa, e a mais importante é que amigo verdadeiro é aquele que cuida.

O meu muito obrigado!

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

RESUMO

A segurança de uma Barragem, é uma preocupação permanente, tanto por sua importância económica específica como pelo risco potencial que representa a possibilidade de ruptura ou outro acidente grave, em termos de vidas humanas, impacto ao meio ambiente, prejuízos materiais e os reflexos económicos financeiros. A má gestão deste tipo de empreendimento e a falta de equipamentos de controlo e de órgãos de segurança, ameaçam a segurança e a estabilidade da mesma, podendo levar a estrutura a ruptura ou ao colapso por erosão interna. Para que haja controlo deste processo que é inevitável, são instalados ao longo da barragem instrumentos que possibilitam controlar a percolação da água no interior da barragem podendo assim avaliar a estabilidade da mesma. A realização deste trabalho que culminou com a comparação de dados actuais com os do projecto, referentes a instrumentação, poderá facilitar a tomada de medidas importantes referentes a barragem fornecendo uma nova base de dados sobre a actual situação da estabilidade, com vista a evitar danos que podem ser provocados pela percolação da água. Da análise feita aos dados obtidos a partir da inspecção instrumental assim como visual, no período compreendido entre 2006 a 2019, constatou-se que apenas uma parte dos instrumentos, cerca de 79% se encontram em funcionamento e outra parte desses cerca de 38% operam próximo e acima dos níveis de atenção estabelecidos, principalmente os que se encontram na vala de drenagem (piezómetros da vala de drenagem e poços de alívio), o que leva a conclusão de que as pressões hidrostáticas na fundação são muito elevadas a ponto de superar as pressões admissíveis para manter a segurança da barragem em suas condições normais de exploração. A banqueta estabilizadora a água que percola pela fundação é colectada pelo dreno que encaminha a água para longe do pé de jusante onde o gradiente é menor. A materialização desta solução, corresponde à execução de um tapete, a jusante, munido de um filtro invertido que diminui o arraste de materiais na zona de saída do caudal. Embora os valores das leituras registradas pela maioria dos piezómetros estejam acima do limite de atenção, o que implica pequenas alterações no coeficiente de segurança, os instrumentos ainda se encontram em seu funcionamento normal mas não desejável.

Palavras-Chaves: Barragem, Verificação de estabilidade, Percolação interna, Instrumentação, Segurança.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

ABSTRACT

The safety of a Dam is a permanent concern, both for its economic importance and for the potential risk that represents a possibility of rupture or other serious accident, in terms of human lives, impact on the environment, material damage and economic reflexes. Poor management of this type of enterprise and the lack of control equipment and security agencies, threaten its security and stability, can lead to a structure of rupture or collapse due to internal erosion. In order to control this process, which is inevitable, instruments are allowed over time to control the percolation of water inside the dam, thus being able to assess the same stability. The completion of this work, which culminates in a comparison of real data with the project, calls for the application of important measures to stop the supply of a new database on a real situation of stability, with a view to avoiding damages that may be caused by the percolation of water. From the analysis made to the data obtained from the instrumental inspection as a visual inspection, with no period between 2006 and 2019, it was found that only a part of the instruments, about 79% are in operation and other part of them about 38% operates the next and above the attention levels, mainly those that measure drainage values (measuring points and drainage values), or that lead to a conclusion that the hydrostatic pressures in the foundation are very high and reach a point of exceedance as permissible pressures to maintain dam safety in their normal operating conditions. A banquet established by the water that runs through the foundation is collected by the drain that directs the water away from the downstream foot where the gradient is smallest. A materialization of this solution, corresponds to the execution of a carpet, a downstream, equipped with an inverted filter that reduces or drags materials in the tail outlet area. Although the values of the readings recorded by most piezometers are above the attention limit, or that imply small changes in the safety coefficient, the instruments are still displayed in their normal operation, but it is not desirable.

Keywords: Dam, stability check, internal percolation, instrumentation, safety.

1. INTRODUÇÃO

Barragem é uma estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de se obter a elevação do seu nível de água, gerando assim um reservatório. Esta pode ser destinada: a geração de energia, a irrigação, a navegação, ao abastecimento urbano e industrial, a piscicultura, a recreação, ao controle de cheias, a regularização de vazão, dentre outros objectivos(MARMELO, 2007).

A segurança de uma Barragem, é uma preocupação permanente, tanto que o monitoramento finda a busca por resultados que venham a apontar um baixo risco de rompimento e demais solicitações que às barragens de terra podem estar submetidas. O acompanhamento permanente, observado no contexto operacional das barragens, possui como base o monitoramento de possíveis riscos, tais como infiltrações, assoreamento, etc. e também os riscos, denominados de falhas. Uma falha em uma barragem poderá ser ocasionada por um escoamento espontâneo de água, decorrido de uma operação imprópria ou ruptura, e até mesmo o colapso de uma estrutura, gerando inundações rápidas a jusante, (SILVEIRA, 2005).

As barragens de terra, devido ao material de construção, têm maior potencial de risco que não deve ser menosprezado. A realização deste trabalho poderá facilitar a tomada de medidas importantes referentes a barragem fornecendo uma nova base de dados sobre a actual situação da estabilidade, com vista a evitar danos econômicos ou até catastróficos que podem ser provocados pela percolação da água.

Desta forma, o presente trabalho nasce da necessidade de avaliar soluções eficientes para a estabilização da barragem de Massingir, que há largos anos sofre de problemas de instabilidade hidráulica na fundação. Embora seja normalmente diminuto, a presença de uma barragem, tem sempre um risco de ruptura, que se traduz pela possível libertação, num curto espaço de tempo, um considerável volume de água, provocando cheias a jusante com consequências catastróficas, que podem mesmo implicar a perda de vidas humanas.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Contudo, o estudo desenvolvido permite fazer uma reflexão do estado actual da barragem de Massingir e propõe uma solução de estabilização e segurança da estrutura, indicando uma solução para o problema de subpressões.

1.1.Objectivos

1.1.1. Geral

- Avaliar o funcionamento da instrumentação, sua influência e solução para a segurança da barragem de Massingir

1.1.2. Específicos

- Entender o princípio de funcionamento da instrumentação da barragem;
- Conhecer os procedimentos básicos para a inspecção da barragem através dos instrumentos de auscultação;
- Colectar e processar dados obtidos através da instrumentação;
- Identificar a inter-relação das leituras dos instrumentos com algumas anomalias observadas em campo;
- Prover um diagnóstico actual de segurança da barragem;
- Indicar uma solução para o problema de subpressões que se verifica na barragem.

1.2.Problema e Justificativa

Durante a construção de uma Barragem de terra há uma necessidade de conhecer o comportamento do material (solo) usado para construção da mesma, quando submetidos a solicitações hidrostáticas e humidade.

Para COELHO (2015), a segurança de uma barragem constitui uma preocupação para as entidades responsáveis, públicas ou privadas, e para o público em geral, face ao importante papel das barragens na disponibilização da água para múltiplos fins e aos riscos associados, em termos de vidas humanas e prejuízos materiais, na eventualidade da ocorrência de acidentes ou rupturas, com os associados impactos sociais, económicos e ambientais.

Um dos factores que ameaçam a estabilidade e a segurança da barragem de Massingir é a percolação da água no interior da própria barragem e este movimento de água no interior da

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

barragem pode culminar em Piping, fenômeno que causa acidentes de barragens levando-as ao colapso devido erosão interna.

Segundo a ARA-Sul (2005), na sequência do primeiro enchimento da barragem, foram detectadas diversas deficiências no comportamento da fundação, tanto na zona da barragem principal assim como no dique da margem direita como ilustrado na figura 6. De forma a garantir a segurança e estabilidade da barragem de Massingir, a solução adoptada consistirá na estabilização mecânica do pé de talude e, simultaneamente, na colocação de uma zona de filtro/dreno na tentativa de estabilização hidráulica, procurando-se captar os caudais afluentes da fundação e que, originalmente, causavam o surgimento de ressurgências de grande produção, com arrastamento de finos. A jusante da banquetta encontram-se instalados diversos instrumentos, a destacar, poços de alívio, dispositivos utilizados para reduzir as subpressões desenvolvidas pela percolação de água nos extractos permeáveis da fundação, e piezómetros que pudessem monitorar o desempenho e o estado da estrutura. Essa instrumentação desempenha um papel muito importante na segurança e estabilidade da barragem, por isso é imprescindível que todos os instrumentos estejam a funcionar devidamente e que a informação por eles fornecida seja analisada cuidadosamente e documentada.

Mas tem de se compreender que o facto de existir instrumentação instalada não garante que os problemas ou anomalias que ocorrem serão detectados por ela. Mesmo que a instrumentação seja bem especificada, a escolha da secção de controlo e localização e a equipe ou profissional responsável pela leitura, análise e interpretação dos resultados seja qualificada, é fundamental que exista uma boa comunicação entre as equipes encarregadas das inspecções rotineiras (FONSECA, 2003).

Sendo assim, no presente trabalho procura-se encontrar uma solução de instabilidade gerada pelas pressões elevadas nas fundações da barragem de Massingir

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Barragens

De acordo com (MARMELO, 2007), as barragens podem ser classificadas em (2) dois grandes tipos:

Barragem de concreto – são aquelas construídas essencialmente com material granular produzido artificialmente aos quais se adicionam cimento e aditivos químicos.

Barragem de terra e/ou enrocamento – são aquelas construídas com materiais naturais como argila, siltes e areias ou com materiais produzidos artificialmente tais como britas e enrocamentos.

2.1.1. Barragens de Terra e/ou Enrocamento

As barragens de terra/ enrocamento destinadas ao armazenamento permanente de água devem possuir um elevado grau de estanqueidade (presença de um elemento de vedação). Estas barragens são construídas, via de regra, com materiais oriundos de áreas de empréstimo, devidamente seleccionadas, que são transportados, lançados e compactados com equipamentos especiais sob rigoroso controlo executivo, possuem comumente um sistema de drenagem interna eficiente (presença de um elemento drenante) e coeficiente de segurança elevados, tanto para a possibilidade de ocorrência de erosão interna tanto para possibilidade de ruptura por cisalhamento, (MARMELO, 2007).

As barragens de terra devem ter sistema de extravasamento bem dimensionado que lhes confira elevados coeficientes de segurança contra a possibilidade de galgamento.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

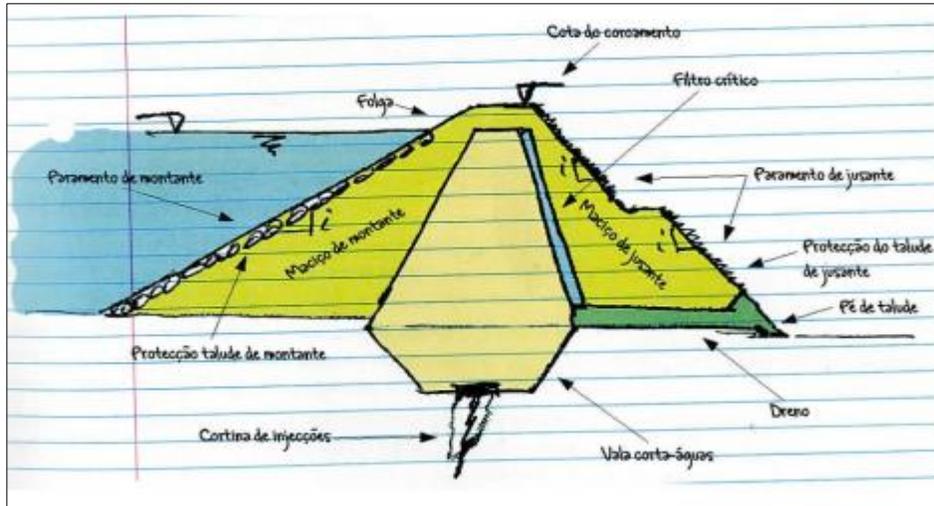


Figura 1 - Esquema de uma Barragem de terra Fonte:(MARMELO, 2007)

2.2.Segurança da Barragem

Segundo ALMEIDA (2001) a segurança da barragem pode ser definida como a capacidade da barragem de satisfazer as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes relacionados a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais.

Segundo FIORINI(1996), a segurança de uma barragem está intimamente relacionada aos aspectosde:

- Projecto, escolha do local da implantação da estrutura;
- Construção, procedimentos levados a cabo no acto da sua execução;
- Instrumentação/inspecção, tipo de instrumentos a ser colocados de forma a monitorar o seu funcionamento;
- Operação, a forma como é feita a gestão de estrutura em termos de enchimento e esvaziamento; e
- Manutenção, tipo de manutenção e a frequência da mesma.

2.3.Auscultação

De acordo com (FONSECA, 2003), auscultação de uma Barragem é o conjunto de processos que visam a observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que constituem risco potencial às condições de sua segurança global. A auscultação pode ser feita por:

- Inspeções Visuais: É o processo da auscultação qualitativa, através de vistorias periódicas de campo;

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

- Inspecções Instrumentais: É o processo de aquisição, registo e processamento sistemático dos dados obtidos a partir dos instrumentos de medida (piezómetros e medidores de vazão) instalados no aterro ou nas fundações da Barragem.

Estes processos devem ser realizados em conjunto durante toda a vida útil da Barragem, de forma a fornecer subsídios necessários para uma eventual revisão ou adaptação dos procedimentos adoptados na construção, operação ou manutenção da Barragem, definindo a etapa de controlo do empreendimento, permitindo ainda verificar se uma dada condição de risco está se desenvolvendo ou se é potencialmente viável de ocorrer (FUSARO, 2005).

