



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

RODRIGO DE ANDRADE BARBOSA

**DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS
VISANDO À RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM POLEIROS,
EM BARRA DE SANTA ROSA, PB**

CAMPINA GRANDE – PB
2014

RODRIGO DE ANDRADE BARBOSA

**DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS
VISANDO À RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM POLEIROS,
EM BARRA DE SANTA ROSA, PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)
em cumprimento às exigências para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Weruska Brasileiro Ferreira

CAMPINA GRANDE – PB
2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

B238d Barbosa, Rodrigo de Andrade.

Diagnóstico e execução de ações corretivas visando à recuperação da Barragem Poleiros, em Barra de Santa Rosa, PB [manuscrito] / Rodrigo de Andrade Barbosa. - 2014.

72 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Profa. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Barragem. 2. Infraestrutura física. 3. Inspeção de segurança. I. Título.

21. ed. CDD 553.7

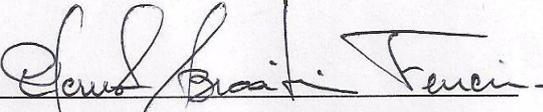
RODRIGO DE ANDRADE BARBOSA

DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS VISANDO À
RECUPERAÇÃO DA BARRAGEM POLEIROS LOCALIZADA EM BARRA DE
SANTA ROSA-PB

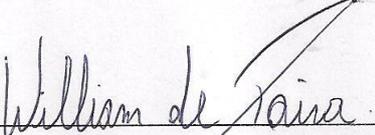
Aprovado em: 02 / 12 / 2014

Nota: _____ (_____)

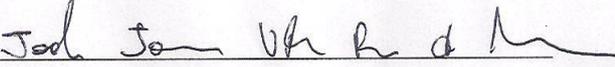
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Weruska Brasileiro Ferreira
(Orientadora – DESA/ UEPB)



Prof. Dr. WILLIAM DE PAIVA
(Examinador – DESA/ UEPB)



Prof. Msc. Joab Josemar V. R. Nascimento
(Examinador – IFPB)

CAMPINA GRANDE – PB
2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me possibilitar concluir mais esta etapa da minha vida e obter o tão sonhado título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

A minha mãe, Débora Ferreira, que sempre batalhou muito para conseguir que seus filhos tivessem a melhor educação possível, que sempre apoiou minhas decisões, aconselhou-me e ajudou financeiramente para que conseguisse chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Marcelo e Maurício por todo apoio e compreensão, mesmo durante meu afastamento na jornada acadêmica.

A minha noiva, Janaina Oliveira, por ter ficado ao meu lado em todos os momentos durante a minha graduação, me auxiliando a enfrentar todas as dificuldades de estar longe da família.

Aos meus colegas de turma, por estarem sempre juntos, criando um ambiente prazeroso de se viver durante a graduação.

Aos meus amigos (Irmãos escolhidos) Kamila Lacerda, Henrique Gama, Matheus, e Lyanne por existirem e participarem da minha vida, em todos os momentos durante esses 5 anos. Em especial a Whelton e Daywison, por sugestões e críticas na elaboração deste trabalho.

Ao meu supervisor de estágio Joab Nascimento, por me proporcionar essa oportunidade de estágio, e sempre me desafiar com atividades e projetos multidisciplinares, enriquecendo minha graduação na teoria e na prática.

A minha supervisora de estágio e orientadora deste trabalho, Weruska Brasileiro Ferreira, por sempre se dedicar no preparo e execução das suas aulas, repassando conhecimento com eficiência, servindo de exemplo para seus alunos e pelo apoio e dedicação na elaboração deste trabalho.

Aos demais professores do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, pela dedicação e conhecimento repassado durante essa longa jornada, em especial ao professor William de Paiva por fazer parte desta banca, e pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

A todos vocês,

MUITO OBRIGADO!

Rodrigo de Andrade Barbosa

RESUMO

As barragens de terra são estruturas construídas com inúmeras finalidades, como o acúmulo de água para a agricultura e abastecimento humano. Esse grande volume armazenado, além de gerar benefícios incontestáveis para a população também gera riscos. Caso uma estrutura deste tipo falhe, a vida de pessoas, bens e o meio ambiente serão prejudicados. No intuito de evitar acidentes e incidentes envolvendo estes empreendimentos, criaram-se leis e políticas que exigem a fiscalização, inspeção e a manutenção das barragens, procurando minimizar os riscos de falhas. Objetivou-se através deste trabalho realizar inspeções identificando anomalias, e executar ações corretivas, visando à manutenção da Barragem Poleiros, recuperando sua estrutura. Essas ações são essenciais para que o empreendimento opere de acordo com o projeto, atendendo as suas finalidades, minimizando os possíveis riscos a população e ao meio ambiente. A identificação de anomalias existentes foi realizada através da técnica de inspeção visual, reforçada com o registro fotográfico. A técnica de inspeção visual consiste em caminhar atento sobre todas as estruturas da barragem, examinando metro a metro, identificando a existência de anomalias ou sinais que possam indicar possíveis anomalias futuras no maciço da barragem ou em suas estruturas de apoio. Para a realização deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica considerando literatura pertinente visando obter informações sobre as principais ações corretivas capazes de solucionar as anomalias encontradas. Algumas dessas ações foram selecionadas através da experiência técnica e operacional da empresa responsável pela execução da obra de recuperação. Os principais problemas identificados foram erosões, danos no sistema de drenagem superficial, e obstruções no sistema de drenagem interna e superficial. As principais medidas corretivas adotadas foram desobstruções, reposição de solo, e reestruturação do sistema de drenagem superficial. A execução das ações corretivas possibilitou recuperar a Barragem Poleiros, minimizando os riscos de ruptura.

PALAVRAS-CHAVE: Inspeção visual. Anomalias. Manutenção.

ABSTRACT

Earth dams are constructed structures with numerous purposes, such as the accumulation of water for agriculture and human consumption. This large volume stored, and generate undoubted benefits for the population also creates risks. If such a structure fails, the life of people, property and the environment will suffer. In order to avoid accidents and incidents involving these ventures have been set up laws and policies that require the monitoring, inspection and maintenance of dams, seeking to minimize the risks of failure. The objective was to work through this conduct inspections identifying anomalies and taking corrective action, in order to maintain the dam Poleiros recovering its structure. These actions are essential for the enterprise operating in accordance with the project, given their purposes, minimizing the possible risks to people and the environment. The identification of anomalies was conducted using visual inspection technique, enhanced by the photographic record. The visual inspection technique involves careful walking on all dam structures, examining meter by meter, identifying the existence of anomalies or signs that may indicate possible future anomalies in massive dam or its supporting structures. For this work, we carried out a literature review considering the literature to obtain information on key corrective actions can help to address the deficiencies found. Some of these actions have been selected through technical and operational experience of the company responsible for the execution of the recovery work. The main problems identified were erosion, damage to the surface drainage system, and obstruction internal and surface drainage system. The main corrective measures taken were clearances, soil replacement, and restructuring of the surface drainage system. The implementation of corrective actions enabled recover Dam Poleiros, minimizing the risk of rupture.

KEYWORDS: Visual inspection. Anomalies. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume armazenado nos últimos 10 anos	16
Figura 2 - Talude com deslizamentos.	22
Figura 3- Talude de montante da barragem poleiros protegido por “rip-rap”.....	23
Figura 4- Talude protegido por gramíneas	24
Figura 5- Localização da Barragem Poleiros na bacia Curimataú.....	31
Figura 6- Acesso a Barragem Poleiros.....	32
Figura 7- Seção transversal do Barramento Poleiros.....	33
Figura 8- Vista superior do maciço da Barragem Poleiros	34
Figura 9- Vegetação alta e excessiva no talude de jusante	36
Figura 10- Vegetação excessiva no talude de montante.....	37
Figura 11- Vegetação excessiva no vertedouro	38
Figura 12- Rip-rap danificado	38
Figura 13- Erosões no talude de jusante.....	39
Figura 14- Erosões desenvolvidas no talude de jusante	40
Figura 15- Erosão em estágio avançado no talude de jusante	40
Figura 16- Canaleta obstruída por solo e vegetação.....	41
Figura 17- Canaleta trincada e com desgastes	42
Figura 18- Canaleta com piso desgastado	42
Figura 19- Canaleta tombado.....	43
Figura 20- Canaleta com trincas e indicações de tombamento.....	43
Figura 21- Máquina adequando a berma para o acesso	44
Figura 22- Canaletas com recalque e fissuras	45
Figura 23- Canaleta com selo de concreto trincado	45
Figura 24- Canaleta com parte destruída	46
Figura 25- Talude desprotegido	47
Figura 26- Formigueiros na ombreira	47
Figura 27- Filtro de pé obstruído	48
Figura 28- Presença de animais na barragem	49
Figura 29- Destoca de algaroba	50
Figura 30- Limpeza com máquina	50
Figura 31- Limpeza da vegetação menor no talude de jusante.....	51
Figura 32- Vertedouro Recuperado	51

Figura 33- Talude de jusante desmatado	52
Figura 34- Talude de montante após o desmatamento e limpeza.....	52
Figura 35- Reposição das rochas.....	53
Figura 36- <i>Rip-rap</i> recuperado	53
Figura 37- Caçamba transportando material	54
Figura 38- Retroescavadeira sobre a berma repondo material no talude	55
Figura 39- Aumento de umidade do material	55
Figura 40- Talude sem erosões.....	56
Figura 41- Desobstrução dos canaletes.....	56
Figura 42- Canaleta desobstruído	57
Figura 43- Aplicação de argamassa.....	57
Figura 44- Canaleta com piso e revestimento recuperado.....	58
Figura 45- Canaleta em reconstrução	58
Figura 46- Canaleta reconstruído.....	59
Figura 47- Substituição e reposição das canaletas	60
Figura 48- Reposição dos selos de argamassa	60
Figura 49- Canaleta recuperada.....	61
Figura 50- Desobstrução do filtro de pé	61
Figura 51- Filtro de pé recuperado.....	62
Figura 52- Construção da cerca	63
Figura 53- Barragem cercada.....	63
Figura 54- Plantio das mudas de Tifton 85.....	64
Figura 55- Fases acompanhadas nos ninhos.....	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 HISTÓRICO	15
3.2 LEGISLAÇÃO SOBRE A SEGURANÇA DE BARRAGENS.....	16
3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO CURIMATAÚ.....	18
3.4 BARRAGENS DE TERRA.....	18
3.4.1 Classificação das barragens de terra	19
3.5 CAUSAS DE RUPTURA DAS BARRAGENS DE TERRA.....	19
3.5.1 Galgamento.....	20
3.5.2 Infiltrações	20
3.5.3 Deslizamentos.....	21
3.5.4 Proteção dos Taludes e erosões.....	22
3.6 MATA CILIAR.....	24
3.7 QUALIDADE DA ÁGUA.....	25
3.8 IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS	26
3.9 INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS DE TERRA.....	27
3.10 AVALIAÇÕES DA SEGURANÇA DAS BARRAGENS DE TERRA	28
3.10.1 Principais evidências e alvos a serem observados em vistorias de barragens de terra.....	30
4. METODOLOGIA.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM POLEIROS.....	33
5.1.1 Composição da Barragem Poleiros.....	33

5.1.2	Qualidade atual da água armazenada no reservatório da barragem	34
5.1.3	Mata ciliar	35
5.2	IDENTIFICAÇÕES DE ANOMALIAS E INDICAÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS	36
5.2.1	Vegetação em excesso e com raízes profundas.....	36
5.2.2	Sistema de proteção por enrocamento ou rip-rap	38
5.2.3	Erosão	39
5.2.4	Canaletes de drenagem	41
5.2.5	Canaletas de drenagem	44
5.2.6	Talude desprotegido.....	46
5.2.7	Formigueiros	47
5.2.8	Filtro de pé ou banquetas.....	48
5.2.9	Tráfego de animais.....	48
5.3	RECUPERAÇÃO E CONTROLE DAS ANOMALIAS	49
5.3.1	Desmatamento	49
5.3.2	Reposição do rip-rap danificado ou deslocado.....	53
5.3.3	Reposição do material erodido.....	54
5.3.4	Recuperação dos Canaletes de drenagem	56
5.3.5	Recuperação das canaletas de drenagem	59
5.3.6	Desobstrução do filtro de pé.....	61
5.3.7	Construção da cerca	62
5.3.8	Plantio de gramíneas.....	63
5.4	IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS	64
5.4.1	Medidas de preservação da fauna	65
5.4.2	Gerenciamento dos resíduos e educação ambiental	65
5.5	OPERAÇÃO E MONITORAMENTO	66
6.	SUGESTÕES	67
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

8. REFERÊNCIAS.....	69
9. ANEXO.....	72

1. INTRODUÇÃO

No mundo a barragem mais antiga data de 4.000 anos a.C e está localizada em Jawa no rio Jordão, outra que se encontra entre as mais antigas, é a El Kafara de Sadd no Egito, com construção datada de 2.900 a.C. A aplicação mais antiga dessas estruturas é o represamento de água para o abastecimento humano e agricultura (OLIVEIRA, 2008).

