

ANÁLISE DE FATORES INDICATIVOS DA VULNERABILIDADE DE UMA BARRAGEM LOCALIZADA EM PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE PARACATU/MG

Bruno Henrique de Oliveira¹
Douglas Souza Morais²

290

Resumo: O presente artigo tem por objetivo avaliar os fatores que indicam a vulnerabilidade de um barramento de terra, onde é armazenada água para irrigação de cultivos de uma fazenda localizada na zona rural do município de Paracatu/MG. Após levantamentos bibliográficos e trabalho de campo, foi possível realizar a avaliação da barragem por análise visual, identificando as principais não conformidades que a mesma apresenta. Posteriormente, foram realizados estudos geológicos por meio de dados secundários para a caracterização do ambiente em que a área está inserida, e feitas recomendações de ensaios geotécnicos e outras medidas para avaliação confirmatória da estabilidade do barramento. Os resultados indicaram algumas vulnerabilidades que podem vir a comprometer sua estabilidade e segurança. Dessa forma, foram apresentadas as recomendações correspondentes às ações que o proprietário deve executar para a correção das não conformidades encontradas.

Palavras Chaves: Barragem, vulnerabilidade, segurança e estabilidade.

Abstract: The present work aims to evaluate the factors that indicate the vulnerability of a land bus, where water is stored for irrigation of crops of a farm located in the rural area of the municipality of Paracatu/MG. After bibliographic surveys and field work, it was possible to perform the evaluation of the dam by visual analysis, as main identifications not located as the same presentation. Subsequently, geological studies were carried out using secondary data to characterize the environment in which the area is inserted, and recommendations were made for geotechnical tests and other measures to confirm the stability of the bus. The results indicated some vulnerabilities that could compromise their stability and security. Thus, they were presented as recommendations corresponding to the actions that the owner must perform for the correction of the nonconformities found.

Keywords: Dam, vulnerability, security and stability.

¹ Engenheiro de Minas formado pela Faculdade do Noroeste de Minas - FINOM

² Doutor em Geologia pela Universidade Estadual de São Paulo – UNESP. Email: moraisds@yahoo.com.br

Recebido em 17/02/2020
Aprovado em 01/03/2020

1. INTRODUÇÃO

Segundo Costa (2012) barragem pode ser definida como sendo um elemento estrutural, construída transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinada a criação de um reservatório artificial de acumulação de água. Ainda, de acordo com Frutuoso (2007) os objetivos que regem a construção de uma barragem são vários e os principais se resumem em:

- a) aproveitamento hidrelétrico;
- b) regularização das vazões de um curso d'água para fins de navegação;
- c) abastecimento doméstico e industrial de água;
- d) controle de inundações;
- e) irrigação.

Uma preocupação que tem se tornado cada vez mais frequente diz respeito à segurança de quaisquer tipos de barragens, tendo em vista os diversos acidentes ocorridos com o rompimento de barragens, que acarretam impactos sociais, ambientais e econômicos.

De acordo com a Agência Nacional das Águas – ANA, a segurança de barragens é assunto de altíssima complexidade. O rompimento de uma barragem, além de envolver risco de perdas de vidas humanas e poder causar transtornos à população, traz grandes prejuízos econômicos e ambientais às localidades afetadas. Por esses motivos, a avaliação da segurança de uma barragem, realizada por um técnico especializado e experiente, poderá apontar, com a antecedência ou urgência requerida, a necessidade de recuperar ou reformar a barragem que represente ameaças, daí a importância das inspeções regulares.

A ANA atribui a inspeção regular de segurança de uma barragem como sendo uma atividade de rotina essencial e elementar, que constitui um instrumento de alta relevância para monitorar problemas e anomalias capazes de apontar perigos iminentes.

A região de estudo está inserida noroeste do estado de Minas Gerais, mais precisamente no município de Paracatu, geologicamente inserida na unidade da Faixa de Dobramento Brasília. O objetivo deste trabalho consiste, essencialmente, em avaliar uma barragem de terra em propriedade rural através do método de análise visual e do levantamento de fatores que possam indicar a vulnerabilidade da mesma, o que pode comprometer a sua estabilidade e segurança. Avaliar uma barragem de terra através da análise visual, tentando encontrar não

conformidades em toda sua extensão (talude montante, crista, talude jusante) e arredores; Registrar, em uma ficha de avaliação, os fatores analisados para verificar se são suficientes para indicar vulnerabilidades que possam comprometer a estabilidade da barragem; Caracterizar a área de estudos, no que se refere a sua inserção no contexto geológico regional e local, para conhecer o ambiente em que está inserida e avaliar se este apresenta alguma fragilidade; Avaliar a importância de estudar a geotecnia e recomendar ensaios geológico-geotécnicos para uma avaliação confirmatória da segurança e estabilidade da barragem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Agência Nacional das Águas (ANA) propõe algumas metodologias para a verificação da segurança de diversos tipos de barragens, tais como barragens de concreto, barragens de terra, estruturas associadas a construções de hidrelétricas, dentre outras.