As inspecções podem ter diferentes níveis de abordagem, detalhamento e periodicidade, constituindo elementos fundamentais no controle de uma Barragem, normalmente elas são divididas em: rotineiras ou informais, periódicas, supervisão e extraordinárias.

Essas inspecções são realizadas a partir de uma análise prévia dos resultados da instrumentação, de forma a verificar problemas específicos nas áreas auscultadas e observar o estado de conservação dos aparelhos de medição, além disso é feito o acompanhamento dos problemas pré-existentes na área, bem como, a detecção de novas anomalias que possam prejudicar a segurança da obra (BALBI, 2005).

Surgências de água, fissuras superficiais, erosões e abatimentos localizados são exemplos de problemas que somente podem ser detectados por meio de inspecções de campo, normalmente, essas inspecções são realizadas por meio de caminhadas ao longo da Barragem e do reservatório, bem como em áreas próximas a região do barramento.

2.3.1. Instrumentação

Refere-se ao conjunto de dispositivos instalados nas estruturas em suas fundações com objectivos de monitorar o seu desempenho através de medições de parâmetros cujos resultados, devidamente analisados e interpreta-los, servirão para avaliar suas condições de segurança (FONSECA, 2003). O Propósito principal é o de fornecer dados que auxiliem na avaliação da segurança da estrutura ao longo do tempo possibilitando detecção precoce de problemas potenciais.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

2.3.2. Instrumentação da Barragem de Massingir

O objectivo do controle e acompanhamento da barragem é permitir principalmente monitorizar e detectar ocorrências de eventuais anomalias, de forma a ser possível tomar medidas que minimizem as suas consequências.

Em Massingir são feitas inspecções visuais de rotina à barragem e ao sistema de monitorização composto por diversos instrumentos tais como, piezómetros e medidores de vazão. O processo de aquisição de dados faz-se por realização de leituras directas dos instrumentos instalados em várias partes da barragem, que são nomeadamente: piezómetros, poços de alívio e medidores de vazão (FIGUEREDO, 2017) citando (ARA Sul, 2017).

Piezómetros

Os piezómetros são instrumentos que tem como objectivo avaliar o valor da pressão do fluido intersticial do solo, no ponto em que estão instalados, com a finalidade de fornecer subsídios a avaliação do comportamento geotécnico dos terrenos (FONSECA, 2003). A aplicação dos piezómetros abrange as mais diversas finalidades, e sempre que se depara com o problema da existência de água no solo seu emprego é de relevante utilidade. É evidente a importância deste tipo de instrumento em obras como Barragens, onde são úteis na avaliação de desenvolvimento das pressões neutras durante a construção e no acompanhamento da evolução da linha freática durante o enchimento do reservatório, e no controle de aquíferos em escavações de túneis e poços subterrâneos (ALMEIDA, 2001).

Tipos de Piezómetros

Existem vários tipos de piezómetros, dentre eles: eléctrico de corda vibrante, *standpipe* (ou Casagrande), e etc.

Piezómetro Eléctrico de Corda Vibrante

Os piezómetros eléctricos de corda vibrante medem a pressão de água através da deformação de um diafragma interno, cuja deflexão é medida por um sensor de corda vibrante instalado perpendicularmente ao plano do diafragma, (SILVEIRA..., 2006)

Actualmente os piezómetros de corda vibrante vêm sendo largamente empregues na auscultação de barragens, por serem precisos, sensíveis, podem ser lidos à distância e integrados a sistemas automáticos de aquisição de dados. Contudo, tem a desvantagem de vida útil limitada e de

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

alteração dos parâmetros de calibração que ocorre ao longo do tempo. E como o instrumento está instalado no maciço, não é possível calibrar periodicamente, o que pode ocasionar perda de precisão nas leituras.



Figura 2 - Esquema de Piezômetro Eléctrico, Fonte (SILVEIRA..., 2006)

Piezômetro Standpipe

Segundo (COELHO, 2015), piezômetro *standpipe* é de “tubo aberto”. Ele é constituído de um bolbo, instalado no local onde se pretende medir a carga de pressão, é um tubo que liga o bolbo até o local onde será feita a leitura. O bolbo é instalado em um furo de sondagem previamente limpo. Ao redor do bolbo normalmente é colocada uma camada de areia. Sobre a camada de areia, há um selo de bentonita ou solo-cimento, para isolar o bolbo.

O resto do furo de sondagem é preenchido com o solo natural. A leitura do instrumento normalmente é feita com um fioeléctrico, que é uma trena com uma ponteira eléctrica que emite som assim que entrar em contacto com a água. Dessa forma, mede-se a distância entre a boca do tubo e o nível de água. Como a distância entre o bolbo e a boca do tubo é conhecida, por subtracção encontra-se a altura de coluna de água sobre o bolbo. Tendo da altura de coluna de água sobre o ponto de instalação, soma-se a mesma à cota de instalação, obtendo-se a cota piezométrica, em metros sobre o nível do mar (FONSECA, 2003).

Destaca-se as principais vantagens do instrumento piezômetro *standpipe* a elevada confiabilidade, simplicidade na operação, durabilidade, além de apresentar baixo custo. A principal desvantagem do equipamento é o alto tempo de resposta.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

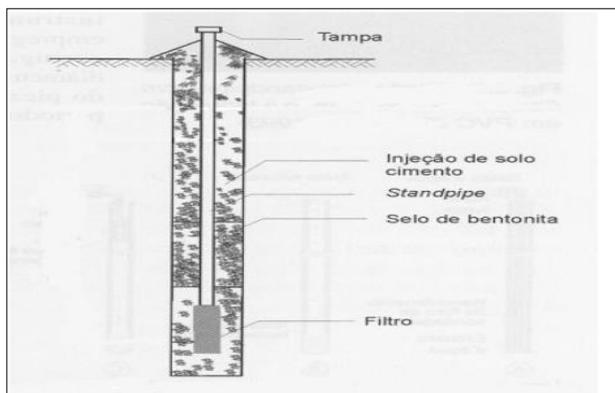


Figura 3 - Esquema de Piezômetro Standpipe, Fonte: (COELHO, 2015)

Poços de Alívio

Poços de alívio são dispositivos hidráulicos em que neles são acoplados instrumentos com capacidade de mensurar e escoar o excesso de água provenientes da percolação nos extractos permeáveis da fundação e a posterior reduzir as subpressões desenvolvidas naquele ponto da barragem. Devem ser executados em uma só linha e com espaçamento médio 25m (GAIOTO, 2003), com uma profundidade definida de acordo com as condições da fundação da barragem. Geralmente são construídos sob o dreno de pé, mas podem ser construídos à montante deste, até a base do filtro em chaminé. Também podem ser construídos à jusante da barragem, quando são detectadas subpressões excessivas durante o enchimento do reservatório (SILVA, 2016).

Segundo (GAIOTO, 2003), os diâmetros mais usuais dos poços de alívio variam entre 75 e 150 cm. Quando abertos em rocha sã, não devem ser preenchidos com qualquer material, mas deixados livres. Quando abertos em solo e rocha alterada, devem ser preenchidos por material que dê estabilidade ao furo e que sirva de filtro, permitindo o fluxo da água e impedindo o carreamento de partículas do solo da fundação. Os materiais de preenchimento podem ser materiais granulares, telas, geotexteis, etc. e tubos perfurados de 50cm, para aumentar a área de escoamento da água e, conseqüentemente as vazões drenadas.

2.3.3. Valores Limite e Modelos de Cálculo

A fixação de valores limites muito além dos observados, historicamente, poderiam não alertar para alguma alteração de comportamento que ocorresse em determinado instrumento ou conjunto de instrumentos, levando a um adiamento da tomada de ações de investigação da ocorrência e de prevenção de algum problema maior. Cumpria, portanto, estabelecer valores limites que impedissem tal situação (KUPERMAN et al, 2003).

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

(KUPERMAN et al, 2003), Apresentam alguns modelos e cálculos que normalmente podem ser empregues:

- Determinísticos –quando se dispõe dos projectos completos, da geometria das estruturas, das cargas reais actuantes, das propriedades dos materiais das estruturas e suas fundações;
- Estatísticos - desde que se disponha de uma série histórica razoável de medições das acções e seus efeitos.
- Híbridos - se houverem dados para a estimativa de um dos componentes referentes a um dos efeitos medidos, embora não haja registos para se estimar os outros componentes.

2.4.Percolação de água em barragens de terra

Entende-se por percolação o movimento descendente da água dentro do solo, como resultado da pressão hidráulica que actua nas partes externas desse referido solo.

Segundo(SANDROMI, 2012), (citado por Sousa, 2013), a percolação de certa quantidade de água na fundação, assim como no aterro de uma barragem de terra é inevitável e, até certo ponto, aceitável, sendo assim, deve-se criar condições para garantir que esta mesma percolação não coloque em risco a segurança da barragem. Este fenómeno se não controlado pode originar diversas anomalias no empreendimento, tais como: efeito piping (carregamento de partículas sólidas ou material em solução), gradientes elevados, vazões excessivas e poro pressões, culminando em uma “erosão interna” na barragem.

2.4.1. Força da água sobre os taludes

O esforço resultante que a água exerce sobre o talude de montante é obtido pela soma vectorial de duas forças, uma no sentido horizontal e outra no vertical. A força exercida no sentido vertical, contribui para uma maior estabilidade da barragem, pois este esforço favorece a compactação do solo utilizado na construção do corpo da barragem. Por outro lado, a força exercida pela água no sentido horizontal do maciço de terra poderá, ao longo do tempo, provocar o arrombamento da barragem. Portanto, a situação ideal é aquela em que a força exercida pela água no sentido horizontal do corpo da barragem seja a menor possível e a força no sentido vertical seja a maior possível. Para que essa condição aconteça, será necessário que o talude de montante tenha uma inclinação menor que a do talude de jusante, (LOPES, 2017).

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Além disso, após o represamento da água, mesmo utilizando-se solo de boa qualidade na construção da barragem, sempre ocorrerá um pequeno e contínuo fluxo de água que se formará através da barragem. Este fluxo causará, a partir da sua base, o humedecimento de uma parte do maciço de terra. A altura máxima do humedecimento que se formará no interior da barragem determinará uma linha chamada linha de saturação. Linha de saturação é, portanto, a linha abaixo da qual o maciço de terra estará sempre humedecido. Ela é determinada pela altura máxima do humedecimento que se formará no maciço de terra da barragem, (LOPES, 2017) .

2.4.2. Controlo de percolação em barragens de terra

O controlo de percolação na fundação e no corpo de uma barragem de terra é feito através de um sistema de drenagem interna adequada, que consiste na utilização de drenos verticais ou inclinados, e horizontais. Os drenos verticais (ou inclinados) interceptam o fluxo que passa dentro do corpo da barragem, enquanto os horizontais interceptam o fluxo da fundação e encaminham o fluxo do corpo da barragem até o pé do talude de jusante, (MASSAD, 2003)

Segundo CRUZ (2004), a maioria dos casos de ocorrência de piping se deu nas fundações das barragens. Sendo assim, o controle de percolação pela fundação é de extrema importância em um projecto de barragem e é realizado através de obras de tratamento das fundações. Além de evitar o piping, esse tratamento contribuí para redução da vazão pela fundação, a redução das poropressões e a redução dos gradientes de saída. O procedimento de tratamento adoptado varia de acordo com as características do terreno de fundação.

2.4.3. Acção da subpressão no maciço de uma barragem

Subpressão pode ser entendida como o esforço ascendente, exercido na base de obras hidráulicas, provocada pela água que percola através do seu maciço de fundação. Ela atua no alívio do peso da estrutura, de forma a reduzir a sua resistência ao deslizamento e levar a estrutura a uma condição menos segura.

De acordo (OLIVEIRA, 2008), a subpressão pode causar dois tipos de ameaça para a segurança de uma barragem: a pressão da água ao longo da fundação pode se aproximar ou igualar ao peso do maciço da barragem comprometendo a estabilidade contra o deslizamento e, situação extrema, poderia, teoricamente, levantar camadas superiores da fundação, e a vazão de percolação pode causar uma ruptura da barragem por piping.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Vazões aceitáveis pela fundação de uma barragem de terra

De acordo com (SANDROMI, 2012), baseado em um estudo associando as vazões de barragens e o desempenho das mesmas, pode-se aceitar um certo padrão de valores de vazão, quando esta for uniforme ao longo da fundação da barragem, para Barragens de terra o valor de vazão aceitável é de $2\text{m}^3/\text{s}$.

2.5.Soluções para o problema de subpressões em barragens de terra

No caso de barragens de terra já existentes, como se trata de uma reabilitação, ou seja, a barragem já está construída e tem de ficar intacta, as primeiras 3 soluções mencionadas na tabela abaixo, tornam-se de difícil implementação, porque podem causar instabilidade mecânica e são economicamente dispendiosas pelo gasto de betão que seria necessário, devido à extensão da barragem e pelo rebaixamento do nível da albufeira, para implementar o tapete da soleira do reservatório (FIGUEREDO, 2017).

Tabela 1 - Medidas de mitigação propostas por alguns autores

Solução	Autor	Vantagens e Desvantagens	Desvantagens
Cortina de injeções	(FIGUEREDO, 2017)	Não acarreta muitos custos para sua implantação	Não têm qualquer efeito em terrenos pouco permeáveis
Parede moldada	(FIGUEREDO, 2017)	Escavação executada da superfície da barragem até à camada impermeável da fundação	Aspecto económico aliado a dimensão
Tapete impermeável a montante	(FIGUEREDO, 2017)	Promove um aumento do percurso de percolação Garantia de redução de gradientes hidráulicos	Pode causar instabilidade mecânica; Requer muito material; Rebaixamento do nível da albufeira.
Poços de alívio	(FIGUEREDO, 2017)		Pode condicionar a percolação, aumentando a velocidade do fluxo da água e consequentemente potenciar a erosão interna.
Banqueta estabilizadora a jusante sobre um dreno	(FIGUEREDO, 2017)	A água que percola pela fundação passará a ser colectada pelo dreno que encaminhará a água para longe do pé de jusante onde o gradiente é menor. A berma tem peso próprio o que ajuda a contrariar as forças de percolação verticais ascendentes.	