Os benefícios oriundos do represamento de água são numerosos, as barragens são obras de engenharia e estão diretamente expostas ao ambiente, sujeitas às intempéries e anomalias que podem degradar sua estrutura ocasionando risco de ruptura, então é necessário à manutenção contínua a fim de assegurar que elas permaneçam em operação e capazes de desempenhar todas as finalidades de projeto, sem colocar em risco pessoas e propriedades à jusante.

Uma barragem segura é aquela cujo desempenho satisfaça as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002).

O município Barra de Santa Rosa está inserido na bacia hidrográfica Curimataú que possui rios intermitentes e historicamente sofre estiagens severas, com isso há a necessidade de acumular água em tempos de chuva para posterior utilização. Então a construção de barragens de acumulação, formando grandes reservatórios de água é uma alternativa importante para a gestão dos recursos hídricos. A necessidade de água para abastecer o município Barra de Santa Rosa-PB, incitou a construção da Barragem em 1986 com a finalidade de represar água, tanto para consumo humano como para outras atividades tais como irrigação e produção industrial.

A Barragem Poleiros foi empreendida pela Secretária de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência de Tecnologia do estado da Paraíba (SERHMACT-PB), a qual possui toda responsabilidade sobre ela. A Barragem encontrava-se sem manutenção durante vários anos, com isso a população do município salientava nas ruas o medo de um possível rompimento do

maciço. Tal problema foi notificado em 2005, e divulgado no jornal folha de São Paulo:

Em Barra de Santa Rosa, a barragem de Poleiros sofreu erosão e tem rachaduras em sua parede principal. O prefeito Evaldo Costa Gomes calcula que o possível rompimento alagaria boa parte da cidade, que tem 14 mil habitantes. O município fica no sertão árido da Paraíba. Sem a barragem, também perderia sua principal fonte de água. (BARTOLOTTI, 2005).

Nesse sentido o Governo do Estado lançou o Programa de Recuperação de Barragens Públicas do Estado da Paraíba, no início da gestão do atual governador Ricardo Coutinho, com o objetivo de recuperar as barragens de responsabilidade do estado (ESTADO DA PARAÍBA, 2014).

O programa possui uma equipe composta por técnicos da SERHMACT e da AESA, que avaliaram dezenas de Barragens de responsabilidade do Governo do Estado da Paraíba e dividiram a recuperação em duas etapas. Na primeira etapa foram liberados recursos na ordem de 2,7 milhões para a realização da recuperação de 14 barragens (ESTADO DA PARAÍBA, 2014).

A segunda etapa está contemplando 27 barragens, incluindo a Barragem Poleiros. A secretaria do estado através da licitação de processo SERHMACT Nº 0095/14 publicado no Diário Oficial da União (D.O.U) no dia 28 de março de 2014, liberou recursos no valor de R\$ 7.714.749,61 (sete milhões setecentos e catorze mil setecentos e quarenta e nove reais e sessenta e um centavos) para que uma empresa especializada em recuperação de barragens realize a execução das recuperações (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2014).

Segundo Francisco Leunam, engenheiro responsável pelo Programa de Recuperação de Barragens Públicas do Estado da Paraíba, os principais problemas verificados nas barragens consistiam em erosões profundas nas suas estruturas, devido a ações do ambiente e a falta de manutenção durante vários anos (ESTADO DA PARAÍBA, 2014).

A Barragem Poleiros contemplada na segunda etapa do Programa de Recuperação de Barragens Públicas do estado da Paraíba, no ano de 2014. Foi inspecionada detalhadamente para a identificação e recuperação de anomalias na sua estrutura, favorecendo a segurança da barragem e conseqüentemente da população. As atividades de recuperação da barragem tiveram início no dia 04 de agosto de 2014, com previsão de conclusão após 03 meses.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o diagnóstico, prognóstico e a execução de ações corretivas, visando à recuperação e conservação da barragem Poleiros localizada no município Barra de Santa Rosa – PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a estrutura da barragem;
- Realizar o levantamento das anomalias presentes na barragem;
- Identificar as possíveis causas das anomalias encontradas;
- Realizar um levantamento de ações corretivas a serem utilizadas para eliminar anomalias em barragens de terra e selecionar a mais aplicável conforme o caso;
- Executar as ações corretivas, visando à recuperação e conservação das estruturas da barragem;
- Acompanhar a execução das ações corretivas, garantindo a sua realização de forma satisfatória;
- Avaliar a situação da mata ciliar na região de entorno do reservatório;
- Avaliar a qualidade da água acumulada;
- Identificar os principais impactos ambientais e medidas mitigadoras.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRICO

O município Barra de Santa Rosa-PB foi emancipado em 1959, localizado a margem direita do rio Curimataú (IBGE, 2014). Esse rio foi barrado para acumular água, formando o açude Curimataú que teve sua construção concluída em 1958. Como era a única alternativa de água viável e em grande quantidade para captação, abastecia a cidade, mesmo possuindo uma qualidade de água insatisfatória, com concentrações de sais elevadas. Então a Barragem Poleiros foi projetada e construída com a finalidade de acumular água para abastecimento humano, melhorando a qualidade de vida da população. Quando a sua obra foi concluída em 1986, a partir de então, toda a água captada para abastecimento humano pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) passou a sair dela (ANA, 2014).

Hoje a Barragem Poleiros é essencial para a gestão dos recursos hídricos da região, pois é a principal fonte de água para abastecimento humano, dessedentação de animais, agricultura, aquicultura e produção industrial. Segundo a AESA (2014) a Barragem possui uma capacidade máxima de 7.933.700 m³ de água, tendo vertido pela última vez entre os anos 2011 e 2012, desde então, o seu volume está decrescendo chegando a 1.153.528 m³ em 3 de dezembro de 2014, o que corresponde a 14,5 % de sua capacidade, conforme ilustra a Figura 1.

Após o rompimento da Barragem de Camará em Alagoa Grande, a preocupação com o risco de ruptura de barragens aumentou, e no ano de 2005 a Barragem Poleiros sem manutenção desde sua construção, foi considerada um ponto de risco devido a erosões e rachaduras na sua parede principal (BORTOLOTTI, 2005). Os anos se passaram e a Barragem Poleiros, só veio a ser beneficiada com a realização da sua manutenção no ano de 2014, através do Projeto de Recuperação de Barragens Públicas (ESTADO DA PARAÍBA, 2014).

Figura 1 – Volume armazenado nos últimos 10 anos



Fonte: AESA, 2014.

O baixo volume de água ilustrado na Figura 1 aliado ao baixo índice de precipitação na região aponta para um provável racionamento de água.

3.2 LEGISLAÇÃO SOBRE A SEGURANÇA DE BARRAGENS

No Brasil, a prática de construção de barragens para fins diversos é utilizada a centenas de anos, porém o surgimento de legislações regulamentadoras da segurança de tais empreendimentos surgiu de forma lenta, e somente após a criação do Comitê Brasileiro de Segurança de Barragens (CBDB) em 1982, pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB) que o tema despertou maior interesse.

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

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

Apesar do desenvolvimento de ações de órgãos estaduais agindo de forma isolada buscando melhorar a segurança de barragens, a ANA demonstra reconhecer que antes da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, existia a necessidade de um avanço na legislação de segurança de barragens, e afirma: “o que se percebe, no exame do arcabouço jurídico-institucional [...] é que não havia a indicação direta de responsabilidades, em âmbito nacional, pela fiscalização da segurança das barragens” (ANA, 2012).

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

A PNSB em um dos seus objetivos regulamenta as ações de segurança a serem adotadas levando em consideração todas as etapas do empreendimento, como: planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o Brasil. Esse instrumento expressa de forma direta que a primeira responsabilidade da segurança da barragem é do empreendedor e o mesmo tem o dever de manter a barragem em condições adequadas de segurança (ANA, 2012).

Os responsáveis pela segurança da barragem possuem como principal responsabilidade a elaboração do plano de segurança de barragem, que deverá ser específico para cada empreendimento. Outras obrigações são a realizações de inspeções de segurança regulares e especiais, além da realização da revisão periódica de segurança nos empreendimentos sob sua responsabilidade (ANA, 2012).

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

O RSB tem o objetivo de apresentar para a população o resultado de uma avaliação da eficácia da PNSB na evolução da segurança das barragens brasileiras, na redução de incidentes e acidentes, e na melhoria da gestão de riscos. Este relatório deverá ser elaborado todos os anos sob a coordenação da ANA, que o

enviará, de forma consolidada, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) para apreciação. Caso necessário, o conselho fará recomendações para melhoria da segurança das obras e encaminhará o RSB ao Congresso Nacional para aprovação (ANA, 2014).

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

3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO CURIMATAÚ

A Bacia Hidrográfica do Curimataú possui uma área de 3.313,58 Km² e encontra-se entre as coordenadas geográficas: 6° 25' 01" - 7° 04' 08" S e Longitude: 35° 11' 51" – 36° 15' 34" O (AESAs, 2014). Localiza-se na região norte do estado da Paraíba e tem como rio principal o rio Curimataú, que nasce na porção nordeste do planalto da Borborema no município Barra de Santa Rosa, em uma altitude aproximada de 600 metros, e possui afluentes que descem esse planalto, segue a direção leste, banha o estado do Rio Grande do Norte (RN) pelo município de nova cruz e deságua no oceano no RN. A vegetação predominante na bacia é a caatinga do tipo arbustivo arbóreo, podendo ainda ser encontrado matas secas e matas úmidas (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2010).

Os principais reservatórios da bacia são Algodão, Cacimba de Várzea, Poleiros e Curimataú que juntos acumulam um volume de máximo de 23.187.271 m³ e atualmente 03 de dezembro de 2014, estão com um volume aproximado de 5184336 m³ de água (AESAs, 2014). Estes reservatórios suprem parcialmente as necessidades da população da região do Curimataú, pois em épocas de estiagens é comum ocorrências de falta d'água e racionamento nos municípios (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2010).