Dentre as metodologias propostas estão a inspeção regular e o preenchimento de fichas de inspeção, além da elaboração do relatório de inspeção por profissional habilitado. No estado de Minas Gerais, o Órgão responsável pela regulamentação de barragens e utilização de recursos hídricos é o Instituto de Gestão das Águas (IGAM). O mesmo estabelece o cadastro obrigatório para barragens destinadas à acumulação de água que apresentem a altura do maciço maior ou igual a quinze metros e cuja capacidade total do reservatório seja maior ou igual três milhões de metros cúbicos e estruturas cujo dano potencial associado seja médio ou alto em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas (IGAM, 2016).

No caso de barragens de terra em propriedades rurais, as mesmas estão sujeitas a eventuais fiscalizações ou são alvos de regularização ambiental durante o licenciamento da atividade, como é o caso da propriedade visitada na elaboração deste trabalho. Durante o licenciamento ambiental das propriedades rurais que possuem barragens são comumente solicitados pelo Órgão os laudos de inspeção e estabilidade das barragens.

No presente artigo, foram seguidos os seguintes procedimentos metodológicos:

- Determinação dos fatores a serem observados e elaboração da ficha de avaliação;
- Trabalhos de campo para análise visual da barragem;
- Preenchimento da ficha de avaliação;
- Análise da barragem e recomendações quanto aos riscos e segurança.

2.1. Avaliação da barragem através da análise visual

Um trabalho de campo foi realizado no dia 12 de setembro de 2016, para a análise visual dos fatores indicativos de vulnerabilidade da barragem objeto do presente estudo.

A metodologia utilizada consistiu na visita ao local do barramento, onde foram levantados os dados geométricos da barragem usando as seguintes mateiras:

- Trena;
- Bussola;
- GPS;
- Câmera Fotográfica;
- Caderneta de Anotações.

As principais feições observadas para o levantamento das não conformidades da barragem foram retiradas do formulário de inspeção disponível pela Agência Nacional de Águas (ANA), e se referem basicamente a:

- Erosões;
- Escorregamentos;
- Rachaduras;
- Rip-raps;
- Afundamentos e buracos;
- Árvores e arbustos;
- Canaletas
- Formigueiros, cupinzeiros e/ou tocas de animais;
- Sinais de movimentos.

2.2. Preenchimento da ficha de avaliação

De acordo com o “Manual de Preenchimento da ficha de inspeção de barragens”, disponível pela ANA, foi elaborada uma ficha indicando os principais aspectos que corresponde a uma situação de anomalia que possa estar ocorrendo em relação a não conformidade de uma barragem de terra. Nela são avaliadas regiões como:

- Talude Montante;
- Coroamento (Crista);

- Talude Jusante;
- Região a Jusante do Barramento.

As figuras 1 a 4 apresentam os exemplares que foram utilizados para a elaboração da ficha de inspeção do barramento.

Figura 1 – aspectos a serem observados no talude montante

	LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.	BARRAGEM													
B.1	TALUDE DE MONTANTE													
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Rip-Rap incompleto, destruído ou deslocado.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

Fonte: ANA (2017)

Figura 2 – aspectos a serem observados no coroamento

	LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.2	COROAMENTO													
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Rachaduras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Falta de revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Falha no revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Defeitos na drenagem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Defeitos no meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais.	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Desalinhamento do meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Ameaça de transbordamento da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

Fonte: ANA (2017)

Figura 3 – aspectos a serem observados no talude jusante

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

Fonte: ANA (2017)

Figura 4 – aspectos a serem observados na região à jusante

	LOCALIZAÇÃO / ANOMALIA	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
B.4	REGIÃO À JUSANTE DA BARRAGEM													
1	Construções irregulares próximas ao rio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Fuga d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Erosão nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Árvores e arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

Fonte: ANA (2017)

De acordo com a legenda disponível pela ANA, as siglas apresentadas nas figuras são:

Situação

- **NA** – Este Item não se Aplica
- **NE** – Anomalia não Existente
- **PV** – Anomalia Constatada pela Primeira Vez

- **DS** – Anomalia Desapareceu
- **DI** – Anomalia Diminuiu
- **PC** – Anomalia Permaneceu Constante
- **AU** – Anomalia Aumentou
- **NI** – Item Não Inspeccionado

Magnitude

- **I** – Insignificante
- **P** – Pequena
- **M** – Média
- **G** – Grande

Nível de Perigo

- **0** – Nenhum
- **1** – Atenção
- **2** – Alerta
- **3** – Emergência

Neste formulário existem duas recomendações, onde:

- 1º - A magnitude e o Nível de Perigo somente deverão ser preenchidos quando a situação do item for PV, DI, PC e AU.
- 2º - Tratando-se da primeira inspeção de uma barragem, as situações escolhidas devem ser NA, NE, PV e NI. Quando o técnico se basear em conhecimento próprio ou de terceiros para informar as situações DI, DS, PC ou AU deve haver esclarecimento por meio do preenchimento do espaço reservado para comentários e como este conhecimento foi obtido.

2.3. Caracterização da área de estudos

Pesquisas bibliográficas e levantamento de dados secundários possibilitaram a caracterização da área de estudos num contexto geológico regional e local, com o intuito de promover o conhecimento do ambiente em que a mesma está inserida.

2.4 Geologia local

Para a contextualização da geologia local foram realizados caminhamentos por toda a área da propriedade rural e seu entorno, para a obtenção de dados geológicos locais (litologia, estratigrafia, feições estruturais). A área de estudo está inserida no Grupo Vazante, coberto por coberturas quaternárias. Desta forma, são apresentadas a seguir as principais formações e litologias que correspondem a este Grupo.

2.4.1 Grupo Vazante

De acordo com estudos de Oliveira (2013) o Grupo Vazante está localizado no segmento sul da Faixa de Dobramento Brasília, caracterizado por um pacote rochoso metassedimentar pelito-carbonático com metamorfismo em fácies xisto verde. A coluna litoestratigráfica do Grupo Vazante proposta por Dardenne (2000), corresponde a 07 formações distintas. Estas serão descritas conforme a coluna apresentada na figura 8.

Figura 8 – coluna litoestratigráfica do grupo vazante

Coluna	Depósito Mineral	Descrição	Membro	Formação	Grupo
		Filito Cinza	Serra da Anta	Paracatu	Canastra
	Au - Morro do Ouro	Filito carbonoso com camadas de quartzito	Morro do Ouro		
		Filito carbonático verde		Morro do Ouro	V A Z A N T E
		Ardósia rica em carbonato cinza Lentes de dolomito Ardósia carbonosa preta		Serra da Lapa	
	Pb-Zn - Morro Agudo	Bioerma estromatolítico, fácies de brecha e dolarenito	Pamplona Superior	Morro do Calcário	
	Zn - Vazante	Dolomito rosa com laminações algais, nodulos de barita e gretas de contração	Pamplona Médio	Morro do Poço Verde	
		Ardósia cinza e verde com intercalações de dolomito rosa	Pamplona inferior		
		Dolomito cinza escuro com laminações algais e birds eyes		Morro do Pinheiro Superior	
		Dolomito cinza claro a rosa com intercalações de brecha e dolarenito		Morro do Pinheiro Inferior	
		Ardósia cinza		Serra do Garrote	
		Bioerma estromatolítico	Sumidouro	Lagamar	
		Calcário cinza escuro Brecha dolomítica Conglomerado	Arrependido		
	Fosforito 3- Lagamar	Ritmito		Rocinha	
	Fosforito 2- Rocinha	Ardósia cinza escura piritica e fosfática			
		Ritmito		Retiro	
	Fosforito 1- Coromandel Diamictito	Intercalações de quartzito, fosforito, diamictito e ardósia			

Fonte: Dardenne (2000).

Formação Retiro Novo: Unidade também reconhecida com Santo Antônio do Bonito corresponde à formação de base e é constituída por pacotes métricos de quartzitos brancos ora conglomeráticos, intercalados com níveis pelíticos ardosianos. Sua espessura é estimada entre 100 a 250 metros (OLIVEIRA, 2013).

Formação Rocinha: Esta está sobreposta a formação Retiro. Corresponde a uma sequencia rítmica arenosa e pelítica na base, posteriormente é constituída por um pacote espesso de pelitos e siltitos regularmente intercalados que passa verticalmente para pelitos cinza escuro, carbonáticos e piritosas, com finas laminações fosfáticas. Em sua porção superior é constituída por ritmitos de quartzitos e siltitos. Sua espessura é estimada entre 500 a 1.000 metros.