Fonte: (Massingue, 2019)

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

A Barragem de Massingir está incluída nos 63% das barragens de terra existentes a nível mundial e conta com 41 anos, com um conjunto vasto de patologias ao longo da sua existência. Neste sentido é necessária uma vigilância atenta da Barragem bem como um processo de reabilitação, para que não seja comprometida a segurança da obra (LNEC, 2011).

A Barragem de Massingir encontra-se na bacia hidrográfica do Limpopo e foi construída sob o rio dos Elefantes, pode ser considerada dividida em 3 zonas. A Barragem principal e duas barragens de menor altura, uma do lado esquerdo e outra do lado direito. A zona mais extensa da Barragem corresponde à margem direita com um comprimento de 3129 m. O coroamento foi fixado à cota 130 m, tendo sido adoptada uma folga de 5 m. Este valor foi considerado tendo em conta os efeitos de onda, a sismicidade e os assentamentos (LNEC, 2011). A altura máxima actual é de 47 m, integrando a categoria de grande Barragem ($h > 15$ m).

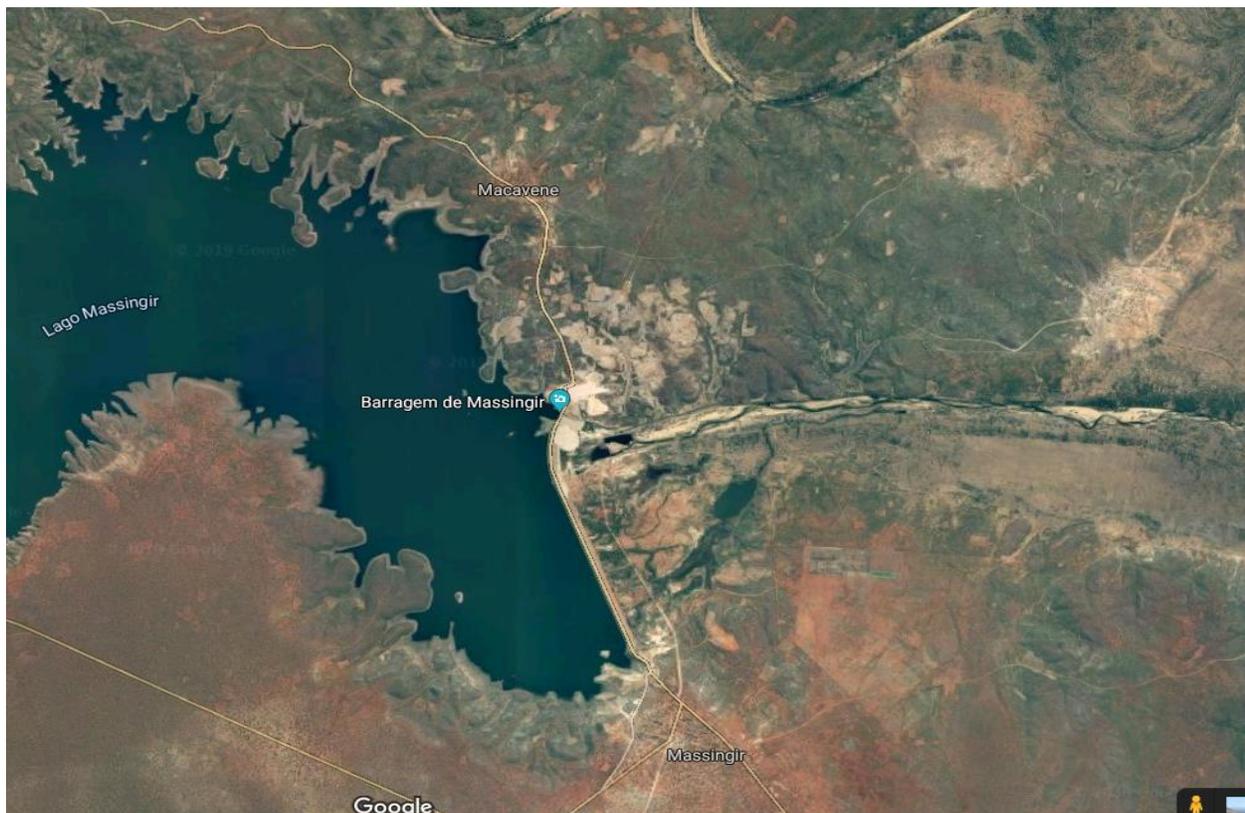


Figura 5 - Fotografia aérea da localização da Barragem de Massingir
Fonte: (<https://www.google.com/maps/@-23.8747763>, n.d.)

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

3.1.1. Características Gerais da Barragem

Na tabela abaixo referenciam-se as principais características da albufeira associada à Barragem.

Tabela 2. Características da Albufeira

Nível de Mínima Exploração (NME)	90 m
Nível de Pleno Armazenamento (NPA)	125 m
Nível de Máxima Cheia (NMC)	128,5 m
Volume de Albufeira	2570 *10 ⁶ m ³
Área inundada	140,5 km ²
Folga	5 m

Fonte:(LNEC, 2011)

3.1.2. Descrição da Fundação da Barragem

As fundações da barragem estão constituídas por aluviões do quaternário, argilo-siltoso na camada superior, areia de granulometria variada com alguns calhaus em baixo. Esses alúvios cobrem as formações rochosas do terciário, grés (arenitos) de grão fino, cimento calcário com alguns estratos de arenitos, os quais constituem as fundações das descargas de fundo e do descarregador de superfície (VAZ et al, 2008). Algumas zonas das fundações aluvionares têm permeabilidade bastante elevadas. A barragem está protegida das infiltrações por:

- Um tapete impermeável a montante da barragem principal no vale central;
- Um filtro inclinado entre o núcleo e o maciço de jusante;
- Um tapete filtrante abaixo do maciço de jusante.

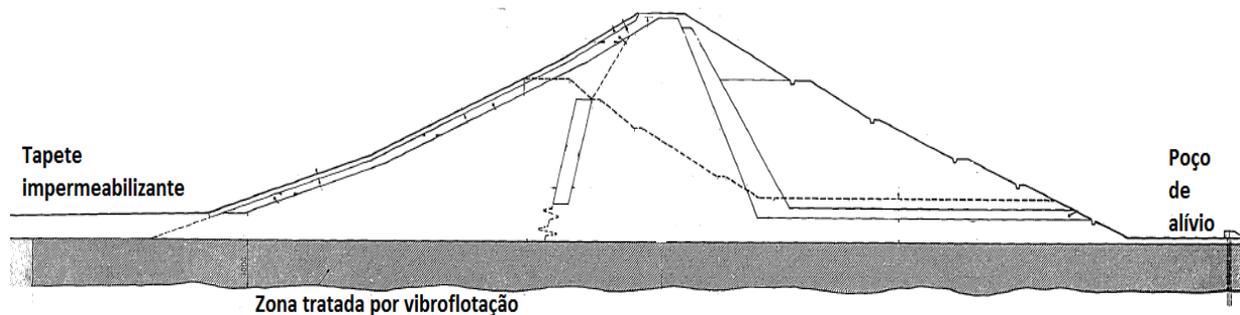


Figura 6 - Perfil da Barragem de Massingir

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

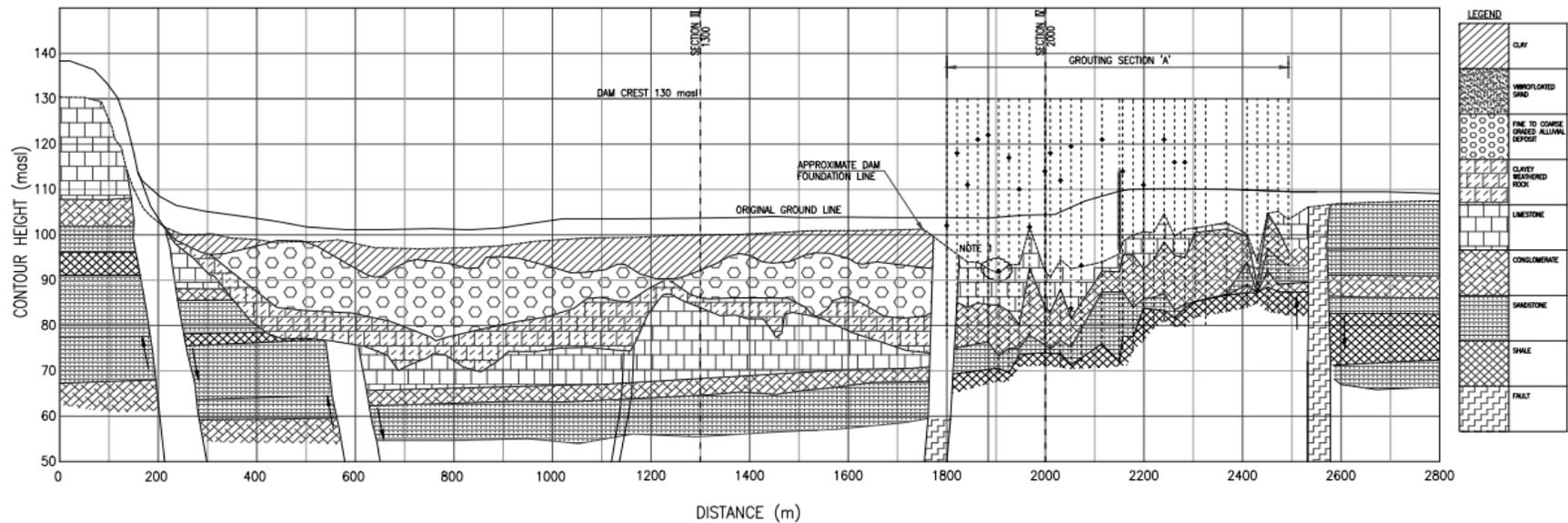


Figura 7 - Mapa Geológico Parcial da Barragem de Massingir
Fonte: (LNEC, 2011)

A gestão do empreendimento é feita pela ARA-Sul, esta que é uma instituição dotada de personalidade jurídica e autonomia administrativa, Patrimonial e financeira, é tutelada pelo Ministério das Obras Públicas e Habitação e Recursos Hídricos através da Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos, e tem a sua sede na cidade de Maputo, desenvolvendo a sua actividade desde a fronteira Sul até a bacia do rio Save. Uma das responsabilidades da ARA-Sul é de recuperar os custos do serviço de gestão de água nas bacias e programar o registo nacional de água (ARA-Sul, 2017).

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

As principais responsabilidades da ARA-Sul estão definidas no artigo dois dos seus estatutos (Diploma Ministerial nº 134/93, de 17 de Novembro) e resumem-se em:

- Planeamento, garantia da disponibilidade e distribuição equilibrada de recursos hídricos (superficiais e subterrâneos);
- Controlo do uso e aproveitamento de água superficial e subterrânea e de outras actividades que afectam os recursos hídricos.

3.1.3. Instrumentação e Monitorização

Em Massingir são feitas inspecções visuais de rotina à Barragem e ao sistema de monitorização composto por diversos instrumentos. O processo de aquisição de dados faz-se por realização de leituras directas dos 246 instrumentos instalados em várias partes da Barragem (ARA-Sul, 2016).

O sistema de observação implementado após a reabilitação (em 2006) visa a medição dos deslocamentos superficiais, das pressões intersticiais no corpo do aterro e fundação e das pressões da água e dos caudais drenados pela vala do dique da MD.

É de salientar que da instrumentação inicial, há apenas 1 piezómetro operacional referenciado como P4D, cujos desenhos de implantação não foram fornecidos.