3.4 BARRAGENS DE TERRA

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

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

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

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

3.4.1 Classificação das barragens de terra

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

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

3.5 CAUSAS DE RUPTURA DAS BARRAGENS DE TERRA

As rupturas de barragens de terra são constantes em todo o mundo, na tentativa de desenvolver técnicas de evitar ou amenizar os acidentes causados devido às rupturas de barragens de terra, estudiosos avaliaram quais são as suas causas mais frequentes. Para Veltrop (1991) apud Gago (2009), as principais

causas de rupturas de barragens são: O galgamento, as infiltrações e as erosões. A Tabela 1 apresenta o resultado da investigação com as respectivas porcentagens de cada causa.

Tabela 1- Principais causas de rupturas de barragens de terra

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

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

3.5.1 Galgamento

O galgamento é passagem da água por cima do talude da barragem, ou seja, o transbordamento da água sobre a crista e para evitar está situação, deve-se dimensionar o vertedouro adequadamente, para eliminação do excesso de água do reservatório. Como apresenta-se na Tabela 1, O galgamento é a principal causa de ruptura de barragens de terra. Estas são muito susceptíveis a esse fenômeno, caso esse ele venha a acontecer o rompimento é provável. Para garantir com mais segurança que isso não ocorra, a crista da barragem deve situar-se a uma distância predeterminada do nível de água, está distância denomina-se revanche ou borda livre (OLIVEIRA, 2008).

3.5.2 Infiltrações

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

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

Se as pressões de percolação tornaram-se excessivas, pode-se dar carreamento de partículas finas do solo no ponto onde a água emergir no

corpo da barragem ou no terreno de fundação, se este for mais permeável que a própria barragem. Desse modo, vai-se formando, dentro da barragem ou na sua fundação, um orifício cada vez maior e em forma de tubo. Esse fenômeno denomina-se erosão tubular ou “piping” e pode comprometer a estabilidade da barragem, podendo destruí-la completamente (CAPUTO, p 417, 1973).

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

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

Para a proteção do *piping* através da fundação utiliza-se tapete impermeabilizante a montante e uma trincheira de vedação, ou a construção de poços de alívio. A utilização de sistemas de drenagem no talude, tapete e trincheira de vedação, quando utilizados em conjunto são eficazes contra a percolação (OLIVEIRA, 2008). Na Tabela 1, observa-se que as infiltrações são responsáveis por 25% das rupturas de barragens de terra, isso reforça a importância de tomar medidas de controle contra esse fenômeno, não se observou sinais de infiltrações na barragem Poleiros, porém a instalação de instrumentação é necessária para o monitoramento deste fenômeno.

3.5.3 Deslizamentos

Os deslizamentos ou escorregamentos são problemas comuns em barragens de terra, pois o material que compõe o talude naturalmente tende a escorregar devido à força da gravidade, entre outras, que são suportadas pela resistência ao cisalhamento do material (DYMINSKI, 2014).

Na falta de instrumentação, para se identificar áreas sujeitas a escorregamentos, durante a inspeção devem procurar principalmente pelos sinais de escarpas, árvores inclinadas, ausência de cobertura vegetal, ravinas, rachuras de tensão, desalinhamento de elementos retos e presença de nascentes. Na Figura 2 pode se observar um talude com deslizamentos. Os pequenos deslizamentos

também devem ser monitorados e impedidos, visando a não diminuição da declividade do talude, a não obstrução do sistema de drenagem e evitar deslizamentos progressivos (OLIVEIRA, 2008).

Figura 2 - Talude com deslizamentos.



Fonte: Oliveira, 2008

Oliveira (2008), ainda ressalta que a principal causa deste problema é a saturação do solo, que prejudica a resistência e a instabilidade do talude. Deslizamentos pequenos surgem e diminuem a declividade da barragem, podendo causar deslizamentos progressivos, denegrindo a integridade da segurança da barragem, ou seja, aumentando o risco de ruptura.

3.5.4 Proteção dos Taludes e erosões

Os taludes de uma barragem de terra devem estar estabilizados para evitar problemas na segurança da estrutura e uma possível ruptura desta, a NBR 11.682 de 1991, criada para fixar as condições exigíveis no estudo e no controle de taludes, além de condições de projeto, execução, controle e conservação de obras de contenção de taludes afirma que um talude estável “não apresenta nenhum sintoma de instabilidade, tais como trincas, sulcos, erosão, cicatrizes, abatimentos, surgências anormais de água, rastejo, rachaduras em obras locais, etc”.

Procurando evitar a instabilidade o talude de montante deve ser protegido contra a ação das ondas e correntes, que podem dar origem a erosões. Geralmente essa proteção é realizada através de um revestimento com rochas, também conhecido como “*rip-rap*” ou enrocamento de proteção é o mecanismo mais utilizado

em taludes de montante. Também pode ser utilizado em taludes de jusante. Conforme pode ser observado no talude ilustrado na Figura 3. As rochas que o constitui, devem possuir alta massa específica, durabilidade e resistência à abrasão (DNOCS, 1981).

Figura 3- Talude de montante da barragem poleiros protegido por “*rip-rap*”.



Fonte: Própria

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

A proteção dos taludes de jusante pode ser através do revestimento por vegetação ou *rip-rap*. Em barragens de terra, geralmente é utilizado gramíneas, devido ao custo relativamente inferior, quando comparado ao enrocamento de proteção. Essa técnica pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4- Talude protegido por gramíneas



Fonte: Oliveira (2008).

A NBR 11.682 visando à estabilidade do talude recomenda que a proteção seja feita através do uso de vegetação nativa. Caso a vegetação não seja nativa, deve-se utilizar técnicas para adequá-la ao ambiente. A presença de plantas aumenta a infiltração da água no solo, ameniza o impacto da chuva na superfície e consequentemente auxilia na prevenção de erosões.

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

3.6 MATA CILIAR

A vegetação que se desenvolve nas margens de rios, riachos, lagos e outros tipos de corpos de água, é chamada de mata ciliar. Essa é uma barreira natural que tem como função principal proteger contra a erosão, assoreamento e lixiviação de resíduos oriundos de práticas agrícolas e pecuária (ESTADO DA BAHIA, 2007).

Segundo informações do Estado da Bahia (2007), os problemas mais comuns oriundos da degradação da mata ciliar são:

- Aceleração do assoreamento, diminuindo a capacidade de armazenamento de água no reservatório;
- Erosão nas margens, ocasionando o arraste de solo e resíduos para o interior do reservatório, contribuindo para o assoreamento acelerado e contaminação da água;

- Redução das áreas agricultáveis próximas ao reservatório;
- Degradação da qualidade da água do reservatório;
- Prejuízos à biodiversidade da Bacia hidrográfica.

Devido a grande importância da preservação da mata ciliar, e dos interesses de empresários em desmatar áreas diversas, foram criadas diversas leis e medidas provisórias durante décadas. Em vigor atualmente temos a Lei nº. 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a vegetação nativa, que no seu Capítulo II, art. 4º, parágrafo III, considera Área de Proteção Permanente (APP) toda a área de entorno de reservatórios artificiais de água, decorrentes de barramentos ou represamentos de cursos de água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento.

3.7 QUALIDADE DA ÁGUA

A escolha do local e do tipo de barragem a ser construída, é influenciada pela finalidade para a qual será construída. No caso de barragens para fins de abastecimento humano e irrigação, exigem características morfológicas que possibilitem o armazenamento de grandes volumes de água, essas com baixa susceptibilidade a salinização, protegida principalmente contra poluentes tóxicos (COSTA, 2012). Todas essas medidas visam à conservação da qualidade da água do reservatório da barragem, para que ela possa ser utilizada para suas finalidades com maior segurança e menores custos de tratamento.

A grande produção e lançamento de esgotos sem tratamento adequado, a agricultura intensiva e a pecuária, promovem o aumento de nutrientes nos reservatórios, favorecendo o crescimento de plantas e a floração de cianobactérias e algas, caracterizando um ambiente eutrofizado, comprometendo a qualidade da água dos reservatórios, e causando danos socioeconômicos a população (IAP, 2009).

Entre 2006 e 2007 o índice de estado trófico da água no reservatório da Barragem Poleiros estava sendo estudado pela Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil que identificou que água do açude Poleiros estava em estado hipereutrófico, o mais avançado da eutrofização (ANA, 2009).

Para Santos (2000) “o cenário da água no Curimataú e seu devido uso é preocupante, [...] pela quantificação e qualificação neste ambiente, quando correlaciona-se litologia/solo/qualidade da água”. As características do solo podem contribuir para o aumento dos teores de sódio na água dos reservatórios, o que pode comprometer o uso para abastecimento humano.

3.8 IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS

Os impactos ambientais decorrem de uma ou de um conjunto de ações ou atividades humanas realizadas em um determinado local. Esses impactos podem ter carácter adverso ou positivo, para identificá-los devem-se conhecer bem suas causas ou ações tecnológicas (SÁNCHEZ, 2008).

A construção de uma barragem exige a obtenção das licenças ambientais, pois esse tipo de empreendimento causa significativos impactos ambientais. Essa exigência é evidenciada na Política Nacional do Meio Ambiente, disposta pela lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que define no seu art.10:

A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como as capazes sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, no Território Nacional, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, em carácter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 1981).

A construção e operação de barragens envolve quase sempre uma série de potenciais impactos negativos sobre o meio ambiente e comunidades próximas. Os impactos podem ocorrer no meio físico, biótico e antrópico e devem ser identificados e avaliados, para que sejam adotadas medidas mitigadoras, visando minimizá-los ou evita-los (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005). A identificação e definição de ações para minimizar esses impactos são definidas no estudo de impacto ambiental (EIA), que é uma das exigências do órgão ambiental para o licenciamento, e deve levar em consideração os impactos gerados nas fases de planejamento, construção e operação (SÁNCHEZ, 2008).

Na fase de operação as duas atividades que geram impactos ambientais adversos são: A variação do nível do reservatório e a manutenção da infraestrutura remanescente, elas podem causar impactos, como a erosão das margens,

assoreamento, geração de resíduos, infiltração de águas residuárias e mudança na qualidade de água do reservatório (COSTA, 2012).

Todas as medidas, recomendações e programas ambientais oriundos do EIA, irão compor o Projeto Básico Ambiental (PBA), que irá detalhar de forma clara todas as atividades a serem desenvolvidas e seus respectivos custos (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2005).

O PBA tem função extremamente importante nas obras de construção e operação de barragens, pois ele objetiva fornecer “aos empreiteiros, construtores das obras, uma visão clara de suas obrigações quanto aos aspectos ambientais e permitir, previamente, a inclusão no planejamento de suas ações, bem como, a respectiva previsão de custos” (GUSMÃO, p 5, 2005).

3.9 INSTRUMENTAÇÃO EM BARRAGENS DE TERRA

A instrumentação de barragens de terra e enrocamento tem ganhado destaque ao longo dos anos no mundo inteiro. No Brasil ela ganhou maior aplicação a partir da década de 1950 (SILVEIRA, 2006). A Segurança de barragens necessita de um acompanhamento mais rígido das condições das estruturas, principalmente através da instalação de um adequado sistema de instrumentação, obtendo os dados mecânicos-Hidráulicos, que estes aliados à interpretação adequada, fazem um papel fundamental no seu controle (PUC – Rio, 2014).

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

Os principais dados a serem obtidos através da instrumentação são a poro pressão¹, nível d'água, vazões de percolação, deslocamentos, deformações, recalques e as tensões da estrutura. A instrumentação isoladamente, às vezes não é eficaz. Porém em conjunto com a inspeção visual, funcionam de forma satisfatória na prevenção de rupturas (OLIVEIRA, 2008).

¹ Conhecida também como pressão neutra é a pressão que o fluido exerce no interior dos poros de elementos porosos como os solos e as rochas.

Segundo Oliveira (2008, p 29), “são normalmente instrumentados, o maciço compactado, as estruturas de concreto, os maciços rochosos e o reservatório”.