Formação Lagamar: essa formação é constituída por conglomerados, quartzitos, metassiltitos e ardósias na sua porção basal. Sobrepostas a essas litologias constituem brechas dolomíticas com horizontes de calcários cinza escuro intercalados de brechas lamelares e dolomitos estromatolíticos (OLIVEIRA, 2013).

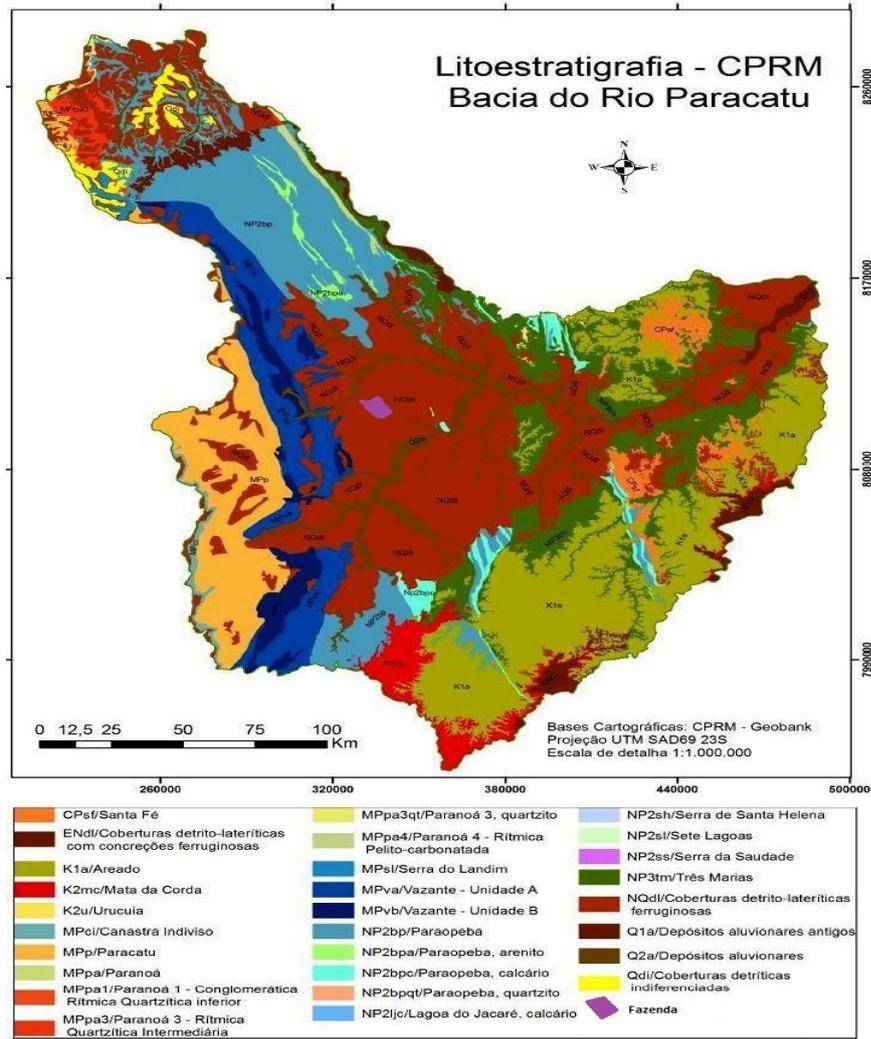
Formação Serra do Garrote: Essa formação é constituída por pelitos que variam de cinza escura a cinza esverdeados. Sua espessura é estimada acima dos 1.000 metros.

Formação Serra do Poço Verde: esta formação é subdividida em quatro membros: Morro do Pinheiro Inferior, Morro do Pinheiro Superior, Pamplona Inferior e Pamplona Médio. Constituídos por pacotes dolomíticos cinza-claros a rosados. Nesta formação reconhece brechas lamelares, estromatólitos colunares, nódulos de barita, birds eyes e esteiras algais.

Formação Morro do Calcário: Caracterizado por pacotes carbonáticos estromatolíticos constituindo biostromos e biohermas com colunas de laminações convexas, associados a dolarenitos oolíticos e oncolíticos e doloruditos (OLIVEIRA, 2013).