Na Barragem os instrumentos destinados à monitorização do comportamento hidráulico são:

- 20 Piezómetros de tubo aberto, instalados no corpo da Barragem ao longo do pé de jusante da margem direita e do vale principal;
- 75 Piezómetros de tubo aberto, instalados a jusante da vala de drenagem;
- 77 Poços de alívio na MD e outros 9 na margem esquerda;
- 21 Piezómetros eléctricos, instalados em seis secções transversais;
- 7 Piezómetros de tudo aberto, instalados no descarregador auxiliar;
- 37 Drenos de galeria instalados na fundação do descarregador de cheias; e
- Medidor de Vazão.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Tabela 3 - Situação actual dos instrumentos de auscultação

Ref. Instrumento	Localização	Função	Operacional	Avariado	Observação
Piezômetros Abertos	Vala de Drenagem (PVD)	Medição de pressão Hidrostática	49	11	4B, 6, 6B, 9, 9B e 40 - (Bloqueados) 7A, 11, 11B, 21, e 32 - (Danificados)
	Corpo da barragem (PP)		17	03	04, 06 e 17- (Bloqueados) 01, 09, 13 e 14 - (Secos, não tem leitura)
	Margem direita e esquerda		01	06	P4D - (Operacional dos Piezômetros antigos)
	Descarregador auxiliar (SP)		07	00	1, 2 e 3 - (Secos, não tem leitura)
Piezômetros Eléctricos	Corpo da barragem (Talude e Coroamento)	Medição de pressão Hidrostática	21	-	-
	Descarregador auxiliar		03	-	-
Poços de Alívio (PA)	Vala de Drenagem	Medição de vazões de percolação	59	13	9, 11, 23, 24, 25, 29, 31, 45, 50, 58, 63, 65 e 73 - (Danificados) 26 e 27 - (Cheios) 41, 42 e 43 - (Utilizados como fonte de captação para o sistema de abastecimento de água)
	Vale principal		-	9	10, 17, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84 e 85- (Secos) Todos antigos
Drenos de Galeria	Galeria	Controle da percolação de água e redução da pressão neutra	31	06	1 - (Bloqueado) 12, 13, 21, 27, e 30 - (Fuga na tubagem)

Fonte: Autor

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

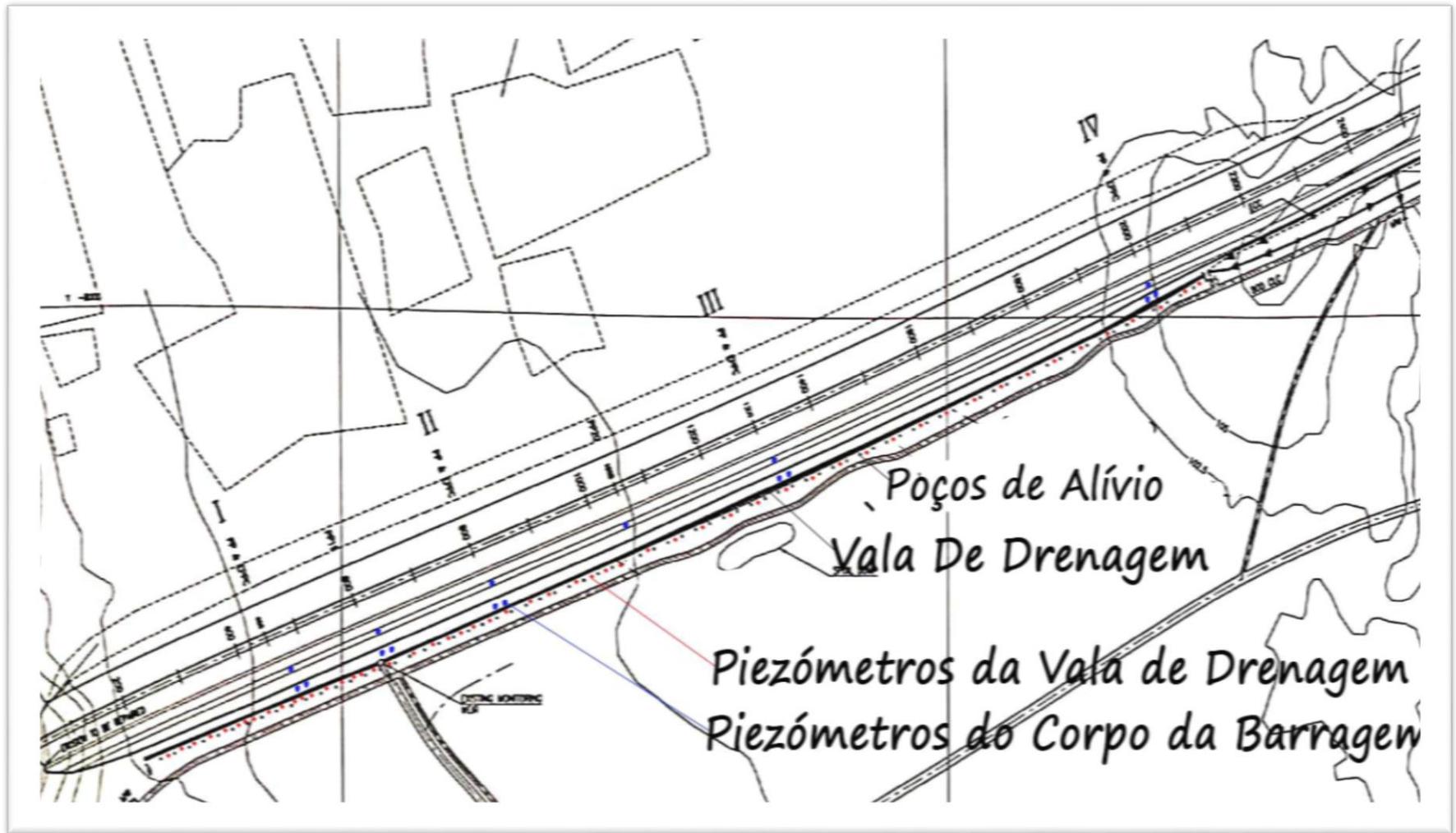


Figura 8 - Mapa de distribuição de instrumentos de auscultação da Barragem de Massingir
Fonte: (LNEC, 2011)

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Na figura 6, está representada a planta parcial da barragem, mostrando apenas a instrumentação da margem direita da barragem, sendo possível observar a sua distribuição e a disposição. Nesta planta, os pontos pretos simbolizam os poços de alívio, os pontos vermelhos simbolizam os piezômetros da vala de drenagem e os pontos azuis representam os piezômetros do corpo da barragem.

3.1.4. Visão da Empresa

Assegurar a gestão dos recursos hídricos de forma a garantir água em quantidade e qualidade para a preservação do meio ambiente, a mitigação dos efeitos das cheias e secas cíclicas e satisfação das necessidades futuras (ARA-Sul, 2017).

3.1.5. Missão da Empresa

Promover a utilização racional dos recursos hídricos para a defesa do meio ambiente e satisfação das necessidades dos utentes, alargando a rede de monitoramento, aumentando a capacidade de armazenamento e planeando os recursos hídricos disponíveis com base nas bacias hidrográficas (ARA-Sul, 2017).

3.1.6. Valores da Empresa

- Orientação para o utente;
- Gestão integrada e participativa;
- Competência e integridade;
- Responsabilidade.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

3.1.7. Organograma da Unidade de Gestão da Bacia do Limpopo

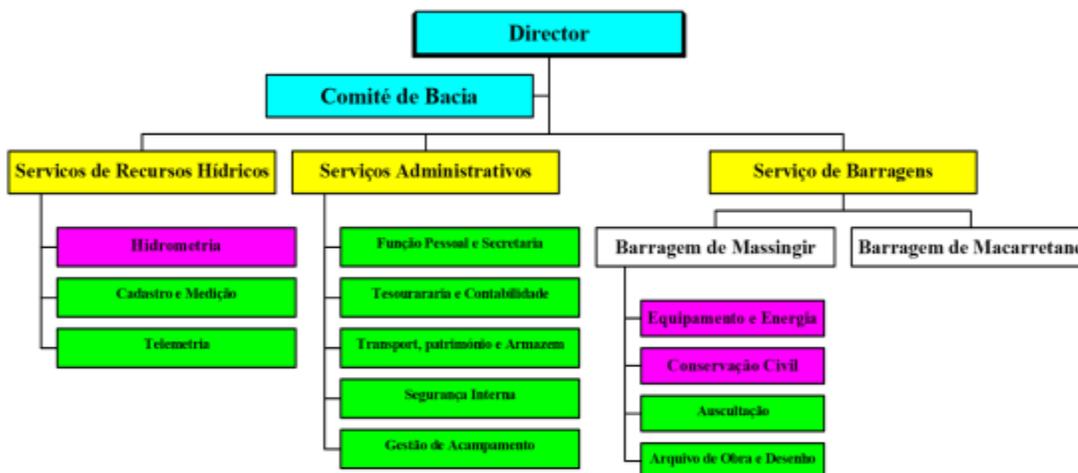


Figura 9 - Organograma da UGBL, Fonte:(VAZ et al, 2008)

3.2.Colecta, Análise e Processamento de dados

A previsão do comportamento de barragens em longo prazo em geral envolve a análise de uma quantidade considerável de dados, provenientes das leituras da instrumentação ao longo de grandes períodos de tempo, cuja interpretação é executada através de métodos estatísticos e/ou probabilísticos(PEDROTHA, 2007).

O trabalho consistiu em um relatório de análise literária e bibliográfica dos dados obtidos na barragem de Massingir, numa primeira fase, durante um período de 30 dias, foi efectuado o reconhecimento do local, levantamento de instrumentos, nomeadamente, poços de alívio e piezómetros e conhecer o princípio de funcionamento de cada um deles, a segunda fase de igual período, recorreu-se a base de dados da ARA-Sul, na qual foi possível obter dados referentes aos instrumentos acima citados durante os anos 2006 a 2019, referentes a caudais e cotas registados.Estes dados foram analisados e processados com base em planilhas do Excel e comparados aos dados estabelecidos no manual da auscultação da barragem de Massingir.

A tabela abaixo ilustra o plano semanal de actividades da Barragem referentes as leituras pela instrumentação.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Tabela 4. Plano Semanal de Actividades

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
Actividades	- Leitura dos Piezómetros PVD;	-Leitura dos poços de alívio;	- Leitura dos Piezómetros eléctricos;	- Leitura De piezómetros da descarga auxiliar	- Leitura dos Piezómetros do corpo da barragem;

Fonte:(ARA-Sul, 2005)

3.2.1. Piezômetros

Os piezômetros fornecem a cota piezométrica, que é a soma da carga de elevação com a carga de pressão no ponto de instalação. Ou seja, fornecem a carga total no ponto de instalação, em relação ao nível do mar.

Em piezômetros eléctricos de corda vibrante as leituras podem ser feitas à distância e integradas em sistemas automáticos de aquisição de dados. Nestes piezômetros a pressão de água é medida através da deformação de um diafragma interno, cuja deflexão é medida por um sensor de corda vibrante instalado perpendicularmente ao plano do diafragma. A altura de coluna de água é somada à cota de instalação, fornecendo a cota piezométrica em metros no ponto sobre o nível do mar.

Nos piezômetros standpipe as leituras foram feitas através de um pioque é uma trena com uma ponteira eléctrica, emitindo um som, quando este, entra em contacto com a água, medindo-se desta forma a distância entre a boca do tubo e o nível de água (subtracção). Conhecida a subtracção, fez-se a soma da mesma com a cota de instalação, obtendo-se a cota piezométrica.



Figura 10 - Sensor de Nível, Fonte: Autor

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

3.2.2. Poços de Alívio

As leituras e colectas de dados fornecidos pelos poços de alívio, serão feitas utilizando-se um balde com volume de 10 litros e um cronômetro, onde através desses dois dispositivos e possível obter o volume drenado pelos poços de alívio em função do tempo, de modo a controlar o fluxo de água que infiltra sob a barragem, este controle consiste na redução das subpressões desenvolvidas pela percolação de água nos estratos permeáveis da fundação.



Figura 11 - Balde de 10litros



Figura 12– Cronómetro

3.2.3. Relação das leituras dos instrumentos com algumas anomalias observadas em campo

Todas as leituras foram registradas em fichas específicas, onde, posteriormente, foram comparadas às leituras anteriores, de modo a verificar se houve ou não uma mudança brusca no comportamento. Para melhor controle da segurança estrutural da barragem por meio da instrumentação. Foram definidos valores limites de atenção e de alerta, assim como as respectivas acções a tomar. A análise comportamental dos dados piezométricos é feita comparando-se os valores de referência adoptados no Manual de Operação e Controle dos Instrumentos de Auscultação da Barragem de Massingir com os valores mínimos das leituras.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

A informação obtida pela instrumentação é relacionada com as inspecções visuais da barragem que consistem na existência de fissuras, deslocamentos ou sinais de escorregamento nos taludes.

3.2.4. Diagnóstico de segurança da Barragem

O diagnóstico de segurança consistiu na inspecção visual, dos instrumentos existentes na barragem de modo a avaliar o seu funcionamento e confiabilidade, assim como na análise dos dados da instrumentação disponíveis.

De acordo com (APLIMA, 2004), na etapa de diagnóstico da segurança, inicialmente deve-se efectuar uma inspecção visual detalhada da obra, observando os seguintes aspectos:

- Ocorrência de percolações preferências na barragem ou fundação;
- Existência de fissuras, deslocamentos ou sinais de escorregamento nos taludes;
- Integridade das estruturas de extravasamento e dos equipamentos de manutenção.

3.2.5. Comparação dos dados actuais com os do Projecto

Antes de se fazer a comparação de dados, foram fixados valores máximos admissíveis para analisar a estabilidade da barragem e estes valores encontram-se geralmente estimados ou ditados no projecto.

Na realização deste trabalho foi empregue um pacote estatístico, Mini Tab, para identificação e correcção de Out-Lier. Para o processamento de dados foi feito com recurso ao Excel, pois consiste na comparação e análise dos dados dos últimos 10 anos com os dados do projecto.

4. RESULTADOS

4.1. Piezômetros do corpo da Barragem

Os piezômetros foram instalados em secções como forma de melhor identificá-los, partindo da secção PK0+450 a PK3+300, e a sua análise é feita mediante essa organização facilitando a sua identificação e no final a sua interpretação. O gráfico a seguir ilustra o comportamento dos piezômetros do corpo da Barragem em relação aos seus níveis de alerta e de atenção no período compreendido entre 2006 a 2019.