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

Para o monitoramento adequado da barragem Poleiros, é necessária a implantação de um programa de monitoramento, que inclua a presença de um operador e a instalação de instrumentos de auscultação para a obtenção de dados e posterior análise para identificação de anomalias e execução de ações corretivas.

3.10 AVALIAÇÕES DA SEGURANÇA DAS BARRAGENS DE TERRA

A avaliação de segurança visa determinar as condições relativas à segurança das estruturas da barragem e sua operação, identificando problemas, executando ações corretivas, determinando restrições operacionais, modificando as análises e estudos buscando a solução (ELETROBRÁS, 1987). Para se identificar quais os problemas nesses empreendimentos com maior facilidade a Eletrobrás (1987, p. 17), determinou que a avaliação da segurança fosse realizada em fases, que consistem em:

Revisar os projetos e seus dados; os métodos de construção e materiais, e o histórico operacional, através dos registros disponíveis; fazer a vistoria do comportamento e condições da estrutura existente; executar as análises necessárias; desenvolver conclusões e recomendações finais; elaborar um relatório.

Realizar a vistoria do comportamento e condições da estrutura existente é essencial, pois através dela pode-se identificar a maioria das condições adversas mais comuns em barragens de terra. A inspeção visual e a instrumentação se mostram eficazes para essa realização, pois em conjunto conseguem identificar anomalias, fragilidades, deficiências e até prever falhas (OLIVEIRA, 2008).

A equipe de vistoria deve conhecer todos os elementos que constituem a barragem, seus modos de falhas e suas principais causas. Essa deve utilizar todas as fontes de informações disponíveis sobre os temas que pode ser através de relatórios, descrições de falhas, revistas e manuais (ELETROBRÁS, 1987).

A realização da vistoria muitas vezes é eficaz na identificação de condições adversas que contribuem para as causas de falhas, estas podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições adversas que contribuem para a causa de falhas.

CATEGORIAS E CAUSA DE FALHAS	
FALHA	CAUSA
Deterioração da fundação	Remoção de matérias sólidas e solúveis Retirada de rochas Erosão
Instabilidade da fundação	Saturação Deslizamentos Afundamento Deslocamento de falhas
Vertedouros defeituosos	Obstruções Revestimentos fraudados Evidência de sobrecarga da capacidade Comportas e guinchos defeituosos
Defeitos de barragens de terra	Falhas no rip-rap Instabilidade do talude Vazamento excessivo Remoção de matérias sólidas e solúveis Erosão do talude
Defeitos das margens do reservatório	Permeabilidade Instabilidade Fragilidades inerentes das barreiras naturais

Fonte: Adaptado de Eletrobrás, 1987.

A superfície de uma barragem de terra oferece informações sobre a condição de seus elementos, como canaletas e canaletes de drenagem, *rip-rap*, filtro de pé, entre outros, além disso, pode fornecer indicações das condições de comportamento do interior da estrutura. Por isso deve-se realizar uma vistoria completa abrangendo todas as superfícies expostas da barragem, buscando identificar principalmente as causas de falhas expostas na Tabela 2 (ELETROBRÁS, 1987).

3.10.1 Principais evidências e alvos a serem observados em vistorias de barragens de terra

A barragem de terra deve ter todos os seus elementos vistoriados detalhadamente, procurando evidências de deslocamentos, rachaduras, sumidouros, nascentes, pontos molhados, erosão superficial, buracos de animais, vegetação, deterioração dos taludes, depressões, aumento de sólidos suspensos na água percolada e obstrução do sistema de drenagem. Quaisquer destas condições, individualmente ou em conjunto podem levar a falha da barragem (ELETROBRÁS, 1987).

Oliveira (2008, p 129) afirma que uma vistoria em qualquer barragem deve ter como alvos principais:

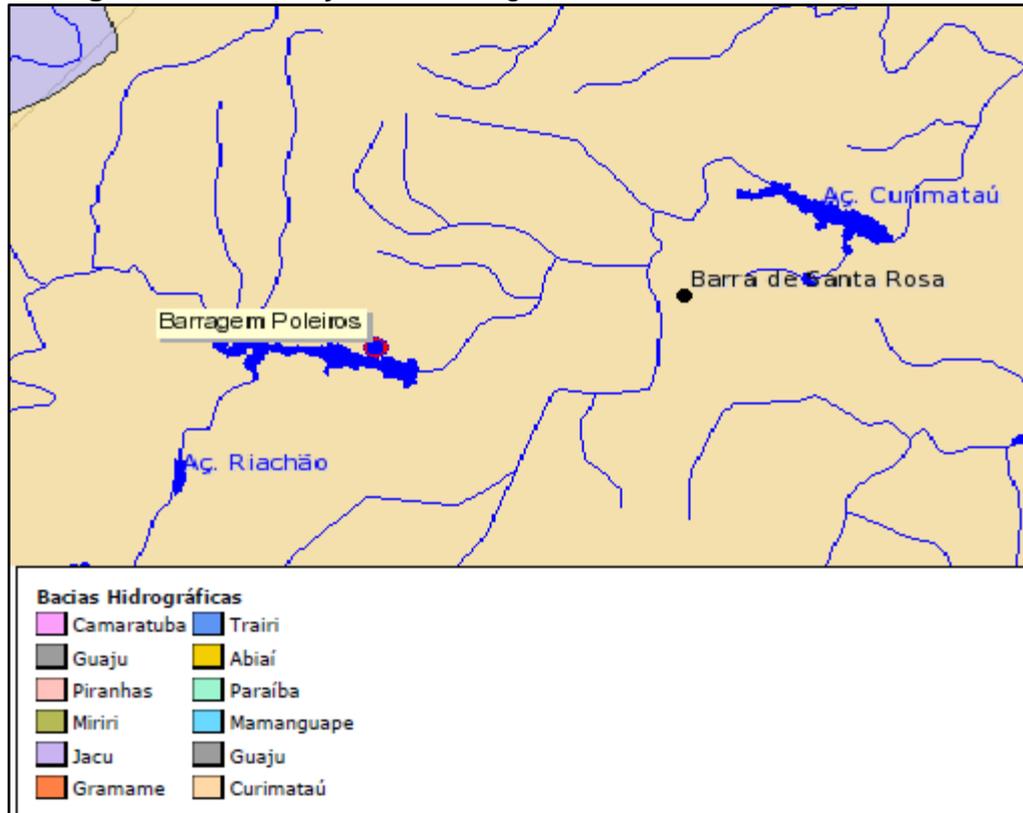
A percolação, os vazamentos, as pressões hidráulicas no interior da barragem e fundação, o funcionamento dos sistemas de drenagens, as deformações observadas nas estruturas, a existência de rachaduras, deslocamentos, abatimentos, recalques, esmagamentos, o risco de escorregamento, de tombamento, a ocorrência de movimentações com desalinhamentos e perda de prumos, a capacidade do sistema de extravasão, o controle da vegetação e de tocas de animais, as condições geológicas locais e a instrumentação.

Esses alvos fornecerão dados indicativos da existência de anomalias, condições adversas ou defeitos na estrutura da barragem, que podem levá-la a falha. Estes são comuns em barragens de terra, e a sua ocorrência só pode ser controlada ou minimizada através do projeto, operação e manutenção realizados de forma adequada, garantindo a segurança da barragem.

4. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido na Barragem Poleiros, também conhecida como açude Poço Doce, a qual é responsável pelo barramento do riacho Poleiro afluente ao rio Curimataú, localizada no município Barra de Santa Rosa-PB, e está inserida na bacia hidrográfica Curimataú, como ilustra-se na Figura 5.

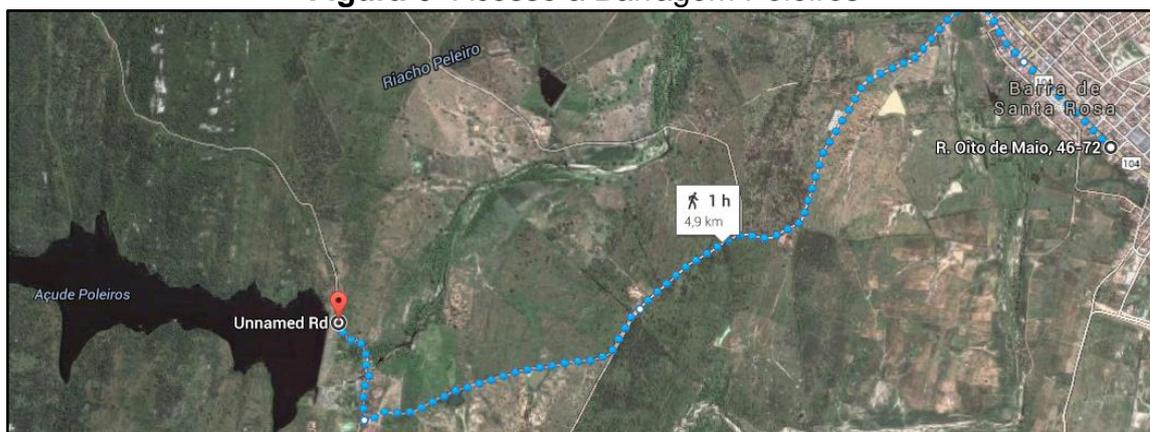
Figura 5- Localização da Barragem Poleiros na bacia Curimataú



Fonte: Própria

A distância do centro da cidade até o barramento é de aproximadamente 4,9 km. Para realizar o trajeto até a barragem deve-se seguir a rua principal da cidade, BR-104, seguir a pavimentação até o seu final, depois acompanhar a estrada de terra sempre virando a direita, como demonstra-se na Figura 6.

Figura 6- Acesso a Barragem Poleiros



Fonte: Adaptado de GoogleMaps, 2014.

A estrada de terra de acesso à barragem também é rota para uma indústria de cerâmica, sítios, fazendas e assentamentos rurais, tendo um tráfego intenso de veículos, incluindo máquinas pesadas. A estrada encontra-se em boas condições de conservação, permitindo acesso fácil e seguro de pessoas, veículos e equipamentos, principalmente para as intervenções de manutenção ou para situações de emergência, seguindo o recomendado por Oliveira (2008).

Foram utilizadas como apoio básico para o trabalho, diversas fontes de pesquisas como os livros, dados eletrônicos, manuais, legislações federais, notas de aulas e visitas frequentes ao local.

Devido à inexistência de instrumentação adequada na Barragem Poleiros, para o levantamento das anomalias existentes utilizou-se a técnica de inspeção visual, que inclui atividades como caminhar sobre os taludes, o coroamento e demais estruturas, observando detalhadamente a existência de evidências de anomalias prováveis ou existentes, sempre realizando o registro fotográfico no momento da verificação das anomalias. Essa mesma técnica foi utilizada para avaliar a situação da qualidade da água, da mata ciliar e os principais impactos ambientais durante a recuperação.

As medidas mitigadoras foram realizadas através de ações de gestão de obras e implantação de programas de educação ambiental.

Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre as principais anomalias identificadas em barragens de terra, causas e possíveis soluções. Algumas das ações corretivas a serem executadas foram sugeridas pelo engenheiro responsável pela execução da obra de recuperação. A caracterização da barragem foi realizada através do levantamento de dados no órgão responsável pela fiscalização, a ANA e

por dados obtidos em campo, utilizando trenas de 50 e de 5 metros para medições. O acompanhamento da execução das ações corretivas foi realizado através de vistorias integrais durante o expediente de estágio, durante o tempo de recuperação da barragem. Após a finalização das correções também se efetuou o registro fotográfico para que pudesse efetuar uma comparação do antes e após os serviços das correções, que durou aproximadamente 90 dias (de Agosto à Novembro de 2014).