Formação Serra da Lapa: constituídos por sedimentos pelíticos carbonosos, siltitos carbonosos, lentes de dolomitos com espessura média de 800 metros na região de Paracatu. As lentes carbonáticas são compostas por fácies de dolomitos laminados cinza escuro, maciços, ora dolareniticos impuros. De acordo com o mapa geológico na figura 9 disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM observou-se que a área de estudo está localizada sobre coberturas detrítico-lateríticas. A área de estudo está destacada pela cor roxa.

Figura 9 – mapa geológico da bacia do rio paracatu



Fonte: CPRM (2004)

Segundo o mapa realizado pelo Serviço Geológico Brasileiro, a área de estudo está sobreposta à unidade detrítico-lateríticas ferruginosa, como pode ser observado na figura 10.

Figura 10 – cobertura detrítico-laterítica



Fonte: O Autor

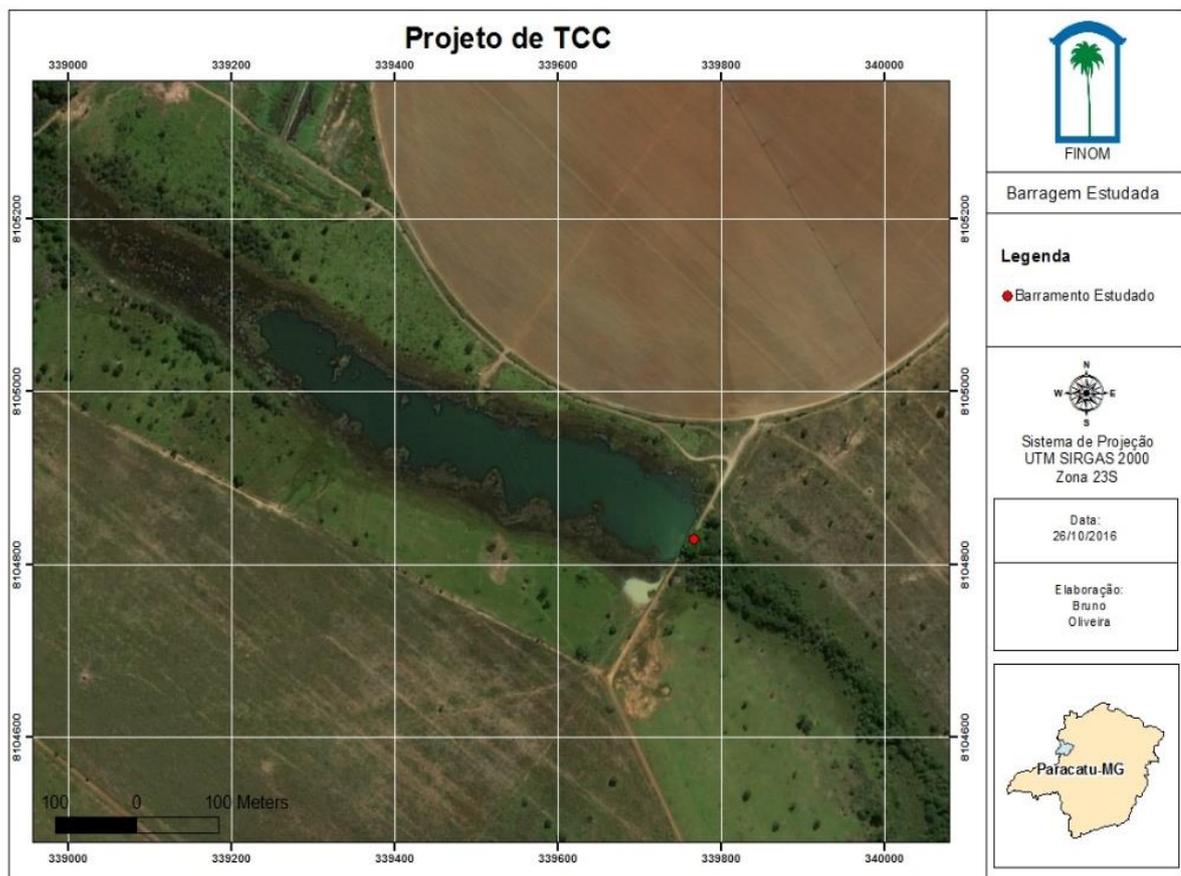
Após o caminhamento em campo, observou-se que a área de estudo corresponde a áreas planas com espessas camadas de coberturas ferruginosas, desta forma, não foi encontrado nenhum tipo de afloramento de rocha. Essa característica dificulta a localização exata da unidade geológica que a área de estudo está inserida.