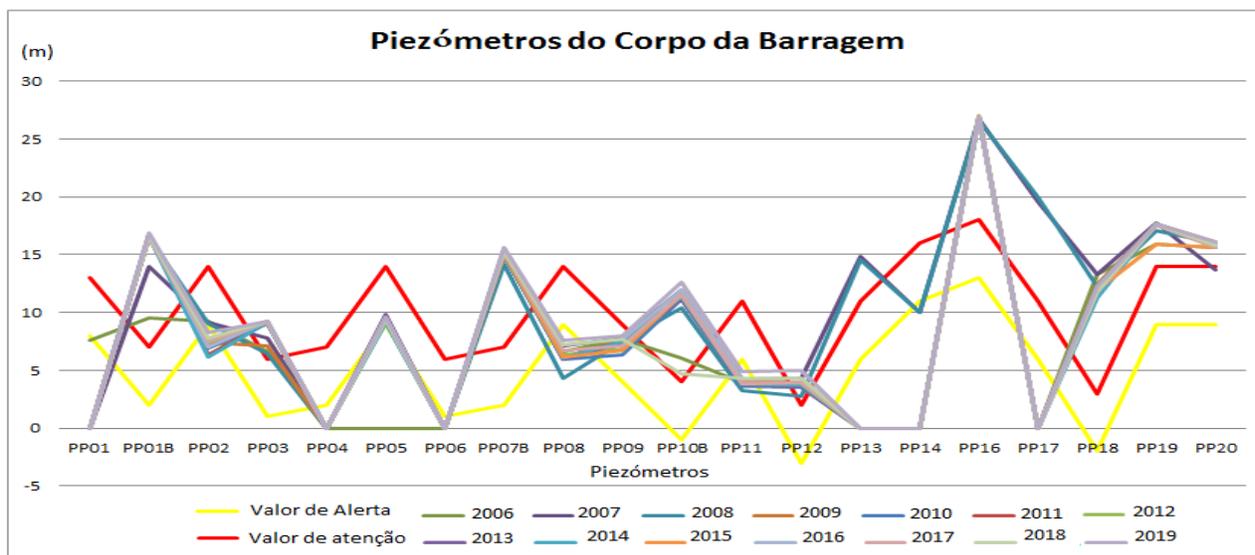


Gráfico 1. Ilustra o Comportamento dos Piezômetros do Corpo da Barragem

Analisados os dados, esses podem ser organizados em três grupos conforme os resultados obtidos, sendo, o primeiro grupo onde estão representados os piezômetros PP01, PP13, PP14, PP04, PP06 e PP17, que correspondem aos piezômetros que encontram-se sem leituras dos quais 3 estão secos e 3 bloqueados respectivamente. No segundo grupo estão representados PP02, PP05, PP08, PP09, PP11 e PP12 que operam dentro dos limites estabelecidos, ou seja, operam no lado de segurança. O terceiro e o último, estão representados PP01B, PP03, PP07B, PP10B, PP16, PP18, PP19 e PP20, estes que operam acima dos limites de alerta.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

4.1.1. Piezómetros acima dos limites de alerta

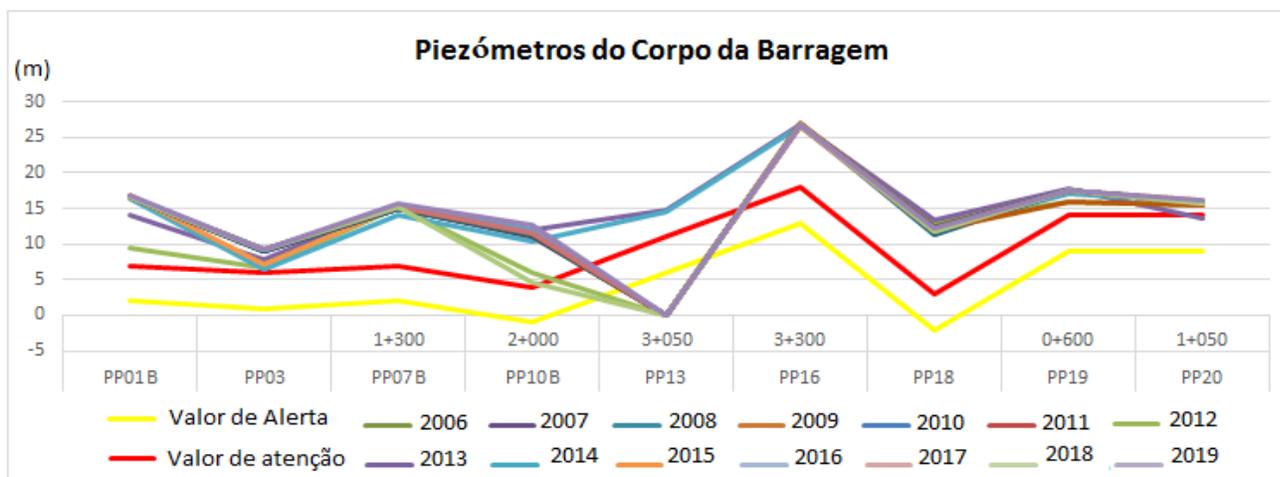


Gráfico 2. Ilustra Piezómetros Acima dos Limites de Alerta

O gráfico acima ilustra apenas o comportamento dos piezómetros que operam acima dos limites de alerta. Segundo o (LNEC, 2011), a maioria dos instrumentos estão em contacto com a fundação, o que explica a razão de registar níveis extremamente elevados. O piezómetro PP13 apesar do seu comportamento anormal, só esteve operacional durante os 2 primeiros anos do seu funcionamento, anos 2006 e 2007, tendo permanecido seco desde então, o que significa que, naquela parte da Barragem risco de ruptura é muito baixo, visto que não registou nenhuma carga de água desde então, mas em contra partida, é neste local dasecção PK 3+350, onde a atenção deve ser maior no caso de estes instrumentos apresentarem carga de água.

O piezômetro PP16 carece de muita atenção uma vez que este representa a última secção da margem direita da Barragem, a secção PK 3+300 encontra-se numa zona onde há falhas geológicas no aterro e na fundação da Barragem, de acordo com o mapa da Barragem ilustrado no anexo 14, segundo a (LNEC, 2011), esta é a zona por onde passava o curso do rio, tornando esta zona propensa a percolação de elevados volumes de água uma vez que predomina na fundação depósito aluvial com classificação fino a grosso, o mesmo cenário das falhas pode ser observado no instrumento PP19 piezómetro representante da secção 0+600.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

4.2. Piezômetros da vala de drenagem

Para além dos piezômetros que existem no corpo da barragem existem piezômetros ao longo da vala de drenagem, intercalados com poços de alívio para monitorizar a fundação. Os instrumentos foram instalados a partir da secção PK 0+200 até 2+100. O gráfico abaixo ilustra o comportamento dos piezômetros da vala de drenagem.

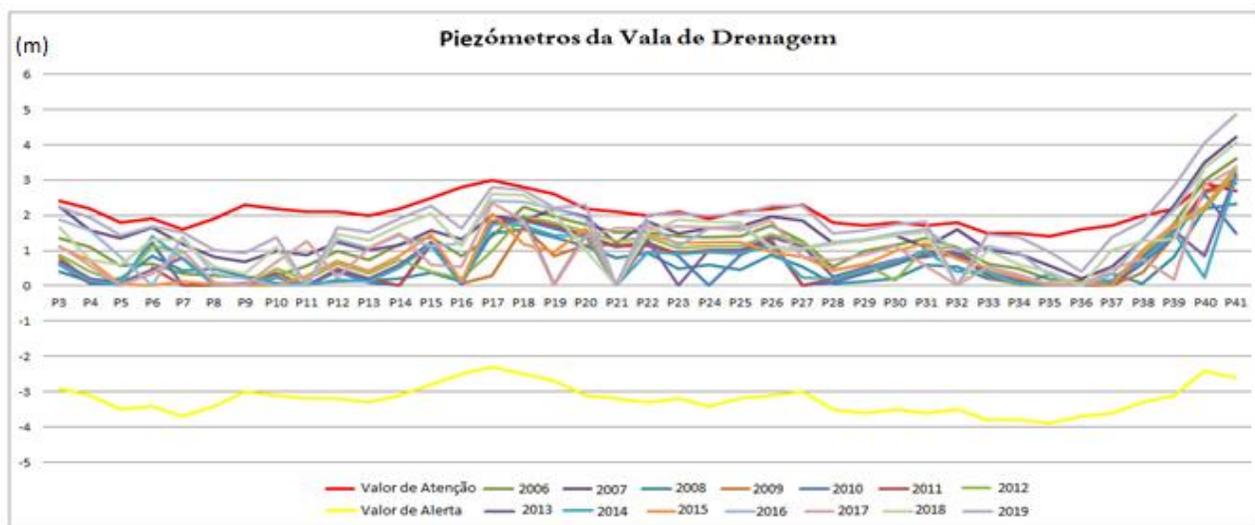


Gráfico 3. Ilustra o comportamento dos Piezômetros da Vala de Drenagem

O gráfico acima apresentado mostra o resultado da análise feita aos dados fornecidos pelos instrumentos instalados junto ao pé de jusante, é possível notar que durante o período em estudo, todos piezômetros estiveram a operar acima do nível de alerta; 7 registaram pressões não desejáveis, como é o caso de P20, P31, P33, P38 a P41, ou seja, quase no limite e acima do nível de atenção principalmente nos anos 2016, 2017 a 2019. Por outro lado, outros não chegaram a registar nenhuma leitura em 2015 como é o caso dos piezômetros: P6, P9, P21 e P36. De referir que, 3 piezômetros, P39, 40 e 41, apesar de se encontrarem em cotas de instalação elevadas em relação aos restantes, registaram pressões que superam os níveis de atenção, sinal de merecerem maior atenção e aumento da frequência nas leituras. (Anexo 5).

4.3. Poços de alívio

Junto ao pé de talude de jusante da margem direita da Barragem, foram instalados 77 poços de alívio como resposta a resurgências da água devido a percolação na fundação, mas com o tempo 13 ficaram danificados e os restantes permanecem operacionais até então. O seu comportamento é avaliado em relação ao nível de armazenamento que a albufeira apresenta, com a subida deste

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

nível, uma parte dos poços ficam submersos e com a redução, outros secam. Alguns desses poços, devido a falhas geológicas do material onde foram instalados comportam-se como poços artesianos, não respondendo as variações do nível da albufeira. Da análise feita aos dados, constatou-se que, maioria dos poços operam a níveis elevados principalmente os artesianos, os quais superam o nível que foi adoptado no momento da instalação, de $2m^3/s$.

4.4. Análise conjunta de poços de alívio e piezómetros da vala de drenagem

Visto que os poços de alívio tem como uma das principais funções drenar a água que percola pela fundação, aliviando desta forma as subpressões geradas pela pressão da água, e que as mesmas são identificadas e mensuradas pelos piezómetros, houve a necessidade de fazer uma análise conjunta de ambos instrumentos com vista a verificar, se os mesmos tem a capacidade de aliviar as pressões.

Foram seleccionados para tal os instrumentos que durante o período de estudo registaram leituras muito elevadas, que por coincidência encontram-se em pontos onde há falhas na fundação. Foram analisados os anos 2008 e 2016, de maior cota já registada na albufeira e de estiagem/secare respectivamente. Os anos, 2017 ano antes da instalação de novos poços e 2018, de instalação de novos poços.

O gráfico 4, ilustra o resultado do comportamento da fundação a quando do funcionamento em conjunto dos piezómetros da vala de drenagem e os poços de alívio, instrumentos que representam o pé de jusante do talude da margem direita.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

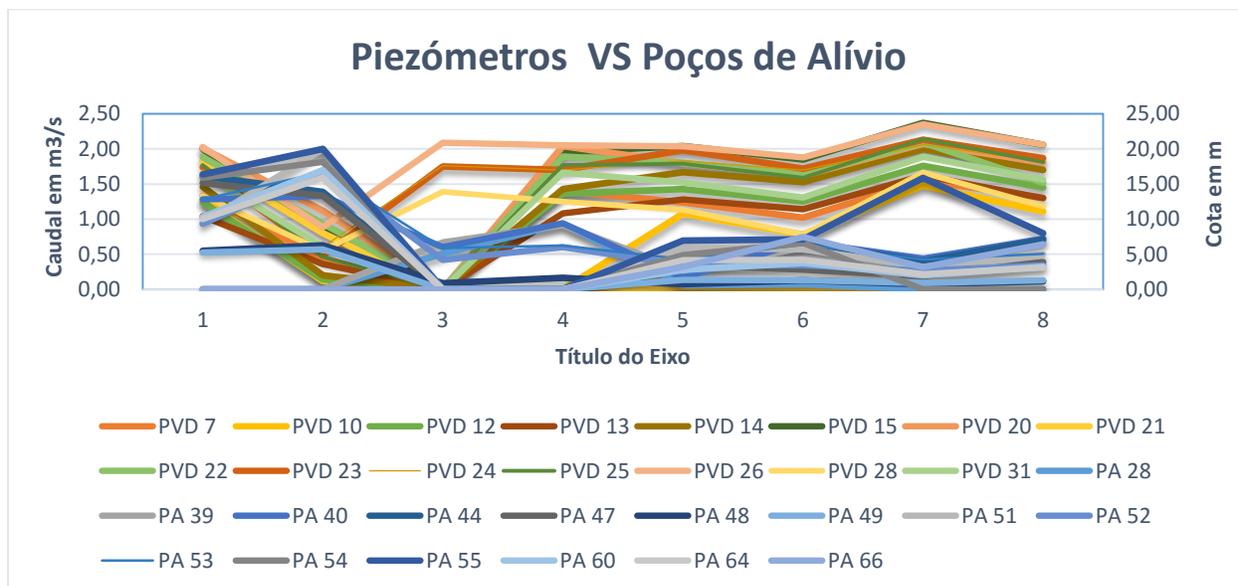


Gráfico 4. Ilustra a análise conjunta de Poços de alívio e Piezómetros da vala de drenagem

Feita a correlação entre os dados obtidos através dos poços e piezómetros, verifica-se uma relação directa entre as duas grandezas, medidas nesses dois instrumentos, ou seja, o aumento da pressão significa o aumento do caudal a ser descarregado. O ano de 2008, a maioria dos poços registaram descarga de caudais elevados e consequentemente elevadas pressões com excepção dos poços PA 39 e 66 que se encontravam em manutenção.