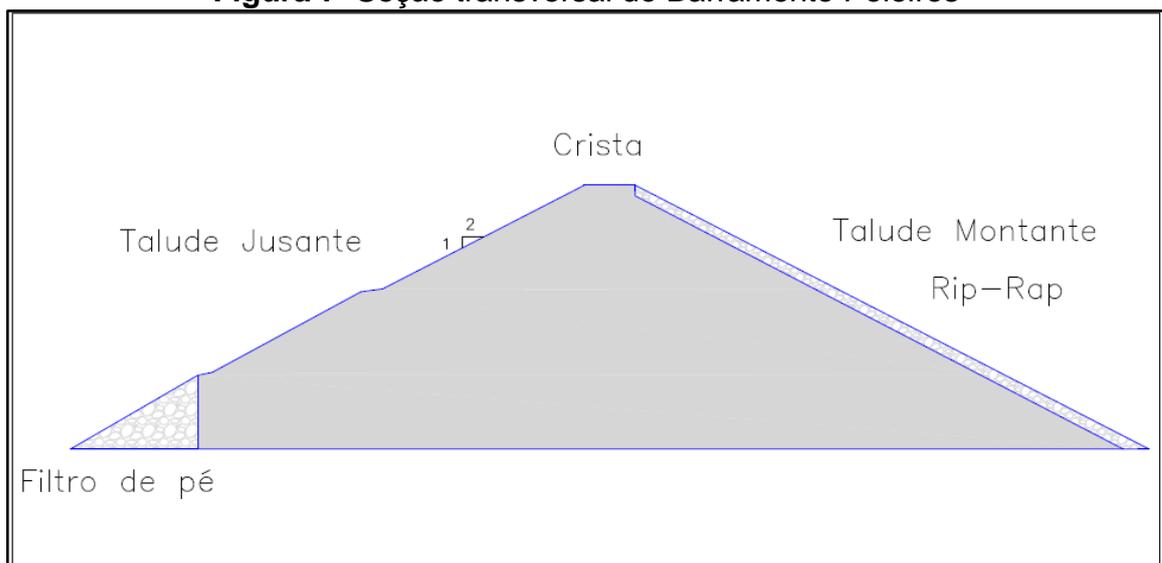
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM POLEIROS

5.1.1 Composição da Barragem Poleiros

A barragem Poleiros é caracterizada, de acordo com o método construtivo e composição do seu maciço, como barragem de terra com seção homogênea, ou seja, composta por um único material compactado. Como toda barragem de terra, ela é composta por um maciço e elementos estruturais auxiliares que juntos possibilitam sua operação por mais tempo, com menos riscos de ruptura. Alguns desses elementos podem ser observados na Figura 7.

Figura 7- Seção transversal do Barramento Poleiros

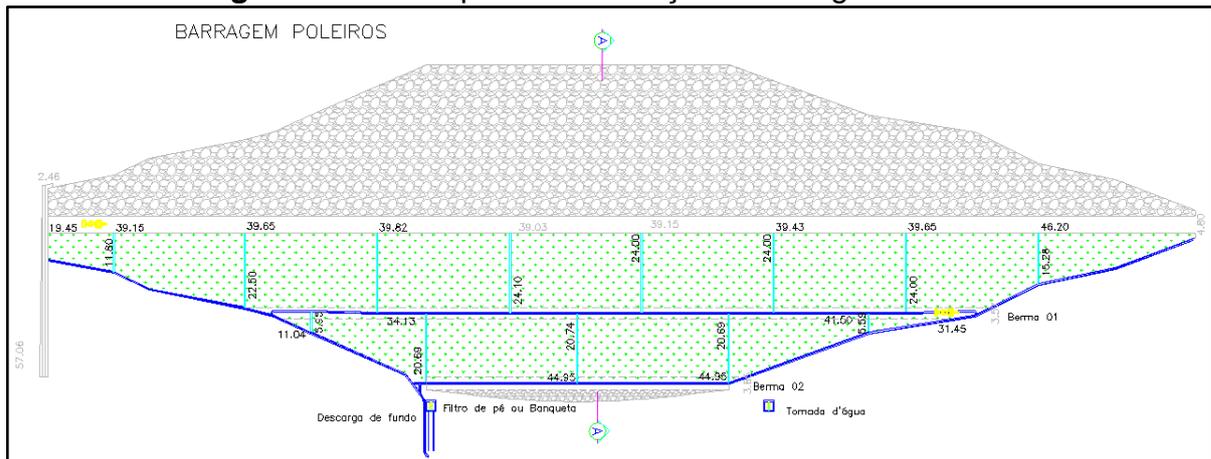


Fonte: Própria

Como apresentado na Figura 7, o talude de jusante possui duas bermas e uma declividade 2:1, o talude de montante possui um sistema de proteção contra as

ondas e erosão, que neste caso é o *rip-rap* ou enrocamento de proteção. Outros elementos estruturais como o sistema de drenagem, composto por canaletes em cor azul marinho, e canaletas em cor azul bebê, a descarga de fundo e a tomada d'água, estão apresentados na Figura 8, e podem ser melhores visualizados no anexo.

Figura 8- Vista superior do maciço da Barragem Poleiros



Fonte: Própria

Através da vista superior ilustrada na Figura 8 e da seção transversal do maciço ou corte (A – A), ilustrada na Figura 7, pode-se visualizar a barragem como um todo, desde seu maciço até os elementos estruturais auxiliares que formam uma estrutura única e interdependente. As dimensões dos principais componentes do barramento estão expressas na Tabela 3.

Tabela 3- Dimensões da Barragem

DIMENSÕES	
Altura máxima da Crista	25 m
Largura da crista	4,8 m
Comprimento	344,00 m
Comprimento do vertedouro	65 m

Fonte: Própria

5.1.2 Qualidade atual da água armazenada no reservatório da barragem

As águas da bacia do Curimataú em maioria são classificadas como ruins, a maior parte dos reservatórios apresentam sinais de poluição, principalmente devido a esgotos domésticos lançados sem tratamento no corpo receptor (XAVIER, 2010).

E Santos (2000) classifica a água como ruim, levando em consideração a salinização.

Além dessas evidências apontando que a água armazenada na barragem poleiros possui características salinas, a população do município Barra de Santa Rosa-PB, comenta nas ruas que a água, mesmo após tratada pela CAGEPA ainda apresenta concentrações de sais que promovem sabor a água, o que leva a grande parte dos moradores evitarem beber dela, o baixo índice de precipitações e elevada evaporação, contribuem para o aumento da concentração de sais no reservatório. Com o início das chuvas na bacia hidráulica da barragem, ocorrerá uma diluição, melhorando as características salinas da água. O tratamento com o uso de membranas filtrantes ou destiladores, pode diminuir a concentração de sais, eliminando o sabor salino da água.

Entre 2006 e 2007 os níveis do reservatório estavam baixos devido à escassez de precipitações. A água ficou estagnada e submetida à intensa evaporação, o que concentrou os compostos de fósforo acelerando a eutrofização (ANA, 2009).

Atualmente a situação de escassez, alta taxa de evaporação e estagnação da água está se repetindo na barragem Poleiros, quando aliada a floração de biomassa, indicam a provável presença de microalgas e cianobactérias, indicadores de um possível estado de eutrofização da água acumulada neste reservatório. Esta pode trazer problemas socioeconômicos, como aumento do gasto no tratamento da água, e problemas de saúde para a população.

A solução é realização de um estudo para identificar e monitorar as fontes de poluentes como os efluentes domésticos e fertilizantes lançados ou lixiviados para o reservatório, o riacho Poleiro e seus afluentes, visando impedir o comprometimento da capacidade de autodepuração do corpo receptor.

5.1.3 Mata ciliar

A mata ciliar de entorno do reservatório da barragem Poleiros apresenta sinais de conservação, observados através da inspeção visual. Não observou-se áreas desmatadas e conjuntos habitacionais próximos, que apontassem para uma degradação da mata ciliar. A presença de algarobas na região de entorno do

reservatório foi observada em grande de forma considerável, o que pode colocar em risco toda a mata ciliar nativa.

Essa espécie é invasora e através da competição é capaz de eliminar as espécies nativas, prejudicando a preservação da mata ciliar e do ecossistema por completo (PEGADO, 2006).

5.2 IDENTIFICAÇÕES DE ANOMALIAS E INDICAÇÃO DE AÇÕES CORRETIVAS

A Barragem Poleiros não é instrumentada de forma que possa fornecer dados que indiquem possíveis anomalias, então todas as anomalias foram identificadas através da inspeção visual e registradas através de fotos.

5.2.1 Vegetação em excesso e com raízes profundas

Durante as inspeções, identificou-se a presença de vegetação excessiva, como árvores e arbustos sobre os taludes de jusante e montante da barragem, como pode ser observado nas Figuras 9 e 10. Essa vegetação dificulta a visibilidade para a identificação de outras anomalias.

Figura 9- Vegetação alta e excessiva no talude de jusante



Fonte: Própria

Figura 10- Vegetação excessiva no talude de montante



Fonte: Própria

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

A maioria da vegetação alta era composta por algarobas. Essa espécie é invasiva e suas raízes são profundas e com longo alcance, o que aumenta a necessidade de evitá-las na estrutura da barragem. Para resolver essa situação indesejada é necessário realizar o desmatamento procurando conservar as gramíneas se existentes.

O vertedouro se mostrou em bom estado de conservação, apresentando apenas desgaste superficial do concreto. Porém observou-se a presença de vegetação excessiva, conforme ilustra a Figura 11, que podem reduzir a capacidade de descarga da vazão excessiva em épocas de cheias, aumentando o risco de galgamento.

Figura 11- Vegetação excessiva no vertedouro



Fonte: Própria

A solução é o desmatamento e a eliminação dos resíduos vegetais gerados. Esse tipo de situação foi constatado por Oliveira (2008) em outra barragem, ele recomenda o controle do crescimento de vegetação no vertedouro e a retirada de detritos periodicamente.

5.2.2 Sistema de proteção por enrocamento ou rip-rap

A maior parte do *rip-rap* da barragem se encontrava em bom estado, porém em alguns setores pode se observar falhas como o deslocamento das rochas, conforme ilustrado na Figura 12, provavelmente devido à ação das ondas ou disposição inadequada das rochas durante sua construção.

Figura 12- Rip-rap danificado



Fonte: Própria

Para resolver a situação, deve reestabelecer o sistema de proteção. Segundo Oliveira (2008) pode-se utilizar telas para reter as pedras, mas esse procedimento é necessário quando as ondas são fortes, formadas por grande lago. Para a barragem poleiros apenas o reestabelecimento do sistema de proteção pode ser eficaz.

5.2.3 Erosão

Este tipo de anomalia estava presente na grande maioria do talude de jusante, como ilustra a Figura 13.

Figura 13- Erosões no talude de jusante



Fonte: Própria

As erosões mais desenvolvidas foram constatadas na parte inferior do talude de jusante, principalmente onde os canaletes de descida d'água estavam obstruídos totalmente, como exemplifica a Figura 14. A obstrução proporcionava o transbordamento, dando origem a um escoamento d'água com velocidades altas e vazões concentradas, aumentando o efeito erosivo.

Figura 14- Erosões desenvolvidas no talude de jusante



Fonte: Própria

O desmatamento do talude de jusante eliminando a vegetação excessiva facilitou o acesso até as erosões. Então se realizou a medição da mais desenvolvida, obtendo 21,2 metros de comprimento, 2,23 metros de profundidade máxima e 3,9 metros de largura máxima. A sua extensão pode ser visualizada com maior clareza a partir da Figura 15.