3. ANÁLISE ESPECÍFICA

3.1. Área de estudos

A barragem estudada no presente trabalho está localizada no interior de uma propriedade rural no município de Paracatu/MG. A figura 12 apresenta a área da barragem através de imagem de satélite.

Figura 12 – barramento estudado

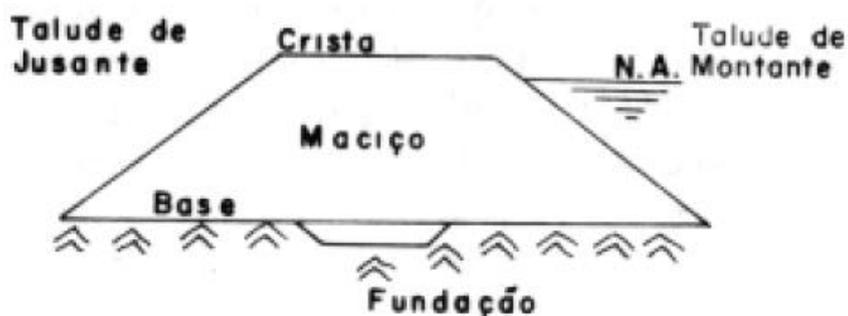


Fonte: O Autor

3.2. Características da Barragem

A figura 13 a seguir apresenta os principais elementos de uma barragem:

Figura 13 – principais elementos de uma barragem



Fonte: Abrao (1987)

Segundo Abrao (1987) as barragens podem ser classificadas em diferentes tipos, de acordo com o seu objetivo, seu projeto hidráulico e os tipos de materiais empregados na sua construção. Com relação a este aspecto, as barragens podem ser classificadas em:

- Concreto
- Terra
- Enrocamento

As barragens de concreto, segundo Bhanbhro (2014) consiste em uma barragem que possui mais resistência e menor custo de manutenção. Esse tipo de barramento pode ser construído em qualquer lugar, porém sua altura é limitada pela resistência das fundações.

As barragens de terra têm como principal objetivo o armazenamento de água para irrigação, sendo algumas estruturas de tamanho considerável. Os métodos utilizados antigamente eram de projetos empíricos com resultados em literaturas de vários registros de rompimentos, rupturas e acidentes dessas barragens. A partir do século XX que surgiram os primeiros procedimentos racionais para projeto dessas obras. Com a evolução de técnicas de construções de barragens atualmente permite-se construções com mais de 150 metros de altura.

De acordo com o mesmo autor, as barragens de terras normalmente são obras elementares para qualquer tipo de fundação, desde rochas compactas a sedimentos

inconsolidados. Existem uma certa variabilidade no tipo de barragem de terra, que poderá ser homogênea ou zonada.

- Homogênea – Composta de uma única espécie de material, excluindo-se a proteção do talude. O material de ser suficientemente impermeável, para formar uma barreira adequada contra a água, e os taludes precisam ser relativamente suaves, para uma estabilidade adequada.
- Zonada – Consiste em uma barragem representada com um núcleo central impermeável, envolvido por zonas de materiais consideravelmente mais permeáveis, zonas essas que suportam e protegem o núcleo. As zonas permeáveis consistem de areia, cascalho ou fragmentos de rochas, ou ainda misturas desses materiais.

De acordo com os estudos de Bhanbhro (2014) e Alsharedah (2016); as barragens de enrocamento são caracterizadas pela utilização de blocos de rochas de tamanho variável e uma membrana impermeável na face de montante. O custo para produção de grandes quantidades de rocha, para construção desse tipo de barragem, somente é econômico em áreas onde o custo do concreto fosse elevado ou onde ocorresse escassez de materiais terrosos e houvesse, ainda, excesso de rocha dura e resistente. Importante lembrar que a rocha de fundação adequada para uma barragem de enrocamento pode não ser aceitável para uma de concreto.

A barragem analisada no presente estudo se trata de uma barragem de terra e segundo informações do proprietário da fazenda, a mesma não possui nenhum projeto de construção. Desta forma, não se tem o conhecimento das suas estruturas ou do seu enrocamento basal.

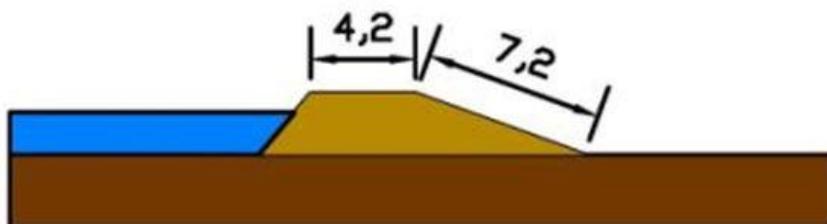
O barramento é antigo e foi construído por antigos proprietários. Não foi apresentado nenhum tipo de documento de técnicas construtivas do mesmo.