Em 2016, a Barragem sofreu uma intervenção como foi mencionado anteriormente e por conta disso, a maioria dos instrumentos se encontravam em manutenção, mas os poucos em funcionamento operavam no lado de segurança mas bem próximo ao limite. Em 2017 antes do aumento dos poços o comportamento pode ser relacionado como do ano de 2016 mas porque já haviam começado as obras de aumento de instrumentos, alguns poços registaram baixas na descarga caso concreto do PA39 e 40 baixando as pressões dos PVD7 e 10, mas também houve subida considerável de pressão dos PVD14 e 23 com o aumento da descarga e poços localizados nessas regiões. Para 2018 com o aumento de instrumentos apenas registou-se a redução de descarga de caudais mas as pressões continuam subindo de forma considerável.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

4.5.Inspecção Visual

Durante a realização da inspecção visual foi possível levantar alguns aspectos que merecem alguma atenção da parte do órgão de gestão da Barragem:

- Situações anómalas ao longo dos aterros de jusante da Barragem desde a criação de caminhos de uma forma desordenada nos aterros por parte dos pastores de gado, seguido por erosão nos taludes; (Anexo 7)
- Crescimento de arbustos nos taludes e falta de escadas em alguns pontos dos taludes que permitam aos técnicos responsáveis o acesso aos instrumentos; (Anexo 8)
- Aparecimento de infestantes na vala de drenagem; (Anexo 9)
- Actos de vandalismo protagonizado por moradores locais que introduzem objectos, tais como, pauzinhos nos cadeados e alguns tendem a quebrar as caixas que ajudam a proteger os piezómetros, actividade esta que já destruiu parte da instrumentação da Barragem; (Anexo 10)
- Durante muito tempo houve falta de equipamentos para leitura dos piezómetros eléctricos que são de maior importância pois estes nos possibilitam ter as subpressões;
- Inviabilização de alguns instrumentos da Barragem, isso porque estão danificados, bloqueados e alguns apresentam fugas;
- Corrosão nas comportas do descarregador de cheias.

A grande preocupação é a circulação de pessoas no pé de jusante com intuito de buscar água para consumo doméstico e a circulação de pastores de gado, visto que, tem comprometido a conservação da instrumentação pelos actos de vandalismo que tem vigorado, por ignorância ou desconhecimento da importância desses instrumentos.

5. DISCUSSÃO

Da análise feita aos dados obtidos a partir da inspecção instrumental assim como visual entre o período compreendido entre 2006 a 2019, constatou-se que apenas uma parte dos instrumentos se encontram em funcionamento e, grande parte desses, operam próximo e ou acima dos níveis de atenção estabelecidos, principalmente os que se encontram na vala de drenagem (piezómetros e poços de alívio), o que leva a constatar-se que, as pressões hidrostáticas na fundação são muito elevadas, a ponto de superar as pressões admissíveis para manter a segurança da barragem em suas condições normais de exploração.

Desde o primeiro enchimento, a Barragem registou anomalias ao nível da fundação que possivelmente podem comprometer a integridade da infra-estrutura podendo levar ao colapso ou ruptura. Segundo o relatório do (LNEC, 2011), a margem direita tem sido a mais problemática desde o início, nisso várias intervenções foram levadas a cabo para resolução desses problemas.

Verificando-se constante ocorrência destes problemas, de Abril de 2004 a Dezembro de 2006, decorreu um processo de reabilitação, considerando-se como solução do controlo da percolação, a fim de reduzir o processo de sobrepressões no pé de jusante da barragem. Segundo (FIGUEREDO, 2017) citado por (Massingue, 2019). Oprojecto de reabilitação proposto pela empresa WAPCOS englobava várias medidas como: colocação das seis comportas no descarregador de cheias; construção de mais 85 poços de alívio espaçados de 25m ao longo do dique da margem da direita (77) e no corpo principal (8); vala de drenagem a jusante do dique da margem direita; alteamento de 1m da crista; cortina de injeções de cimento em diversos troços da fundação, para melhorar a impermeabilização (PK1+800 a 2500, PK3+000 a 3200 e PK3+400 a PK3+800); construção de uma banquetta estabilizadora a jusante, no dique da margem direita; e reparação do *riprapna* zona de montante.

Verifica-se que grande parte dos piezómetros, em particular os piezómetros da vala de drenagem, encontram-se acima do limite de atenção, o que significa que as pressões exercidas pela água na fundação, superam as máximas pressões admissíveis para manter o factor de segurança da barragem nas suas condições normais de exploração. Segundo MACHADO (2007), quando vários instrumentos da mesma secção ou região instrumentada apresentam valores fora dos limites de preformasse, mas ainda abaixo do limite do projecto, isso indica um problema potencial no comportamento da barragem e este problema deverá ser investigado de imediato e

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

com a necessária profundidade. É de salientar que os piezómetros da vala de drenagem encontram-se instalados na margem direita, e esta tem-se mostrado pouco segura e vulnerável a actuação das subpressões.

Da análise comportamental dos poços de alívio, observou-se que os caudais descarregados encontram-se pouco acima do limite estabelecido. Segundo o manual de operação e controle dos instrumentos de auscultação da barragem de Massingir (ARA-Sul, 2016), o caudal máximo admissível não deve ser superior a $2\text{m}^3/\text{s}$ e o caudal máximo resultante da soma dos caudais descarregados pelos poços ao longo dos anos de 2006 a 2019 encontra-se nesse intervalo mas a sua velocidade de fluxo aumentou devido ao aumento dos poços de alívio, não aliviando com eficácia as pressões de água na fundação e conseqüentemente potenciar a erosão interna.

De referir que a intervenção feita com o intuito de reduzir as subpressões na fundação da Barragem com o aumento de poços alívio não surtiu efeito desejado, visto que com esse processo apesar de reduzir a descarga de caudal em alguns poços, aumentou-se também o espaço de percolação da água, o que indica a ocorrência de elevadas velocidades de percolação na fundação e conseqüentemente o aumento das subpressões, essas que por sua vez não são aliviadas por completo. O (LNEC, 2011) acrescenta que a albufeira na zona do dique da margem direita não é impermeável, facto provavelmente agravado pela eventual exploração de manchas de empréstimo muito próximas da barragem. Porém, as aluviões da fundação, muito permeáveis (coeficiente de permeabilidade - k da ordem de 10^{-1} cm/s) e heterogéneas, são difíceis de tratar, nomeadamente através de injecções.

Os resultados obtidos por MARECELO, et al, (2011) ao comportamento da fundação do dique da margem direita, mostraram que esta zona da barragem não apresenta ainda o comportamento necessário para que se considere a barragem como segura. Facto que se deve ao fluxo excessivo e não devidamente controlado e aos caudais elevados recolhidos nos poços de alívio, o que indica a ocorrência de velocidades de percolação elevadas na fundação. O LNEC (2011) ainda acrescenta que a albufeira na zona do dique da margem direita não é impermeável, facto provavelmente agravado pela eventual exploração de manchas de empréstimo muito próximas da barragem. Porém, as aluviões da fundação, muito permeáveis (coeficiente de permeabilidade - k da ordem de 10^{-1} cm/s) e heterogéneas, são difíceis de tratar, nomeadamente através de injecções.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Na fase do diagnóstico da segurança, foi avaliada a ocupação do vale a jusante, as condições de acesso à barragem e a capacidade da equipe de operação da barragem através de observações, constatou-se que a mesma mantém uma vigilância apertada sobre a barragem de Massingir em termos de inspeção visual, o pessoal técnico responsável pela segurança e exploração da barragem está devidamente treinado, e participa em acções de formação nesse domínio, de forma a manter um elevado nível de prontidão operacional. Que segundo (APLIMA, 2004), estes aspectos são fundamentais quando se pretende estimar o potencial de risco da obra.

Das intervenções levadas a cabo como medidas de mitigação das subpressões na Barragem de Massingir, apenas uma solução demonstrou-se bastante plausível para implementação, que é, a instalação de uma banquetta estabilizadora a jusante sobre um dreno. Com esta banquetta a água que percola pela fundação é colectada pelo dreno que encaminha a água para longe do pé de jusante onde o gradiente é menor. A berma tem peso próprio, o que ajuda a contrariar as forças de percolação verticais ascendentes, para além de proteger o dreno e estabilizar o paramento jusante.

Ainda em relação as possíveis soluções de estabilidade da barragem, de acordo com RUBINI (2014), as cortinas de injeção não têm qualquer efeito em terrenos pouco permeáveis ($< 10-6 \text{ cm/s}$). A existência da cortina (que se destina essencialmente a controlar o caudal) é pouco eficaz no controlo da pressão, o que nesta fundação também é importante, e pode apenas redireccionar o caudal percolado para as zonas não tratadas, como parece estar a acontecer no caso de Massingir (MARECELO, et al, 2010). A execução de uma parede moldada na fundação é um dos sistemas mais eficientes. A parede pode ser feita através do maciço montante ou através do núcleo. Nos dois casos a escavação é executada da superfície da barragem até à camada impermeável da fundação, que é retirada e substituída por betão. No pressuposto que a parede é enrizada numa camada impermeável, o caudal que atravessa é reduzido. A COBA em 1983, propôs esta solução que nunca chegou a ser implementada, o que pode estar relacionado ao aspecto económico aliado a dimensão da barragem (FIGUEIREDO, 2017).

A materialização desta solução, corresponde à execução de um tapete, a jusante, munido de um filtro invertido que diminui o arraste de materiais na zona de saída do caudal. Para além de maior estabilidade hidráulica, o peso da banquetta contribui para a uma maior estabilidade mecânica. Quanto aos órgãos já existentes no local, permanecem. A vala de drenagem pode ser substituída

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

por uma conduta e os poços de alívio devem ser alteados para que se possa ter acesso ao seu interior para medições (Plünnecke & Marcelino) citados por (FIGUEREDO, 2017).

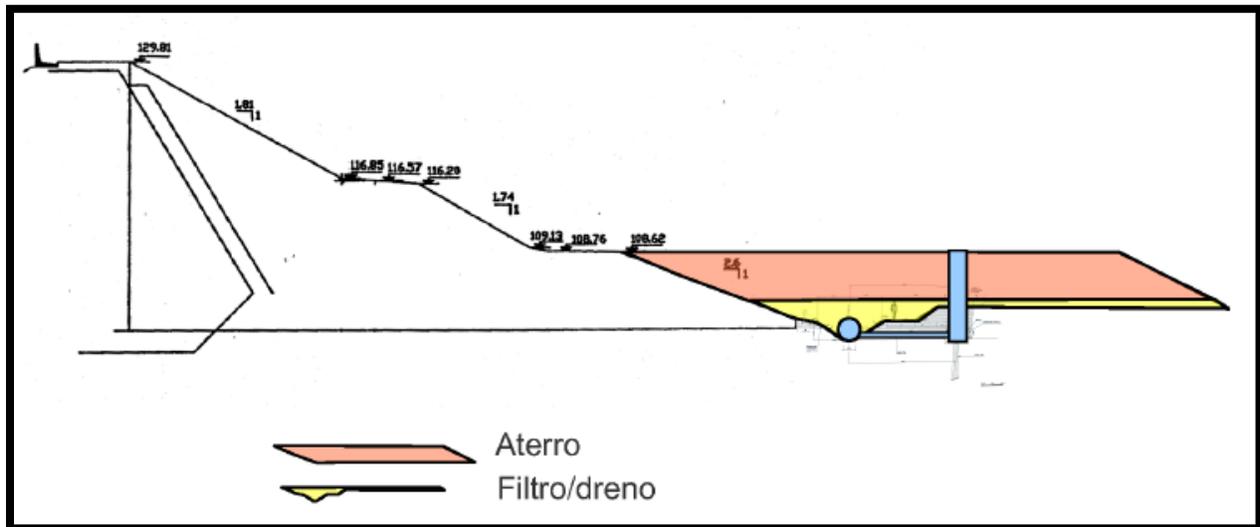


Figura 13 - Esquema de uma banquetta estabilizadora

Segundo o (LNEC, 2011), a solução adoptada (figura 13) consiste na estabilização mecânica do pé de talude e, simultaneamente, na colocação de uma zona de filtro/dreno na tentativa de estabilização hidráulica, procurando-se captar os caudais afluentes da fundação e que, originalmente, causavam o surgimento de ressurgências de grande produção, com arrastamento de finos.

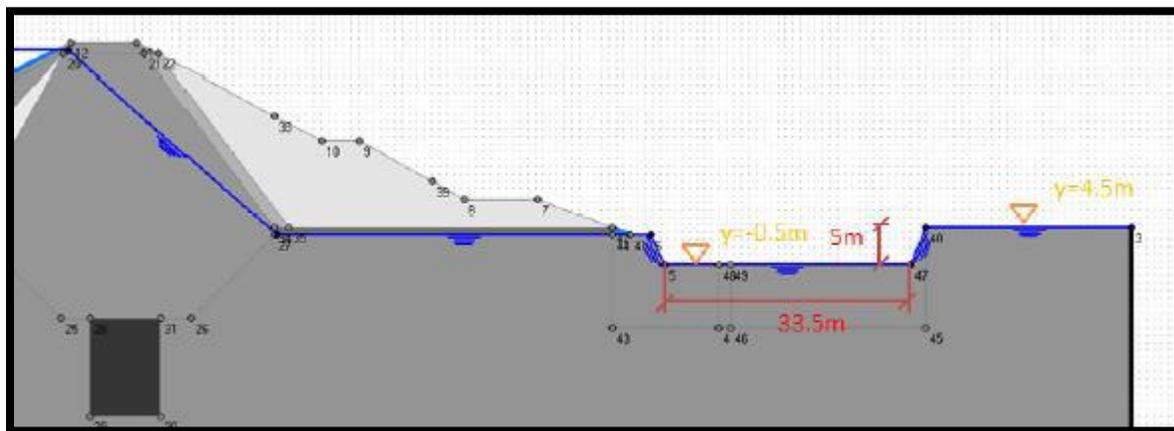


Figura 14 - Dimensões da escavação da proposta

De acordo com FIGUEREDO (2017) citado por (Massingue, 2019), a subpressão e a percolação de água através da estrutura são as principais causas de instabilidade potencial de parte ou da

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

totalidade das estruturas hidráulicas. A subpressão age no sentido ascendente, aliviando o peso da estrutura, reduzindo sua resistência ao deslizamento e levando a barragem a uma condição menos segura.

