

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Proposta para Tratamento e Controle de Umidade e Surgência em uma Barragem de Terra

Camila Fernanda Lacerda Vieira

Engenheira Civil, VALE, Belo Horizonte, Brasil, camila.lacerda.vieira@gmail.com

Geydson Valeriotte Lopes Alves

Engenheiro Civil, VALE, Ouro Branco, Brasil, geydson.alves@vale.com

Felipe Gobbi

Engenheiro Civil, FGS, Porto Alegre, Brasil (felipe@fgs.eng.br)

Ricardo José Wink de Menezes

Engenheiro Civil, FGS, Porto Alegre, Brasil (ricardo@fgs.eng.br)

Anderson Fonini

Engenheiro Civil, FGS, Porto Alegre, Brasil (fonini@fgs.eng.br)

RESUMO: Umidade e surgência podem ser observadas durante uma inspeção visual. Um problema de surgência em barragem de terra, se não tratado, pode resultar até em rompimento da estrutura. Para tratar e controlar alguns pontos de umidade e surgência observados no maciço e no canal extravasor em uma barragem de terra, foi proposto a execução de um dreno invertido e a instalação de um medidor de vazão para monitorar os pontos tratados. Foi realizada uma visita em campo identificando os pontos a serem reparados, feito levantamento dos dados e elaborado uma solução levando em consideração a eficácia do dreno assim como a estabilidade da estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem de Terra, Drenagem Interna, Dreno Invertido

ABSTRACT: Moisture and appearance of water flow that occurs through earth dams may be observed during a visual inspection. A problem with water flow and seepage in an earth dam, if left untreated, can even result in a dam's failure. To treat and control some points of humidity and appearance of water flow in an earth dam, it was proposed to perform an inverted drain and the installation of a flow meter to monitor the treated points. A field visit was carried out identifying the points to be repaired, data were collected, and a solution was elaborated taking into consideration the drainage efficiency as well as the dam's stability.

KEYWORDS: Earth Dam, Internal Drain, Inverted Drain

1 Introdução

Diante das condições topográficas, dos vales abertos e da disponibilidade de material terroso, as barragens de terra são os tipos de barragem mais comuns construídas no Brasil (MASSAD, 2010).

As principais vantagens envolvidas na utilização de terra para construção de barragens podem ser citadas: são utilizados materiais naturais locais; os procedimentos de projeto são diretos; são necessários equipamentos para manutenção e inspeção comparativamente pequenos; os requisitos para a execução da fundação são menos rigorosos em relação a outros tipos de barragens; a ampla área de apoio de uma barragem de terra distribui a carga uniformemente sobre a fundação e resistem melhor ao recalque e a outras movimentações do que às estruturas mais rígidas. (CONTRERAS, 2010)

No entanto, também existem desvantagens tais como: um aterro pode ser facilmente danificado ou destruído



pela ação da água. Assim, um vertedouro e proteção adequada a montante são essenciais para qualquer barragem de terra. Projetar e construir vertedouros adequados é geralmente a parte técnica mais difícil de qualquer obra de construção de barragem. Caso, durante a construção, não houver um controle adequado de compactação, não será possível garantir a sua integridade estrutural, oferecendo assim, níveis de percolação indesejados. (CONTRERAS, 2010)

As barragens de terra exigem manutenção contínua para evitar erosão, crescimento de sua proteção vegetal, subsidência, danos e infiltração de animais e insetos como formigas e cupins.

Nota-se que as primeiras barragens de terra foram construídas com base no princípio de um maciço sólido, impermeável ou não, barrando um curso d'água. Quando construídos adequadamente, esses aterros homogêneos podem ser baratos e confiáveis. Eles são, no entanto, geralmente inferiores ao método moderno de construção em zonas nas quais um aterro é construído em três seções: seção a montante e relativamente impermeável; núcleo central de material altamente impermeável; e seção a jusante de material mais pobre e grosseiro que permite uma drenagem mais livre da estrutura e que, por seu peso, ancora o aterro completamente à fundação e evita o deslizamento e outros movimentos.

Barragens de terra são passíveis de experimentar percolação, que pode ocorrer pelo aterro ou através das formações geológicas. Como resultado, pontos com indicação de umidade e surgência podem ser identificados nas faces dos taludes de jusante de um barramento.