A seguir são apresentadas as características gerais da barragem:

- Tipo: Terra
- Altura: Aproximadamente 06 metros
- Comprimento da Crista: 4,20 metros
- Área do reservatório: Aproximadamente 80.000 m²

A figura 14 apresenta um perfil esquemático da barragem.

Figura 14 – seção esquematizada do barramento



Fonte: O Autor

Também não houve informações do potencial volumétrico da barragem em questão, não podendo desta forma, ter o valor real do volume de água armazenado.

303

Segundo informações do proprietário, uma análise de solo realizada na área da fazenda indicou que o solo possui granulometria de argila a siltico-arenoso, material recomendável para construções de barramento.

4. RESULTADOS

4.1. Análise visual da barragem

A primeira não conformidade observada após a análise visual da barragem diz respeito à ocorrência de desbarrancamento com feições erosivas nos taludes, conforme apresenta a figura 15.

Figura 15 – desbarrancamento com feições erosivas



Fonte: O Autor

Constatou-se também a presença de trincas milimétricas na parte superior da crista. Esta desconformidade não é recomendável, uma vez que pode ocorrer infiltração da água proveniente da chuva. A figura 16 evidencia as trincas presentes no barramento.

Figura 16 – trincas milimétricas na barragem



Fonte: O Autor

Outra não conformidade observada está relacionada com a abundância de vegetação nos taludes da barragem (figura 17). Esta vegetação pode causar descompactação do solo, processo gerado pelo crescimento de raízes, principalmente de vegetação de grande porte.

Figura 17 – vegetação abundante nos taludes



Fonte: O Autor

Constatou-se ainda a presença de formigueiros no talude jusante da barragem (figura 18). Esta não conformidade pode causar a queda de vegetação, criando aberturas (cavidades) e pode acelerar o processo erosivo da barragem.

Figura 18 – presença de formigueiros nos taludes



Fonte: O Autor

Por ultimo, verificou-se que o barramento não possui vertedouro dimensionado para o escoamento de água. Este é feito por manilhas com capacidade baixa de vazão e, desta forma, em períodos chuvosos é comum a diminuição do vão livre entre a crista e o reservatório. A figura 19 evidencia o extravasor de baixa vazão implantada no barramento.

Figura 19 – extravasor de água da barragem



Fonte: O Autor

Como recomendações, é necessário que o proprietário realize a:

- Instalação de réguas linimétricas, as quais deverão ser monitoradas continuamente na estação chuvosa, com o objetivo de controlar o nível de água máximo do reservatório para que não haja um galgamento;
- Supressão da vegetação, não apropriada nos taludes e crista da barragem, e adoção de coberturas vegetais de gramíneas, adequadas para barragens;
- Erradicação de formigueiros, cupinzeiros e eventuais tocas de animais em toda a extensão do barramento;
- Compactação dos pontos de erosões;
- Construção de vertedouros dimensionados por profissional competente;
- Monitoramento da barragem ao longo do tempo, com inspeção rotineira realizada por profissional competente.

4.2 Ficha de avaliação

No campo, após a análise visual foi preenchida a ficha de avaliação. A tabela 1 apresenta as vulnerabilidades encontradas nas estruturas e adjacências do barramento, informadas na ficha.

Tabela 1 – resultados da ficha de avaliação

LOCALIZAÇÃO	SITUAÇÃO						MAGNITUDE		
	NA	NE	PV	NI	I	P	M	G	
TALUDE MONTANTE									
Erosões	X								
Escorregamento	X								
Rachaduras/afundamentos									
Arvores e arbustos			X			X			
Erosão nos encontros de ombreiras	X								
Canaletas quebradas ou obstruídas	X					X			
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais			X						
Sinais de Movimentos	X								
COROAMENTO									
Erosões			X			X			
Rachaduras			X		X				