Sendo o factor económico relevante, procurou-se estimar o custo desta solução contabilizando o material, as actividades de transporte, colocação e compactação da banquetta a ser colocada a jusante. Para o cálculo estimou-se o valor da área da banquetta e prolongou-se ao longo da margem direita. O cálculo aponta para valores na ordem de 3 427 344.55USD.

Sendo o principal objectivo dos drenos de galeria a redução das subpressões que se fazem sentir na fundação e na protecção do revestimento da estrutura, estes mostraram-se eficientes.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado permitiu um estudo aprofundado da percolação na barragem de Massingir, que apresenta sinais de percolação excessiva ao longo da fundação, situação que se mantém actualmente, que compromete a segurança da estrutura e limita a sua operacionalidade.

A zona onde se encontram as patologias mais preocupantes é a jusante, na margem direita, com o aparecimento de ressurgências na vala de drenagem. Estas ressurgências são acompanhadas de material fino, indício de ocorrência de *piping*na fundação. Face a esta situação é urgente uma intervenção cuidada e preventiva, que possibilite a estabilidade hidráulica na fundação.

Embora os valores das leituras registradas pela maioria dos piezómetros estejam acima do limite de atenção, o que implica pequenas alterações no coeficiente de segurança, os instrumentos ainda se encontram em seu funcionamento normal mas não desejável, visto que, deveriam operar dentro dos seus limites de atenção e de alerta, e de uma forma generalizada, não se deve olhar para as secções com os instrumentos com leituras elevadas e assumir que a Barragem não está segura por ter apresentado um comportamento da instrumentação não satisfatório.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

7. RECOMENDAÇÕES

- Considera-se a Barragem totalmente segura quando os instrumentos estão operando por completo (segundo Relatório de Análise de Segurança da Barragem, ARA-SUL 2017), desta forma, urge a necessidade de recuperar os instrumentos bloqueados e danificados de forma a obter o diagnóstico completo;
- Fazer a manutenção e calibração frequente dos instrumentos de forma a obter dados precisos e fiáveis da Barragem;
- Necessidade de definir ações imediatas de como proteger esta instrumentação antes que todo um trabalho de reforço da monitoria da Barragem seja em vão, visto que tem havido muito vandalismo protagonizado pela população circunvizinha e pastores de gado;
- Que se faça a reabilitação da Barragem tendo como base os contextos abordados neste relatório.

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, D. P. D. O., 2014. *CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO ÍNDICE DE SEGURANÇA DE BARRAGENS - ISB*, CAMPINAS: s.n.
- ALMEIDA, 2001. *Curso de exploração e segurança de Barragens*, Lisboa: INAG.
- APLIMA, 2004. *Certificação Digital Nº0115476*. s.l.:s.n.
- ARA-Sul, 2005. *Manual de Controle e Operação de instrumentos de Auscultação da Barragem de Massingir*. s.l.:s.n.
- ARA-Sul, 2017. *Pela água, vida e desenvolvimento*. Maputo: s.n.
- BALBI, D. M. R., 2005. *Sistema inteligente de segurança e controle de Barragens*, Salvador: s.n.
- COELHO, A. S., 2015. *Avaliação de estabilidade em Barragens de terra*, Rio de Janeiro: CEFET.
- CRUZ, P., 2004. *100 Barragens Brasileiras. Casos Históricos, Materiais de Construção e Projetos*. 2ª Edição. ed. Sao Paulo: editora Oficina de textos.
- FIGUEREDO, L. I. P. d. S., 2017. *Soluções de estabilização hidráulica na Barragem de Massingir*, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa.
- FIORINI, A. S., 1996. *Guia básico de segurança de Barragens*, São Paulo: s.n.
- FONSECA, A., 2003. *Auscultação de Barragens de terra e enrocamento para geração de energia eléctrica*, Ouro Preto: s.n.
- FUSARO, 2005. *Metodologias de classificação de Barragens baseada no risco*, Salvador: s.n.
- GAIOTO, E., 2003. *Estudo da Percolação da água em Maciços Rochosos para o Projecto de Grandes Barragens*. s.l.:s.n.
- [https://www.google.com/maps/@-23.8747763,3,3](https://www.google.com/maps/@-23.8747763,3,), s.d. [Online].
- KUPERMAN et al, S. C. M. M. R. C. S. C. T. B. R. G. Z. K. e. a., 2003. *Critérios para Fixação de Valores Limites da Instrumentação Civil de Barragens de Concreto e de Terra*. s.l.:s.n.
- LNEC, 2011. *Inspecção anual de segurança das barragens de Massingir, Corumana, Pequenos Libombos e Macarretane: Barragem de Massingir*. Lisboa: s.n.
- LOPES, J. D., 2017. *Pequenas Barragens de Terra*. Aprenda Facil ed. s.l.:s.n.
- MARMELO, V., 2007. *Projeto de construção de pequenas barragens de terra*, São Paulo: s.n.
- MASSAD, F., 2003. *Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia*. Sao Paulo: editora Oficina de textos.
- Massingue, M. J., 2019. *Avaliação da estabilidade da Barragem De Massingir por Meio da Instrumentação*, Chokwe: s.n.

**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS),
SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR**

MEDEIROS, C. H., 2013. *A Regulamentação da Lei de Segurança de Barragens e seus*, Porto de Galinhas - PE: s.n.

OLIVEIRA, A. G., 2008. *Análise da Eficácia dos Dispositivos de Vedação e Drenagem Utilizados em Fundações Permeáveis de Barragens de Terra*. São Carlos - Brasil: s.n.

PEDROTHA, 2007. *Certificação Digital No0510750/CA*. s.l.:s.n.

PLUNNECKE, C. M. J., s.d. *Rehabilitation of the Massingir embankment dam: A concept based on finite element seepage analysis.*, s.l.: s.n.

SANDROMI, S., 2012. *Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento.* Rio de Janeiro: Curso de Mestrado da COPPE/UFRJ.

SILVA, D. S., 2016. *Estudo de Filtro Aplicado ao Controle de Erosão Interna em Barragens*, s.l.: s.n.

SILVEIRA., F., 2006. *Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento*. São Paulo: Oficina de textos.

SILVEIRA, G. L., 2005. *Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades*, Santa Maria: UFSM.

VAZ et al, Á. C. G. R. A. B. Q. C. & Z. I., 2008. *Comissão de Inquérito ao Acidente da Barragem de Massingir*. s.l.:s.n.

VICTORINO, D. G. W. Y. & R. M. C., 2003. *Piezômetro e Medidor de Nível D'água em Pistas Experimentais da Ufrgs.* s.l.:s.n.

**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS),
SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR**

9. ANEXOS

Características dos instrumentos

Anexo 1 - Características dos Piezómetros do Corpo da Barragem

Designação	PK secção	Profundidade	Cota de Topo	Ponteira/ Localização
PP01	0+450	15.00	125.13	Filtro Jusante
PP01B		19.23	116.87	Fundação
PP02		19.00	109.06	Contacto Aterro Fundação
PP03		10.80	109.43	Contacto Aterro Fundação
PP19	0+600	18.32	116.87	Contacto Aterro Fundação
PP04	0+800	10.80	116.68	?
PP05		19.50	109.03	Contacto Aterro Fundação
PP06		30.00	109.45	Fundação
PP20	1+050	18.00	116.38	Contacto Aterro Fundação
PP07B	1+300	18.00	116.49	Fundação
PP08		18.00	109.00	Contacto Aterro Fundação
PP09		10.80	109.00	Aterro
PP10B	2+000	12.80	116.68	?
PP11		15.00	109.31	?
PP12		13.00	109.33	?
PP13	3+050	15.00	121.86	Aterro
PP14		10.00	116.57	Aterro
PP16	3+300	30.00	115.90	Fundação
PP17		21.00	108.62	Fundação
PP18		15.00	100.89	Fundação

Anexo 2 - Características dos Piezómetros da Vala de Drenagem

Designação	PK secção	Profundidade	Cota de Topo
3	0+212,50	23.00	104.57
4	0+262,50	11.50	103.87
5	0+312,50	23.00	103.07
6	0+362.50	13.00	102.63
7	0+410.50	36.00	101.87
7B	0+412.50	13.00	101.90
8	0+462.50	21.60	101.65
9	0+512.50	23.00	101.59

**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS),
SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR**

10	0+562.50	15.00	101.04
11	0+612.50	21.00	100.62
12	0+662.50	23.00	100.81
13	0+712.50	19.00	100.78
14	0+762.50	18.00	101.20
15	0+812.50	19.00	101.62
16	0+862.50	23.00	102.10
17	0+912.50	21.00	102.44
18	0+962.50	21.00	102.37
19	1+012.50	21.00	102.29
20	1+062.50	21.00	102.05
21	1+112.50	20.00	102.15
22	1+162.50	22.00	102.15
23	1+212.50	21.00	102.39
24	1+262.50	21.00	102.39
25	1+312.50	21.00	102.77
26	1+362.50	21.00	102.98
27	1+412.50	21.00	103.19
28	1+462.50	22.00	102.86
29	1+512.50	21.00	102.88
30	1+562.50	21.00	103.15
31	1+612.50	20.00	103.22
32	1+662.50	23.00	103.45
33	1+712.50	23.00	103.34
34	1+762.50	23.00	103.45
35	1+812.50	23.00	103.56
36	1+862.50	23.00	103.91
37	1+912.50	21.00	104.33
38	1+962.50	15.00	105.39
39	2+012.50	18.00	106.38
40	2+062.50	18.00	107.78
41	2+112.50	20.00	108.85

Anexo 3 - Características dos Poços de Alívio

Designação	PK seção	Profundidade	Cota de Topo	Diametro
------------	----------	--------------	--------------	----------

**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS),
SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR**

9	0+200	21.00	104.33	200.00
10	0+225	19.00	104.07	200.00
11	0+250	19.00	103.69	200.00
12	0+275	19.00	103.28	200.00
13	0+300	16.00	102.93	200.00
14	0+325	21.00	102.58	200.00
15	0+350	18.00	102.43	200.00
16	0+375	20.00	102.01	200.00
17	0+400	17.00	101.73	200.00
18	0+425	17.00	101.53	200.00
19	0+450	21.00	101.40	200.00
20	0+475	18.20	101.33	200.00
21	0+500	17.80	101.30	200.00
22	0+525	17.00	101.28	200.00
23	0+550	21.00	100.94	200.00
24	0+575	21.00	100.68	200.00
25	0+600	21.00	100.63	200.00
26	0+625	21.00	100.27	200.00
27	0+650	21.00	100.44	200.00
28	0+675	21.00	100.56	200.00
29	0+700	21.00	100.57	200.00
30	0+725	20.00	100.73	200.00
31	0+750	20.00	101.13	200.00
32	0+775	20.00	101.80	200.00
33	0+800	20.00	101.50	200.00
34	0+825	21.00	101.77	200.00
35	0+850	21.00	101.96	200.00
36	0+875	21.00	102.28	200.00
37	0+900	21.00	102.28	200.00
38	0+925	21.00	102.35	200.00
39	0+950	21.00	102.29	200.00
40	0+975	21.00	102.32	200.00
41	1+000	21.00	102.32	200.00
42	1+025	21.00	101.83	200.00
43	1+050	21.00	101.83	200.00
44	1+075	21.00	101.81	200.00
45	1+100	21.00	101.80	200.00
46	1+125	21.00	101.98	200.00
47	1+150	21.00	102.79	200.00
48	1+175	21.00	102.15	200.00
49	1+200	21.00	102.00	200.00

**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS),
SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR**

50	1+225	21.00	102.13	200.00
51	1+250	21.00	102.19	200.00
52	1+275	21.00	102.34	200.00
53	1+300	21.00	102.43	200.00
54	1+325	21.00	102.46	200.00
55	1+350	21.00	102.54	200.00
56	1+375	21.00	102.63	200.00
57	1+400	21.00	102.78	200.00
58	1+425	21.00	102.97	200.00
59	1+450	21.00	102.74	200.00
60	1+475	21.00	102.48	200.00
61	1+500	21.00	102.74	200.00
62	1+525	24.00	102.97	200.00
63	1+550	24.00	102.94	200.00
64	1+575	24.00	102.76	200.00
65	1+600	24.00	102.94	200.00
66	1+625	24.00	102.99	200.00
67	1+650	24.00	103.06	200.00
68	1+675	21.00	103.05	200.00
69	1+700	21.00	102.87	200.00
70	1+725	21.00	103.09	200.00
71	1+750	21.00	103.06	200.00
72	1+775	21.00	103.16	200.00
73	1+800	21.00	103.05	200.00
74	1+825	21.00	103.38	200.00
75	1+850	21.00	105.27	200.00
76	1+875	21.00	105.27	200.00
77	1+900	21.00	103.90	200.00
78	1+925	21.00	104.14	200.00
79	1+950	21.00	104.96	200.00
80	1+975	21.00	105.27	200.00
81	2+000	21.00	105.84	200.00
82	2+025	24.00	106.29	200.00
83	2+050	21.00	107.04	200.00
84	2+075	21.00	107.56	200.00
85	2+100	21.00	108.00	200.00