Figura 15- Erosão em estágio avançado no talude de jusante



Fonte: Própria

A origem dessas erosões superficiais teve como base a ineficiência do sistema de drenagem e a falta de proteção vegetal no talude de jusante. Oliveira (2008) detectou este problema de manutenção em taludes de barragens, afirma que é um dos mais comuns e recomenda a recuperação imediata. Primavesi (2002)

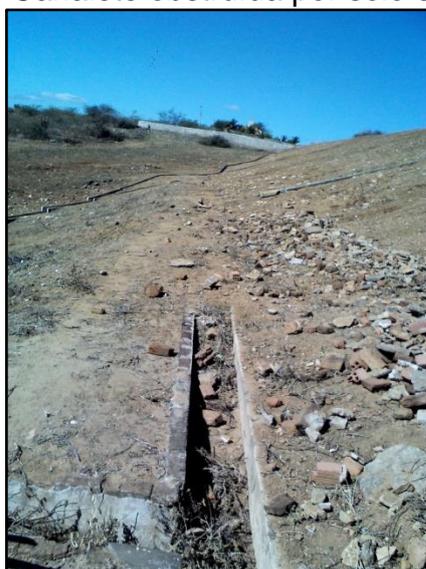
confirma que a falta de vegetação adequada torna o talude mais vulnerável a erosões. As ações de correção a serem tomadas para solucionar essas erosões, é a reposição do material erodido por aterro compactado e a implantação de um sistema de proteção, como um plantio de gramíneas.

5.2.4 Canaletes de drenagem

Os canaletes se apresentavam com mais 50% da sua totalidade obstruídas por solo e/ou vegetação, conforme a Figura 16. Oliveira (2008) afirma que este é um problema comum, e ocorre principalmente devido aos deslizamentos. No caso de Poleiros, o principal motivo é relacionado as erosões.

O Programa de Manutenção e Recuperação de Açudes Estaduais, elaborado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do estado do Ceará (COGERH), identificou que a obstrução dos canaletes e canaletas de drenagem superficial ocorreu com frequência nas barragens do estado.

Figura 16- Canaleta obstruída por solo e vegetação



Fonte: Própria

A provável causa dessas obstruções é a ocorrência de pequenos deslizamentos e arraste de solo devido o talude estar desnudo. Para solucionar este problema deve-se retirar todo o material e vegetação que estejam obstruindo, e proteger o talude para prevenir deslizamentos e erosões futuras que retornem o problema.

Além das obstruções, encontraram-se trincas e desgastes nos canaletes, como ilustra a Figura 17. A presença de trincas pode indicar um possível

tombamento futuro dos canaletes, ou seja, caso essas trincas não sejam recuperadas a situação do sistema de drenagem pode se tornar crítica.

Figura 17- Canaleta trincada e com desgastes



Fonte: Própria

Nos canaletes do sistema de drenagem da Barragem Poleiros a anomalia mais comum é desgaste no piso, como pode ser visualizado através da Figura 18.

Figura 18- Canaleta com piso desgastado



Fonte: Própria

Observou-se a existência de alguns casos de tombamento dos canaletes, como exemplifica a Figura 19.

Figura 19- Canaleta tombado

Fonte: Própria

O desgaste do piso, as trincas e os tombamentos, provavelmente ocorrem devido à ação das forças das raízes que se instalaram na parede do barramento, construção ineficaz dos canaletes, erosão lateral, deslocamentos ou deformações no talude. O desgaste natural do concreto e da alvenaria associado a esses fatores pode ter acelerado o processo de degradação dessas estruturas.

Para solucionar todos os problemas nos canaletes, eles devem ser recuperados e receberem um reforço na estrutura quando necessário. Para Oliveira (2008), essa recuperação deve ocorrer antes das chuvas e as inspeções no sistema de drenagem é uma das principais ações de monitoramento. Nos casos que as trincas indiquem possíveis tombamentos, como o ilustrado na Figura 20, toda a parte danificada deve ser demolida e reconstruída.

Figura 20- Canaleta com trincas e indicações de tombamento

Fonte: Própria

Apesar da identificação inicial de alguns tombamentos, a quantidade dessa anomalia aumentou durante a recuperação de erosões, pois surgiu a necessidade de realizar uma adequação da berma para o acesso de máquinas sobre o talude de jusante, conforme demonstrado na Figura 21. Buscando evitar esse aumento de tombamentos e trincas nos canaletes, realizou-se o recobrimento com solo nos locais onde as máquinas trafegariam. Isso não foi suficiente permitindo o surgimento de mais tombamentos e algumas trincas.

Figura 21- Máquina adequando a berma para o acesso



Fonte: Própria

A utilização de máquinas sobre a berma causou algumas anomalias, mesmo assim a ideia pôde ser considerada lucrativa, pois o trabalho realizado por elas teria um custo mais de dez vezes superior se fosse executado de forma manual. O gasto para recuperar as novas anomalias geradas pelo tráfego de máquinas é insignificante quando comparado ao custo de efetuar toda a reposição do material através de trabalho manual.

5.2.5 Canaletas de drenagem

As canaletas apresentavam desgaste natural, trincas, recalques, que podem ser observados na Figura 22.

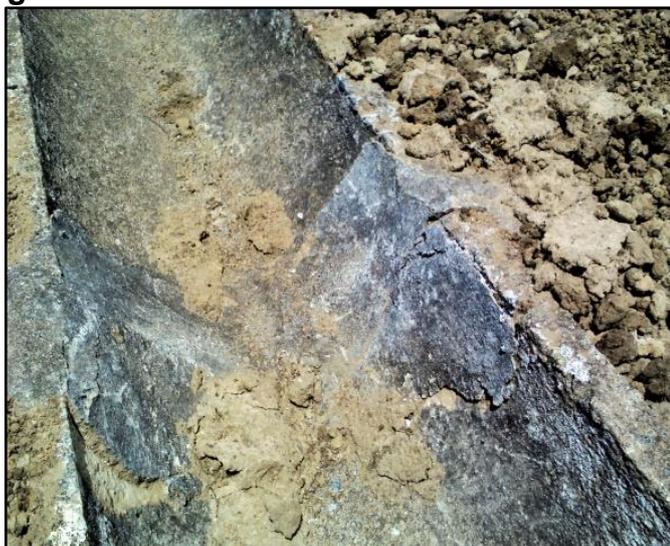
Figura 22- Canaletas com recalque e fissuras



Fonte: Própria

Identificou-se que alguns dos selamentos das juntas entre as canaletas estavam trincados, como apresenta-se na Figura 23, e em alguns casos se encontravam inexistentes.

Figura 23- Canaleta com selo de concreto trincado



Fonte: Própria

Algumas canaletas apresentavam partes destruídas. A Figura 24 ilustra um desses casos.

A falta de proteção do talude, a vegetação com raízes profundas, erosão lateral, deslizamentos, quando associados à degradação natural do concreto e ao escoamento da água ao longo do tempo, são os fatores prováveis que tenham dado origem a essas anomalias no sistema de drenagem.

Figura 24- Canaleta com parte destruída

Fonte: Própria

Esses elementos estão apoiados sobre o talude de jusante, portanto todo movimento de terra, erosão ou outra anomalia que ele venha a sofrer, pode afetar diretamente as canaletas e canaletes de drenagem, causando um efeito acumulativo, pois quando o sistema de drenagem é danificado, proporciona saturação e escoamento superficial de forma mais intensa no talude, facilitando o surgimento de erosões, infiltrações e deslizamentos, que afetam ainda mais o sistema de drenagem. Ou seja, existe uma relação de interdependência na eficiência da operação entre ambos.

Para solucionar essas anomalias, primeiramente o talude deve ser recuperado por completo, de forma à evitar recalques, e as canaletas recolocadas. Quando constatadas trincas no selamento da junção entre as elas, deve-se retirar o selo de argamassa e refazê-lo. Porém quando existirem trincas na canaleta, ou destruição parcial, a substituição é solução mais segura.

5.2.6 Talude desprotegido

Apesar da presença de árvores, arbustos e outros tipos de vegetação, grande parte do talude de jusante estava com sua superfície “desnuda”, ou seja, desprotegido contra a erosão. Essa desproteção pode ser constatada através da Figura 25. Essa condição do talude pode ter sido a fonte de inúmeras outras

anomalias, como erosões, pequenos deslizamentos e obstrução do sistema de drenagem.

Figura 25- Talude desprotegido



Fonte: Própria

O talude estava desprotegido, provavelmente devido à falta de manutenção, causando o desaparecimento da vegetação de proteção. Uma solução alternativa é o plantio de gramíneas, reestabelecendo um sistema de proteção e a realização de inspeções e manutenção ao longo do tempo.

5.2.7 Formigueiros

A presença de formigueiros foi constatada no talude de jusante, montante e crista da barragem de forma reduzida, porém nas ombreiras² os formigueiros se apresentavam culminantes, apresenta-se na Figura 26. Este fato provavelmente se deve à maior dificuldade das formigas escavarem o solo compactado do maciço.

Figura 26- Formigueiros na ombreira



Fonte: Própria

² Parte da encosta contra a qual a barragem é construída.

Os formigueiros são um problema maior quando desenvolvidos nos taludes das barragens, pois podem diminuir o caminho da percolação, facilitar a saturação e deteriorar o sistema de proteção vegetal. A única solução para este problema é a eliminação.

5.2.8 Filtro de pé ou banquetta

O filtro de pé da barragem encontrava-se obstruído provavelmente por material oriundo da ação das erosões e deslizamentos. Essa obstrução pode ser observada através da Figura 27.

Figura 27- Filtro de pé obstruído



Fonte: Própria

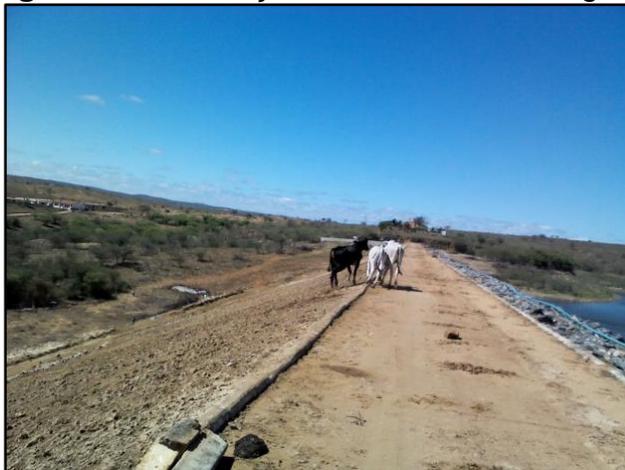
A obstrução do filtro de pé dificulta o escoamento da água percolada, favorecendo a saturação do talude e o surgimento do *piping* prejudicando a estabilidade do talude. A obstrução do filtro de pé causa o aumento da pressão neutra, que pode levar ao rompimento da barragem de terra. A solução é a desobstrução do sistema em conjunto com proteção do talude contra deslizamentos e erosões, para evitar nova obstrução.

5.2.9 Tráfego de animais

O tráfego de animais é constante na barragem, principalmente bovinos, conforme pode ser observado na Figura 28. Isso é prejudicial à estrutura da barragem, pois pode causar áreas de acumulação de água em suas pegadas, além de degradarem o sistema de proteção do talude de jusante, caso seja através do

plântio de gramíneas. Oliveira (2008) constatou o tráfego de animais na barragem de Lagoa Grande, e afirma que este pode dar origem a erosões localizadas.

Figura 28- Presença de animais na barragem



Fonte: Própria

Para evitar a presença desses animais, a construção de uma cerca é eficaz. Levando em consideração que o maciço da barragem não é utilizado com ponto de acesso para outras localidades, a cerca não trará nenhum prejuízo para a locomoção da população.