Essas anomalias geralmente são associadas a deficiências estruturais ou da etapa da construção no contato com a fundação e contato das ombreiras com o terreno natural, obras de impermeabilização não eficazes, colmatagem da drenagem interna, etc. Nestes casos, a água flui em caminhos concentrados e surge a jusante criando fluxos.

A ocorrência de surgência nos taludes de jusante de uma barragem, se não tratada, pode levar à ocorrência de um fenômeno de erosão interna (piping), podendo vir a causar a ruptura da barragem. Portanto, a identificação, o controle e o tratamento são aspectos fundamentais na inspeção e no monitoramento para garantir a estabilidade da estrutura.

A necessidade de reduzir o risco de ruptura leva a soluções, muitas vezes dispendiosas, que são planejadas e executadas, em alguns casos, sem uma compreensão completa do problema. A falta de investigação e monitoramento apropriados dessas surgências podem resultar em reparos não eficazes no controle ou na redução das vazões.

Este artigo apresenta uma proposta de tratamento e controle da porção superior de uma talude de jusante de uma barragem de terra onde foram observados surgência, umidade e cicatrizes de movimentações. Adicionalmente é apresentada a proposta de um pequeno aterro de material pétreo na face deste talude, além da instalação de um medidor de vazão no final do dreno.

2 Descrição da Estrutura

A implantação do empreendimento denominado neste artigo Barragem de Terra teve como principal finalidade a contenção de sólidos e a clarificação das águas provenientes das cavas de exploração, pilhas de estéril e estradas situadas na bacia de contribuição.

O barramento, em sua primeira fase, foi implantado através de maciço de terra, de seção homogênea, com aproximadamente 4,60m de altura. Certo tempo depois, procedeu-se o alteamento em cerca de 6,00m, tendo por diretriz a linha central da barragem. Assim, o maciço inicialmente construído foi envelopado pelo alteamento, conduzindo-o a uma altura final de aproximadamente 10,80m sob a crista, conectado a um extravasor constituído por caixa de acesso lateral, bueiro duplo tubular de concreto com diâmetro nominal de 1,0m e canal de descarga com 55,72m de comprimento, em rampa, com inclinações de fundo diferenciadas e



seção retangular.

Houve em seguida a interseção entre o canal de descarga e o maciço da barragem com a remoção do bueiro tubular e a implantação de galeria unicelular em concreto armado e seção retangular.

2.1 Drenagem Interna

Existe na estrutura a presença de um tapete drenante (inferior) sobre a face do talude de jusante do dique inicial, estendendo-se sobre a crista e conectando ao talude de montante. O limite de montante do tapete não foi prorrogado até o talude de montante.

Foram identificadas as características do tapete drenante e também algumas condições quanto à geometria da estrutura. A rede de drenagem interna é constituída por um filtro subhorizontal com inclinação de aproximadamente 1V:3H nos seus primeiros 18,50m e, posteriormente horizontalizado até alcançar o dreno de pé em enrocamento rochoso composto por pedras graúdas; na zona da barragem circunjacente ao leito do antigo córrego foi detectado o tapete drenante pertinente ao maciço inicial com espessura de 1,30m, que a uma distância de aproximadamente 12,0m a partir do eixo foi conectado ao filtro subhorizontal do alteamento. Tanto o tapete quanto o filtro são constituídos por fragmentos de hematita nas granulações grossa (fração pedregulhos), média e fina (frações areia e silte); com base na análise das investigações realizadas, pode-se observar que o tapete drenante (inferior) foi apoiado sobre o maciço inicial, com espessura variando de 0,6 m na porção da crista do maciço inicial e chegando a espessura de 1,9 m na base do talude de jusante (maciço inicial). As investigações indicaram que o tapete drenante se prolonga até a face / base do talude de jusante.

Quando do 2º alteamento do maciço, foi escavada a face do talude jusante do 1º alteamento e então implantado o tapete drenante de areia (superior), com espessura de 0,3 m na porção inclinada no talude até próximo a crista do 1º alteamento, onde o filtro é defletido na vertical (tipo chaminé), com largura de 0,6 m até cerca de 0,5 m da crista.

3 Descrição do problema

Durante inspeções de campo realizadas periodicamente na estrutura pôde-se identificar cicatrizes e umidade presente no talude e a existência de uma surgência no canal extravasor conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Local com indícios de movimentação e com presença de umidade e surgência no canal extravasor.