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Dados obtidos através da instrumentação

Anexo 4 - Leituras dos Piezômetros do Corpo da Barragem

Desig.	Pk (seção)	Profundidade		Período													
		(m)		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
		V.atenção	V.alerta	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
PP01	0+450	13	8	7.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP01B		7	2	9.57	13.99	16.5	16.78	16.68	16.65	16.64	16.59	16.57	16.61	16.68	16.62	16.71	16.83
PP02		14	9	9.25	9.16	9.04	7.38	6.97	6.31	7.29	7.05	6.13	7.48	7.04	7.47	7.77	8.24
PP03		6	1	6.67	7.78	6.44	7.1	9.07	9.15	9.15	9.12	9.12	9.17	9.23	9.2	9.24	9.28
PP04	0+800	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP05		14	9	0	9.87	9.22	9.55	9.49	9.45	9.45	9.42	9.12	9.42	9.49	9.48	9.45	9.6
PP06		6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP07B	1+300	7	2	15.3	15.4	14.14	15.18	15.04	14.97	15.12	15.06	15.06	15.15	15.36	15.2	15.35	15.65
PP08		14	9	6.68	7.13	4.3	6.09	5.96	6.13	6.34	6	6.1	6.19	7.23	6.78	7.2	7.62
PP09		9	4	7.72	7.82	7.48	7.63	6.37	7.51	6.79	7.42	7.47	6.76	7.73	7.09	7.72	7.95
PP10B	2+000	4	-1	6.08	11.96	10.44	11.17	11.15	11.29	11.48	11.22	11.33	11.59	11.94	11.54	4.72	12.6
PP11		11	6	3.9	4.26	3.25	3.74	3.66	3.79	3.92	3.81	3.83	4.01	4.26	3.88	4.28	4.91
PP12		2	-3	3.81	4.3	2.8	3.59	3.58	3.69	3.86	3.65	3.71	3.9	4.31	3.93	4.31	4.95
PP13	3+050	11	6	0	14.82	14.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP14		16	11	0	10.05	10.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP16	3+300	18	13	26.84	26.77	26.67	26.81	26.76	26.81	26.8	26.85	26.88	27	26.92	26.69	26.74	26.85
PP17		11	6	0	19.59	19.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP18		3	-2	13.28	13.32	12.25	12.39	12.24	12.29	12.38	12.21	11.25	11.94	12.08	11.78	11.86	12.21
PP19	0+600	14	9	15.9	17.7	17.07	17.68	17.65	17.63	17.63	17.61	17.61	15.9	17.52	17.55	17.6	17.62
PP20	1+050	14	9	15.6	13.71	15.96	16.1	15.97	15.93	15.9	15.8	15.73	15.58	15.9	15.61	15.79	16.09

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Anexo 5 - Leituras dos Piezômetros da Vala de Drenagem

PK	Ref.	Piezômetro		Ano													
		Valor de Atenção	Valor de Alerta	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
212.5	P3	2.4	-2.9	1.34	2.23	0.39	0.82	0.61	0.63	0.88	0.7	0.6	1.11	1.87	1.12	1.65	2.24
262.5	P4	2.2	-3.1	1.09	1.58	0.13	0.1	0.07	0.1	0.39	0.2	0.15	0.7	1.56	0.58	0.75	1.93
312.5	P5	1.8	-3.5	0.58	1.34	0.22	0.06	0.04		0.1	0.11	0.01	0.05	0.81	0.02	0.61	1.43
362.5	P6	1.9	-3.4	0.63	1.66	0.85	1.25	1.21	0.51	1.14	0.46	1.41	0	0	0.34	1.31	1.68
410	P7	1.6	-3.7	0.35	1.17	0.43	0	0	0	0.98	0.8	0.77	0.12	1.37	1	1.29	1.53
462.5	P8	1.9	-3.4	0.3	0.83	0.5	0	0	0	0.03	0.04	0.02	0.05	0.36	0.1	0.54	1.02
512.5	P9	2.3	-3	0.24	0.69	0.27	0.04	0.01	0	0.01	0.06	0.04	0.02	0.2	0.01	0.35	0.93
562.5	P10	2.2	-3.1	0.29	0.98	0.06	0.37	0.25	0.34	0.48	0.26	0.26	0	0	0.68	1.11	1.37
612.5	P11	2.1	-3.2	0.58	0.89	0.06	0.01	0.02		0.18	0.01	0.01	0.29	0	1.27	0	0
662.5	P12	2.1	-3.2	0.98	1.23	0.13	0.48	0.4	0.49	0.62	0.46	0.17	0.71	1.33	0.23	1.45	1.66
712.5	P13	2	-3.3	0.74	1.01	0.16	0.19	0.11	0.2	0.35	0.2	0.13	0.44	1.06	1.08	1.3	1.52
762.5	P14	2.2	-3.1	1.17	1.16	0.2	0.61	0	0	0.75	0.6	0.52	0.85	1.43	1.48	1.7	1.91
812.5	P15	2.5	-2.8	1.39	1.58	0.38	1.22	1.16	1.24	0.41	1.24	1.16	1.46	1.12	0.6	2.06	2.28
862.5	P16	2.8	-2.5	0.84	1.32	0.12	0.06	0.04	0.03	0.21	0.03	0.07	0.12	1.2	0.54	1.12	1.64
912.5	P17	3	-2.3	1.41	1.98	1.48	0.29	1.76	1.83	0.99	1.75	1.78	2.04	2.42	2.36	2.6	2.79
962.5	P18	2.8	-2.5	2.25	1.86	1.61	1.68	1.85	1.92	2	1.93	1.7	1.18	2.39	1.86	2.59	2.71
1012.5	P19	2.6	-2.7	1.97	2.2	1.39	0.86	1.64	1.7	1.8	0.05	1.44	0.95	2.18	0.02	2.04	2.22
1062.5	P20	2.2	-3.1	1.74	1.95	1.12	1.15	1.38	1.44	1.54	1.46	1.41	1.62	1.9	1.42	1.01	2.29
1112.5	P21	2.1	-3.2	1.52	1.21	0.8	1.15	1.1	1.13	1.27	0	0	0	0	1.64	0	0
1162.5	P22	2	-3.3	1.53	1.82	0.94	1.25	1.21	1.12	1.38	1.3	0.95	1.47	1.79	1.62	1.52	2.02
1212.5	P23	2.1	-3.2	1.4	1.48	0.48	0.9	0.85	0.94	1.07	0.01	0.9	1.2	1.14	1.69	1.87	2.05
1262.5	P24	1.9	-3.4	1.37	1.62	0.6	0.97	0.01	1.01	1.12	1.02	0.97	1.23	1.64	1.65	1.82	1.98
1312.5	P25	2.1	-3.2	1.41	1.68	0.46	0.9	0.87	0.99	1.13	1.02	0.94	1.25	1.72	1.57	1.81	2.04
1362.5	P26	2.2	-3.1	1.7	1.95	0.88	1.27	1.24	1.33	1.46	1.37	1.11	0.95	1.09	1.86	1.11	2.26
1412.5	P27	2.3	-3	1.26	1.86	0.54	0	0	0	1.24	1.12	0.25	0.83	1.06	0.81	1.04	2.26
1462.5	P28	1.8	-3.5	0.54	1.22	0.06	0.12	0.1	0.22	0.42	0.27	0.2	0.47	1.25	0.75	1.17	1.5
1512.5	P29	1.7	-3.6	0.99	1.29	0.12	0.43	0.36	0.48	0.64	0.51	0.45	0.59	1.31	0.89	1.29	1.57
1562.5	P30	1.8	-3.5	1.15	1.44	0.21	0.65	0.61	0.72	0.14	0.75	0.71	1	1.48	1.13	1.43	1.73
1612.5	P31	1.7	-3.6	1.35	1.1	0.61	0.95	0.9	1	1.11	0.81	0.98	1.22	1.6	0.58	1.51	1.82
1662.5	P32	1.8	-3.5	1.11	1.6	0.53	0.92	0.86	0.94	1.08	0.99	0.4	0.77	1	0	0	0
1712.5	P33	1.5	-3.8	0.63	1.02	0.2	0.27	0.32	0.4	0.4	0.4	0.4	0.52	1.14	0.53	1.01	1.45
1762.5	P34	1.5	-3.8	0.5	0.9	0.06	0.05	0.03	0.06	0.02	0.14	0.06	0.25	0.93	0.31	0.6	1.38
1812.5	P35	1.4	-3.9	0.18	0.56	0.32	0.04	0	0	0.01	0.07	0.05	0.05	0.28	0.03	0.41	0.96
1862.5	P36	1.6	-3.7	0.15	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0.02	0.4
1912.5	P37	1.7	-3.6	0.15	0.54	0.34	0.02	0	0	0.06	0.07	0.14	0.02	0.32	0.49	1.01	1.38
1962.5	P38	2	-3.3	0.88	1.3	0.08	0.37	0.62	0.74	0.93	0.8	0.72	1.02	1.31	0.77	1.28	1.83
2012.5	P39	2.2	-3.1	1.76	2.26	0.82	1.42	1.39	1.5	1.68	1.58	1.52	1.75	2.15	0.183	1.31	2.84
2062.5	P40	2.9	-2.4	2.99	3.49	2.19	2.63	2.6	2.69	2.13	0.85	0.23	2.25	3.36	2.86	3.37	4.04
2112.5	P41	2.7	-2.6	3.6	4.23	2.32	2.92	1.49	3.01	3.28	3.16	3.09	3.39	4.04	3.35	4.06	4.85

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Anexo 6. Dados para Análise conjunta de PA e PVD

	2008		2016		2017		2018	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Instrumento	112.39	122.82	114.06	115.52	116.88	119.92	112.77	116.25
PA 28	0.00	0.00	5.08	9.34	0.61	0.72	0.00	0.00
PVD 7	1.33	0.44	0.00	1.40	1.24	1.02	1.55	1.30
PA 39	0.00	0.00	6.67	9.17	2.64	5.96	4.27	6.80
PVD 10	1.27	0.12	0.00	0.00	1.08	0.78	1.48	1.11
PA 40	12.81	13.33	6.02	9.43	1.67	6.80	4.37	7.25
PVD 12	1.24	0.14	0.00	1.36	1.43	1.25	1.76	1.45
PA 44	16.13	13.89	0.00	0.00	4.46	6.67	4.01	7.09
PVD 13	1.04	0.36	0.00	1.08	1.28	1.14	1.62	1.30
PA 47	15.15	13.33	0.00	0.00	3.50	2.83	1.88	3.87
PVD 14	1.46	0.20	0.00	1.43	1.67	1.53	2.00	1.70
PA 48	5.49	6.28	0.88	1.65	0.72	1.27	0.71	1.13
PVD 15	2.00	0.86	0.00	1.96	2.04	1.85	2.37	2.06
PA 49	5.26	5.71	0.00	0.00	1.32	1.29	0.88	1.30
PVD 20	2.01	1.12	0.00	2.04	1.80	1.62	2.07	1.81
PA 51	9.43	20.00	0.00	0.00	5.92	5.71	3.20	5.00
PVD 21	1.83	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PA 52	9.34	16.95	4.18	6.02	3.48	3.43	2.66	3.42
PVD 22	1.88	0.94	0.00	1.89	1.80	1.63	2.09	1.52
PA 53	12.82	16.66	5.88	6.25	4.27	6.37	4.26	5.08
PVD 23	1.74	0.48	1.75	1.70	1.98	1.72	2.13	1.87
PA 54	15.87	18.18	0.00	0.00	4.89	6.58	0.00	0.00
PVD 24	1.70	0.60	1.76	1.70	1.83	1.70	2.06	1.82
PA 55	16.39	20.00	0.00	0.00	6.94	7.14	15.87	8.00
PVD 25	1.77	0.46	0.00	1.77	1.79	1.59	2.14	1.81
PA 60	10.31	16.95	0.00	0.00	2.79	3.77	1.98	3.21
PVD 26	2.03	0.88	2.09	2.05	2.04	1.88	2.35	2.06
PA 64	10.00	15.87	0.00	0.00	4.16	4.18	2.16	3.11
PVD 28	1.33	0.55	1.39	1.25	1.13	0.78	1.66	1.18
PA 66	0.00	0.00	0.00	0.00	3.18	7.47	3.14	6.41
PVD 31	1.65	0.61	0.00	1.66	1.52	1.31	1.89	1.56

ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Imagens da inspeção visual

Anexo 7 – Erosão nos taludes e criação desordenada de caminhos nos maciços



Anexo 8- aparecimento de arbustos e falta de escadas para acesso aos instrumentos



Anexo 9 – Aparecimento de infestantes na vala de drenagem



**ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS),
SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR**

Anexo 10 – Actos de Vandalismo



Anexo 11 - Aspecto geral da barragem principal (vista para a margem esquerda)



ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO (POÇOS DE ALÍVIO E PIEZÓMETROS), SUA INFLUÊNCIA E SOLUÇÃO PARA SEGURANÇA DA BARRAGEM DE MASSINGIR

Anexo 12 - Aspecto geral do talude de jusante do dique da margem direita (vista para a margem direita)



Anexo 13 - Comportamento do poço 27 em relação ao nível de pleno armazenamento