5.3 RECUPERAÇÃO E CONTROLE DAS ANOMALIAS

5.3.1 Desmatamento

Devido ao risco e a dificuldade de acesso aos taludes e ao vertedouro da barragem, a grande maioria do desmatamento teve que ser realizado através de trabalho manual, utilizando ferramentas como chibancas, foices, roçadeiras, machados e enxadas. As árvores com raízes profundas necessitaram de serem destocadas, como pode ser observado na Figura 29.

Figura 29- Destoca de algaroba



Fonte: Própria

Na destoca foram utilizadas chibancas e nos casos que o acesso de máquinas era possível, elas foram utilizadas. A Figura 30 demonstra a retroescavadeira realizando destoca e limpeza.

Figura 30- Limpeza com máquina



Fonte: Própria

A vegetação menor também teve que ser retirada por questões estéticas, segurança, e no caso do talude de jusante por necessidade, pois a grande maioria dele apresentava erosões, e na recuperação desse tipo de anomalia a presença de vegetação seria inconveniente. A remoção da vegetação menor foi realizada com o uso de enxadas, conforme exemplifica a Figura 31.

Figura 31- Limpeza da vegetação menor no talude de jusante



Fonte: Própria

Com a realização da remoção de vegetação em todo o maciço da barragem, incluindo o vertedouro, que devido apresentar como anomalia apenas a presença de vegetação excessiva, este se considerou recuperado após esta etapa e o resultado pode ser observado através da Figura 32.

Figura 32- Vertedouro Recuperado



Fonte: Própria

A Figura 33 ilustra o talude de jusante após o desmatamento e com acesso para as máquinas criado na berma.

Figura 33- Talude de jusante desmatado



Fonte: Própria

O talude de montante após o desmatamento e limpeza pode ser visualizado na Figura 34. Com a limpeza facilitou-se a identificação e acesso aos formigueiros, os quais foram eliminados das estruturas da barragem, inclusive das ombreiras.

Figura 34- Talude de montante após o desmatamento e limpeza



Fonte: Própria

Com a limpeza, aumentou-se a possibilidade da identificação de anomalias nas estruturas da barragem, porém observou-se que o diagnóstico realizado na barragem com vegetação em excesso foi eficaz, identificando a grande maioria das anomalias. Porém as anomalias no *rip-rap* só foram possíveis de identificar após a limpeza do talude de montante.

5.3.2 Reposição do rip-rap danificado ou deslocado

Alguns trechos do sistema de proteção do talude de montante apresentavam danos, que foram resolvidos através da reposição das rochas, na Figura 35 apresenta-se a reposição de rochas na recuperação do *rip-rap*.

Figura 35- Reposição das rochas



Fonte: Própria

Com a reposição das rochas o sistema de proteção do talude de montante teve sua recuperação concluída, e pode ser observada na Figura 36.

Figura 36- Rip-rap recuperado



Fonte: Própria

5.3.3 Reposição do material erodido

Quando uma barragem apresentar anomalias no sistema de drenagem superficial e erosões no talude de jusante, é essencial que a reposição do material erodido seja realizada antes da recuperação do sistema de drenagem, pois essa reposição pode provocar obstruções, gerando a necessidade de uma nova manutenção no sistema.

A barragem Poleiros é de terra homogênea, então procurando não modificar as características da sua estrutura, procurou-se por material semelhante ao constituinte do talude jusante da barragem. Na reposição o ponto de extração do material mais próximo encontrado, localiza-se a aproximadamente 2 km da barragem. E o seu transporte necessitou ser realizado por caçambas, como apresentado na Figura 37. A caçamba depositou material sobre a crista e sobre a primeira berma, facilitando o processo de reposição.

Figura 37- Caçamba transportando material



Fonte: Própria

A reposição do material no talude ocorreu através de máquinas e trabalho manual. Através da Figura 38 pode se observar a reposição do material por uma retroescavadeira.

Figura 38- Retroescavadeira sobre a berma repondo material no talude



Fonte: Própria

Na recuperação da barragem como um todo, buscou-se realizar ações corretivas para modificá-la de tal modo que ela volte a apresentar características semelhantes de quando construída em 1986. A reposição do material erodido teve o objetivo de proporcionar ao talude de jusante, todas as características que o mesmo tinha após sua construção, então a compactação do material foi necessária. Ela é influenciada pelas características do solo, porém o grau de umidade é a característica determinante, então para que se obtenha uma compactação eficaz, buscou-se compactar o solo na umidade ótima de compactação. A Figura 39 ilustra a execução do aumento de umidade do material de reposição buscando atingir a umidade ótima para a compactação.

Figura 39- Aumento de umidade do material



Fonte: Própria

A recuperação das erosões proporcionou um talude mais estável, porém sem proteção por vegetação. Ou seja, a implantação de um sistema de proteção contra erosões é fundamental para preservação do talude. Através da Figura 40, se pode observar o talude após a reposição do material erodido.

Figura 40- Talude sem erosões



Fonte: Própria

5.3.4 Recuperação dos Canaletes de drenagem

As canaletas foram desobstruídas através de trabalho manual utilizando chibancas e pás, como apresentado na Figura 41. Além da desobstrução, realizou-se a lavagem dos canaletes para facilitar a identificação de outras anomalias.

Figura 41- Desobstrução dos canaletes



Fonte: Própria

O resultado da desobstrução e lavagem pode ser observado na Figura 42.

Figura 42- Canaleta desobstruído



Fonte: Própria

Os canaletes são constituídos de alvenaria e revestidos com argamassa, os desgastes encontrados foram recuperados apenas com a aplicação de argamassa, como demonstra a Figura 43.

Figura 43- Aplicação de argamassa



Fonte: Própria

Através da aplicação de argamassa no piso e nos desgastes do revestimento, conforme pode ser observado na Figura 44, verificou-se um resultado satisfatório na recuperação dos canaletes.

Figura 44- Canaleta com piso e revestimento recuperado



Fonte: Própria

Porém em casos de trincas e tombamentos evidentes ou possíveis, utilizou-se como ação corretiva a reconstrução, como apresentado na Figura 45.

Figura 45- Canaleta em reconstrução



Fonte: Própria

A Figura 46 apresenta-se o resultado da reconstrução de setores tombados dos canaletes e daqueles trincados que apresentavam risco de tombamento, que necessitaram ser demolidos e reconstruídos.

Figura 46- Canaleta reconstruído



Fonte: Própria

5.3.5 Recuperação das canaletas de drenagem

Para a recuperação do talude de jusante, houve a necessidade de retirar as canaletas com reposição de solo no local, para posterior reassentamento. As canaletas que estavam trincadas ou incompletas foram substituídas. A Figura 47 demonstra o momento de reposição e substituição das canaletas.

Figura 47- Substituição e reposição das canaletas



Fonte: Própria

Os selos trincados ou inexistentes foram refeitos. Na Figura 48 apresenta-se aplicação da argamassa para selar as canaletas.

Figura 48- Reposição dos selos de argamassa



Fonte: Própria

Das ações corretivas nas canaletas de drenagem resultaram canaletas recuperadas, conforme ilustra-se a Figura 49.

Figura 49- Canaleta recuperada



Fonte: Própria

5.3.6 Desobstrução do filtro de pé

A única anomalia encontrada neste sistema de drenagem interna é sua obstrução. Na Figura 50 pode se observar a desobstrução do filtro de pé através da utilização de chibancas, enxadas e hidrojateamento.

Figura 50- Desobstrução do filtro de pé



Fonte: Própria

Essa recuperação é essencial para a segurança da barragem, pois este sistema de drenagem é uma das medidas para evitar a erosão interna ou *piping*, que prejudica a estabilidade do talude, podendo levar a barragem a falha.

Na Figura 51 ilustra-se o filtro de pé desobstruído, considerou que ele esteja recuperado após a execução dessa ação corretiva.

Figura 51- Filtro de pé recuperado



Fonte: Própria

5.3.7 Construção da cerca

A cerca foi construída para impedir o tráfego de animais maiores sobre as estruturas da barragem causando anomalias. A construção da cerca pode ser visualizada na Figura 52.

Figura 52- Construção da cerca



Fonte: Própria

Na da Figura 53, pode-se observar a barragem cercada, impedindo o tráfego de animais sobre a sua estrutura.

Figura 53- Barragem cercada



Fonte: Própria

5.3.8 Plantio de gramíneas

O talude será protegido através do plantio de gramíneas. As características do capim *tifton 85*, como raízes profundas, resistência a seca e manejo facilitado,

favoreceram a sua escolha para proteger o talude de jusante da barragem. O início do plantio é ilustrado na Figura 54.

Figura 54- Plantio das mudas de Tifton 85



Fonte: Própria

O plantio do *tifton 85* ainda está em execução. Além do plantio, a irrigação é essencial para que as mudas se estabeleçam e se desenvolvam protegendo o talude. É necessário que o solo esteja bem corrigido e adubado, para que após três meses, aproximadamente, o capim esteja em condições adequadas. Ou seja, o talude com o sistema de proteção completo, preenchendo toda a sua superfície. Em épocas de estiagem severas a irrigação deve ocorrer para minimizar os impactos sobre este componente.

5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS

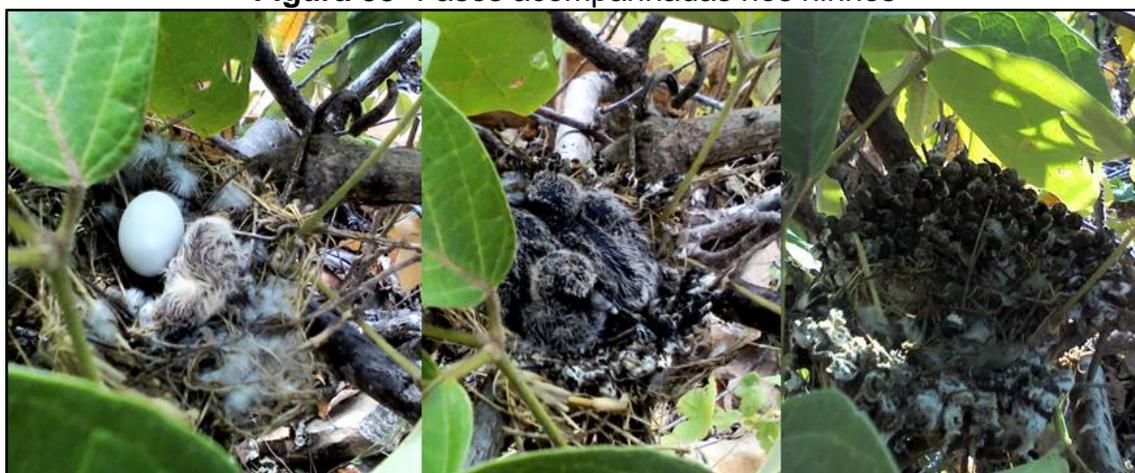
A recuperação de anomalias na estrutura de barragens é uma ação que faz parte da operação destes empreendimentos, e os impactos ambientais e medidas mitigadoras são definidos no EIA elaborado para a obtenção da licença prévia. Porém no caso da Barragem Poleiros, todas as tentativas de acesso às informações sobre a existência ou dados do EIA elaborado para seu licenciamento foram ineficazes, então o uso do PBA para orientar as ações de recuperação, foi impossibilitado. Mesmo assim, ações visando à identificação e minimizações de impactos ambientais foram realizadas durante o planejamento e execução das ações de recuperação, seja através de ações de gestão, modificação no cronograma

da obra, educação ambiental dos funcionários, número de funcionários reduzido, ou gerenciamento dos resíduos sólidos gerados.