Falta de Revestimento	X								
Falha no Revestimento	X								
Afundamento e buracos	X								
Arvores e Arbustos	X								
Defeito na Drenagem	X								
Defeito no meio-fio	X								
Ameaça de transbordamento da barragem						X			
TALUDE JUSANTE	NA	NE	PV	NI	I	P	M	G	
Erosões			X			X			
Escorregamento	X								
Rachaduras	X								
Falhas na proteção granular	X								
Falha na proteção vegetal	X								
Afundamentos e buracos	X								
Árvores e arbustos			X						X
Erosão nos encontros das ombreiras	X								
Canaletas quebradas ou obstruídas	X								
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais			X				X		
Sinais de movimento	X								
Sinais de fuga d'água ou área úmida	X								
Carreamento de materiais na água dos drenos	X								
REGIÃO A JUSANTE	NA	NE	PV	NI	I	P	M	G	
Construções irregulares próximas ao rio	X								
Fuga d'água	X								
Erosão nas ombreiras	X								
Árvores e arbustos na faixa de 10m da barragem			X						X

Legenda:

Situação

NA – Este Item não se Aplica; NE – Anomalia não Existente; PV – Anomalia Constatada pela Primeira Vez; DS – Anomalia Desapareceu; DI – Anomalia Diminuiu; PC – Anomalia Permaneceu Constante; AU – Anomalia Aumentou; NI – Item Não Inspeccionado.

Magnitude

I – Insignificante; P – Pequena; M – Média; G – Grande.

Nível de Perigo

0 – Nenhum; 1 – Atenção; 2 – Alerta; 3 – Emergência.

5. CONCLUSÃO

Foi possível constatar que a barragem analisada apresenta alguns fatores que a deixa vulnerável, fato que pode vir a comprometer a sua segurança e estabilidade. Dessa forma, é necessário que o proprietário da fazenda execute as recomendações explanadas neste estudo, como forma preventiva, para evitar acidentes principalmente relacionados ao seu rompimento. Conforme mencionado, o rompimento de barragens acarreta prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, P.C. Deposição de rejeitos de mineração no Brasil. In: Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Deposição de Resíduos Industriais e de Mineração. Anais. Pp 333-349. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT NBR 13028, de 14 de novembro de 2017. Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). Mineração – Elaboração e apresentação de projetos de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Alsharedah, Y. A. *Slope Stability Enhancement of an Upstream Tailings Dam: Laboratory Testing and Numerical Modelling* (Dissertation of Master). Program in Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario, Ontario, Canada, 146p. 2015.

ANA. *Relatório de segurança de barragens*. Brasília: Agência Nacional de águas, 229p. Recuperado de <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio---anual---de---seguranca---de--->

barragem/rsb---2016/relatorio---de---seguranca---de---barragens---2016.pdf. 2017.

Avila, J.P. e Sawaya, M. As barragens de rejeitos no Brasil: Sua evolução nos últimos anos. In De Mello, F. M. & Piasentin, C. (Orgs). *História das barragens do Brasil: Séc.XIX, Séc XX e Séc. XXI*. (1ª ed., s/cap., pp.369---395). Rio de Janeiro, Brasil: CBDB, 524p. 2011.

Bhanbhro, R. *Mechanical Properties of Tailings: Basic Description of a Tailings Material from Sweden* (Tese de Doutorado). Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Lulea University of Technology, Lulea, Suecia,53p. 2014.

Dardenne M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. *In*: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho & D.A. Campos. 2000. Tectonic evolution of South America. 31 st International Geological Congress, Rio de Janeiro, SBG. p. 231-263.

COSTA, W. D. Geologia de barragens. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

EPA Desing and evaluation of tailings dams: technical report. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA, 59 p. 1994.

FRUTUOSO, A. DA SILVA. Notas de aula. 2017.

IBM (1995). *Tailings dams design*, Boletim 30. Recuperado de <https://ibm.gov.in/writereaddata/files/09292016112123Tailings%20dam%20design.pdf>.

RIBEIRO, V. Q. F. Proposta de metodologia para avaliação dos efeitos de rupturas de estruturas de disposição de rejeitos. Belo Horizonte, 267 p. Dissertação de Mestrado - UFMG, 2015.

SILVA, W. P. Estudo do potencial de liquefação estática de uma barragem de rejeito alteada para montante aplicando a metodologia de Olson (2001). Ouro Preto, 120 p. Dissertação de Mestrado - UFOP, 2010.

VIEIRA JUNIOR, L. P. SALLES, M. F. A tecnologia do concreto aplicada ao projeto de barragens. Melhores práticas tecnologia do concreto. *Concreto & construções*. Ano XXXIX nº 63, 2011, 15-23p.

OLIVEIRA, G. D. Reconstrução Paleoambiental e Químioestratigrafia dos Carbonatos Hospedeiros do depósito de zinco silicatado de Vazante, MG. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 95p. 2013.