De maneira geral, mesmo sendo identificadas algumas intervenções, aparentemente a estrutura não apresentava sistema de drenagem interna efetivo. Essa constatação foi verificada através da interpretação das observações realizadas nas inspeções de rotina.



Na porção antiga do extravasor, a qual foi reaproveitada, foi verificada uma surgência ativa de água junto ao blocos de rocha dispostos no fundo do extravasor. Essa surgência é constante e não é sensível aos períodos de estiagem. No talude existem cicatrizes que remetem a movimentações do maciço. Esses indícios são visíveis apenas na face do talude e possuem características de movimentações superficiais.

4 Solução Proposta

A solução proposta para o local visa garantir a funcionalidade do dreno existente além de promover a estabilização superficial do talude onde foram verificados indícios de movimentações. A solução não tem como objetivo a elevação do fator de segurança global da barragem. Diante de uma possível hipótese de colmatagem da drenagem interna existente, a solução para essa estrutura foi a execução de um dreno invertido. A execução consiste na escavação do dreno existente, aplicação de uma manta geotêxtil, disposição de um tubo de PEAD perfurado de 100mm de diâmetro e preenchimento da vala com brita 2.

Em relação ao comprimento do dreno original, o mesmo será alongado através de duas derivações, ambas para montante do barramento. Uma das derivações deverá ser executada junto a parede do extravasor e a outra adentrando a área onde há indícios de movimentações superficiais. Essas derivações serão interligadas através de uma vala que terá função dúbia: integração e destinação dos fluxos coletados e fundação do muro de enrocamento. Com exceção do aterro, todas as estruturas drenantes deverão ser compostas por geotêxtil, brita 2 e tubo de PEAD perfurado. O aterro será executado com o propósito de promover a estabilização superficial do solo que apresenta movimentações.

No canal extravasor, onde há surgência de água, foi prevista a demolição do fundo do canal e a execução de um dreno transversal. Este dreno deverá ser executado em uma vala de 40cm (L) x 20 cm (H) que contará com a mesma estrutura dos drenos: geotêxtil, material filtrante e tubo de PEAD perfurado. Este será interligado na derivação do dreno que será executada na lateral do extravasor.

Ao final do dreno, antes do mesmo atingir o curso d'água, deverá ser executada uma estrutura de concreto que comportará um medidor de vazão. Esse medidor de vazão foi estimado para medir fluxos de 1,5 a 110 l/s.

A Figura 2 apresenta a planta baixa se escavação e também após a execução do aterro.