5.4.1 Medidas de preservação da fauna

Devido à falta de manutenção, a vegetação cresceu excessivamente nos taludes e na região de entorno do maciço, servindo de habitat para a fauna e flora. Porém nas atividades de recuperação o desmatamento dos taludes é essencial e não poderia ser descartado. A fauna, principalmente, aves, reptéis e invertebrados foram perturbados e a grande maioria deslocou-se para a vegetação à jusante da barragem. Durante as inspeções identificou-se a presença de ninhos de aves nativas, com a presença de ovos ou filhotes, que não poderiam migrar de local no momento. Neste caso a medida mitigadora foi à modificação do cronograma das áreas a serem desmatadas, fornecendo tempo suficiente para os ovos fossem chocados e filhotes deixassem os ninhos. Na Figura 55 apresenta-se o acompanhamento dos ninhos, aguardando o momento certo para o início do desmatamento no local.

Figura 55- Fases acompanhadas nos ninhos



Fonte: Própria

5.4.2 Gerenciamento dos resíduos e educação ambiental

O programa de educação ambiental sensibilizou os funcionários para minimizarem e reaproveitarem os resíduos gerados durante a recuperação da barragem. Os resíduos que não foram reaproveitados como os RCD, foram destinados de forma adequada.

A obra de recuperação da barragem é de pequeno porte, com um número de funcionários reduzido. Estes residem na cidade próxima ao empreendimento, possibilitando o trabalho sem necessitar de alojamentos, e através da educação ambiental, todos os resíduos sólidos domésticos individuais gerados eram levados após o trabalho e destinados nas lixeiras comunitária do município pelos seus geradores de forma voluntária.

Devido à falta de infraestrutura remanescente, não existia produção de resíduos domésticos antes do início da recuperação da barragem, evitando alguns impactos ambientais, porém prejudicando a segurança da barragem. Com a chegada de funcionários, e buscando minimizar os impactos foi implantado banheiro químico para coleta e destinação final adequada dos resíduos sanitários.

Buscando minimizar os impactos ambientais, a maioria dos resíduos de desmatamento foi doada para a indústria de cerâmica que se encontra próxima ao empreendimento, para a queima nos seus fornos.

5.5 OPERAÇÃO E MONITORAMENTO

A operação e monitoramento da barragem Poleiros encontram-se comprometidos, pois provavelmente o empreendimento não possui nenhum operador ou técnico responsável pelo gerenciamento para realizar inspeções visuais, e a única instrumentação existente no local para a realização do monitoramento são réguas linimétricas, utilizadas para medir o nível de água no reservatório. Impossibilitando, assim, a identificação de anomalias e ações corretivas de forma constante durante a vida útil da barragem.

A infraestrutura colocada na época de construção do empreendimento não existe mais, ou seja, não existe infraestrutura remanescente para dar abrigo a técnicos ou operadores responsáveis pelo gerenciamento. Costa (2012) afirma que “qualquer que seja o nível de operacionalização de uma obra de barramento, é necessário manter uma infraestrutura local, que inclui, minimamente, um escritório, uma residência para o técnico responsável pelo gerenciamento e as estradas”.

Devido ao monitoramento e operação ineficaz da barragem e sua segurança, aos poucos foram surgindo anomalias, que não foram identificadas e remediadas devido a inexistência de equipe de controle operacional. Com o passar do tempo, às anomalias evoluíram e contribuíram para formação e aceleração de outras

anomalias, causando um efeito acumulativo, requerendo investimentos financeiros onerosos para a recuperação do estágio em que se encontrava. Custos estes que poderiam ser minimizados significativamente com o adequado monitoramento, operação e manutenção da barragem Poleiros de forma preventiva.

6. SUGESTÕES

- Instalar instrumentos de auscultação no maciço da barragem, principalmente piezômetros, inclinômetros e marcos superficiais para o monitoramento das condições de segurança da barragem.
- Construir uma estrutura de apoio para o operador ou técnico responsável pela operação da barragem.
- Contratar um operador com experiência em operação e identificação de pequenas anormalidades em barragens de terra.
- Planejar ações corretivas para as anomalias com surgimento provável.
- Classificar a barragem de acordo com o exigido pela Lei 12.334.
- Realizar as inspeções técnicas de vistoria no limite de tempo máximo ao estipulado na Lei nº 12.334.
- Realizar o monitoramento da barragem, com o auxílio dos dados da instrumentação aliados a inspeção visual.
- Quando identificadas anomalias graves, procurar um profissional especializado com urgência.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada elemento que constitui a estrutura de uma barragem de terra possui características e funções distintas, que juntos proporcionam a operacionalidade do empreendimento com estabilidade e segurança de acordo com o previsto em projeto. Porém necessitam de monitoramento e operação adequada.

A caracterização possibilitou a realização de um levantamento de anomalias mais comuns nessas estruturas. Técnicas de recuperação mais adequadas, quando aliadas ao acompanhamento da execução das ações corretivas, favoreceram para uma recuperação eficaz da Barragem.

A ação do ambiente aliada a falta de manutenção ao longo do tempo originam anomalias em um determinado elemento, que pode comprometer outros, causando um efeito acumulativo, que aumenta o potencial de falha da estrutura. O risco de falha só pode ser minimizado com a realização de inspeções regulares nas barragens, de acordo com a suas classificações e com a execução de manutenção quando necessário.

A recuperação da Barragem Poleiros eliminou todas as anomalias que poderiam comprometer a estabilidade do empreendimento. Porém para que a estrutura continue em um estado de conservação aceitável para a segurança de barragens, ela necessita de um operador para realizar monitoramento e manutenção de pequenos problemas que venham surgindo com o passar do tempo.

Devido à estiagem e ao alto grau de evaporação a água da barragem Poleiros, provavelmente está com concentrações de sais e fósforo elevadas comprometendo sua qualidade.

Todas as etapas de execução da recuperação foram executadas considerando a preservação do meio ambiente, buscando sempre que possível executar medidas que mitigassem os impactos ambientais.

A mata ciliar da barragem poleiros encontra-se conservada, porém a presença de algarobas pode significar risco para o equilíbrio do ecossistema.

A política de segurança de barragens estabelece de forma clara a distribuição de responsabilidades, tanto do empreendedor como dos órgãos fiscalizadores, visando à aplicação de medidas para garantir a segurança das barragens.

8. REFERÊNCIAS

Agência Nacional das Águas- ANA. **Cadastro de barragens – ANA**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/Barragens/Visualiza.aspx>> Acesso em: 30 Ago. 2014.

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA. **SIGAESA – WEB**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/sigaesaweb.html>> Acesso em: 13 Set. 2014.

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. **Relação dos açudes monitorados**. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=listarAcudesUltimaCota>> Acesso em: 03 Dez. 2014.

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. **Relação dos açudes monitorados**. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaUltimosVolumesPorBacia>> Acesso em: 03 Dez. 2014.

Agência Nacional das Águas – ANA. **Relatório de segurança de barragens**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/barragens/RelatoriodeSegurancaBarragens.aspx>> Acesso em: 21 Out.2014.

Agência Nacional das Águas – ANA. **Relatório de segurança de barragens 2011**. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/Seguranca/RelatorioSegdebarragens_2011_Completo.pdf> Acesso em 22 Out. 2014.

Agência Nacional das Águas – ANA. **Situação dos recursos hídricos no Brasil. Qualidade da água. Índice de Estado Trófico na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental**. Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil, 2009.

Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT. NBR 11.682 de Setembro de 1991. **Estabilidade de taludes**.

BORTOLOTTI. Tragédia Anunciada. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 13 Nov. 2005. Folha UOL. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1311200522.htm>> Acesso em: 13 Set. 2014.

ESTADO DA BAHIA. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH. **Recomposição Florestal de Matas Ciliares**. Salvador: Gráfica Print Folhas, [3ªed. Rev. e ampl.], 2007.

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

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

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

DYMINSKI, Andrea Sell. **Noções de estabilidade de taludes e contenções**. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC019/TC019/Taludes.pdf>> Acesso em: 30 Ago. 2014.

ESTADO DA PARAÍBA. **Governo do Estado conclui recuperação de barragens em 10 municípios**. Disponível em: <<http://www.paraiba.pb.gov.br/88540/governo-do-estado-conclui-recuperacao-de-barragens-em-10-municipios.html>> Acesso em: 15 Out. 2014.

GAGO, Rogério. **Gestão de crises no atendimento inicial a emergências com rupturas de barragens: Análise e proposta**. 2009. 204 f. (Monografia)- Centro de Aperfeiçoamento e Estudos Superiores. São Paulo, 2009.

GOOGLE. **GoogleMaps**. Disponível em:<<https://www.google.com.br/maps/dir/-6.7299105,-36.0881702/-6.7232164,-36.0581793/@-6.7274883,-36.0742078,3155m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e2>> Acesso em: 10 Nov. 2014.

GUSMÃO, Caio Antônio. **Projeto básico ambiental da barragem e do reservatório de regularização e acumulação do Ribeirão João Leite em Goiânia Goiás – Brasil**. 2005. 16f. (Engenheiro Civil da SENEAGO). Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/gusma.pdf>> Acesso em: 24 Nov. 2014.

Instituto Ambiental do Paraná - IAP. **Monitoramento da qualidade de águas do estado do Paraná entre 2005 e 2008**.Paraná: Fundamento, 2009. Disponível em:<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/boletins/RELATORIO_AGUA/relatorio_RESERVATORIOS_2005_2008.pdf> Acesso em: 30 Ago2014.

JOSÉ, A; GUERRA, T; SILVA, A, S; BOTELHO, R, G, M. **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

Lei federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, 1981.

MARANGON, Márcio. **Barragens de Terra e Enrocamento**. Apostila do Curso de Engenharia Civil – Área Departamental de Geotecnia e Obras de Terra, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2004.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – **Avaliação da segurança de barragens existentes** – Eletrobrás, Rio de Janeiro, 1987.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria de Infraestrutura hídrica, Unidade de gerenciamento do Proágua/semiárido. **Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios**. Brasília: Bárbara Bela, 2005.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria de Infraestrutura hídrica, Unidade de gerenciamento do Proágua/semiárido. **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília, 2002.

MENESCAL, R.A. **Gestão da segurança de barragens no Brasil - Proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo**. 2009. 729 f. (Doutorado em Recursos hídricos)- Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO – MDA. **Plano territorial de desenvolvimento rural sustentável**. Disponível em: <http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio160.pdf> Acesso em: 10 Nov. 2014.

OLIVEIRA, Jader Roosevelt de Carvalho. **Contribuição para a verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra**. 2008. 263 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Geotécnica)-Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

PEGADO, Cláudia Maria Alves. **Efeitos da invasão biológica de algaroba - *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil**. 2006-2007.

PORTAL CORREIO. **Outras 27 barragens passam por obras de manutenção no estado da Paraíba**. Disponível em: <<http://portalcorreio.uol.com.br/noticias/cidades/agua-e-esgoto/2014/09/17/NWS,246450,4,69,NOTICIAS,2190-OUTRAS-BARRAGENS-OBRAS-MANUTENCAO-PARAIBA.aspx>> Acesso em: 14 Ago.2014.

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC – Rio. **Instrumentação e Segurança de Barragens**. Disponível em: <http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124945_03_cap_02.pdf> Acesso em: 31 Ago. 2014.

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

SILVEIRA, João Francisco Alves. **Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, José Bezerra. **A qualidade dos recursos hídricos superficiais no semi-árido- Curimataú Paraibano**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

SÁNCHEZ, Luiz Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

XAVIER, Daniela Karla de Sousa. **Monitoramento Ambiental através do índice de qualidade da água-IQA associado com índice de toxidez-IT das águas das bacias hidrográficas do Curimataú e do Maxaranguape do estado do Rio Grande do Norte**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