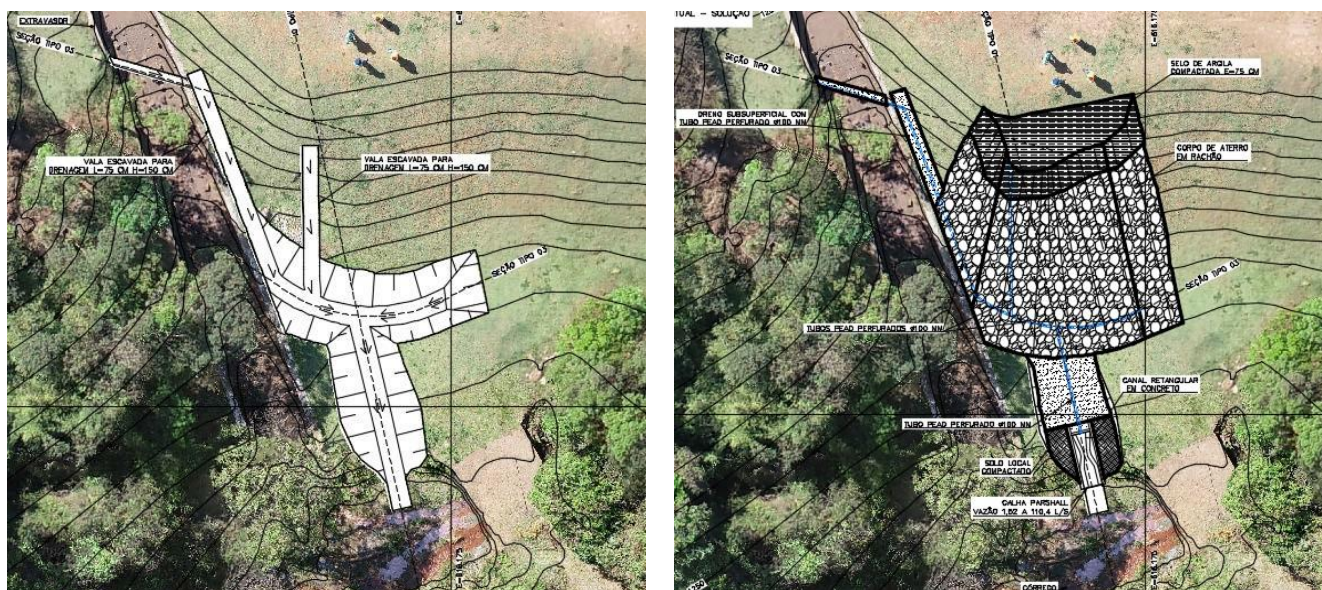


Figura 2. Planta baixa da solução: escavação e aterro.



4.1 Dimensionamento Geotécnico

Para verificar a condição de estabilidade da solução projetada foram realizadas análises de estabilidade referentes a condição atual, situação de obra quando for executada a escavação da fundação (chave granular) do enrocamento e, por fim, da solução final.

Para a realização das análises de estabilidade foram obtidas seções geométricas através do levantamento topográfico disponibilizado. Os materiais geotécnicos, assim como os parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade foram obtidos através de ensaios de laboratório e estão apresentados na Tabela 1. A leitura dos instrumentos de auscultação presentes no maciço da barragem serviram como base para a determinação da posição da linha freática. A Figura 3 apresenta os resultados referentes as análises de estabilidade realizadas.

Tabela 1. Parâmetros geológico-geotécnicos utilizados.

ESTRUT.	MATERIAL	PESO ESP. TOTAL (kN/m ³)	RESISTÊNCIA A AO CISCAL. c' Φ' (°) (kPa)	COEFIC. PERM. (kx) (m/s)	K _Y /K _X
Aterro	Silte arenoso, argiloso	19,1	5,0 32,5	1,15 x 10 ⁻⁷	1/3
Tapete Drenante	Pedregulhos	20,0	0 40,0	5,2 x 10 ⁻⁴	1/1
Rip-rap e saída dreno	Enrocamento / pedra de mão	23,0	0 38,0	1,0 x 10 ⁻¹	1/1

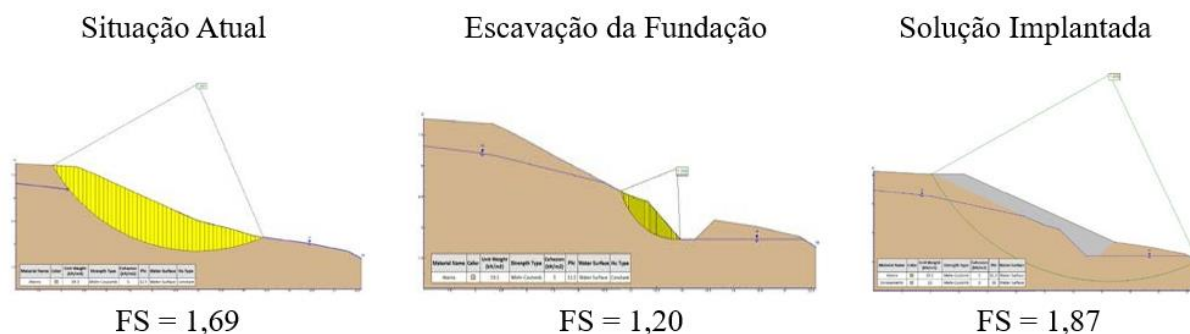


Figura 3. Resultados das análises de estabilidade realizadas.

Analisando os resultados, tomando como base a apenas a condição de estabilidade local, percebe-se que o fator de segurança em relação a condição atual será elevado. Todavia, também verifica-se que o processo executivo irá requerer cuidados, visto a redução temporária no fator de segurança. O nível de cuidado deverá ser ainda maior porque a fundação será executada junto a saia do aterro, local onde normalmente o índice de compactação do material é menor quando comparado ao restante. Logo, os parâmetros de resistência de campo podem ser inferiores àqueles utilizados nas análises de estabilidade.

4.2 Dimensionamento do Geotêxtil



Como o dreno será estendido até o barramento, o mesmo deverá transpor, supostamente, o material que compõe o tapete drenante, o terreno natural e também solos de granulometria fina que compõem o barramento.

O dreno que será implantado consistirá em uma estrutura composta, onde na interface com o terreno será utilizado um geotêxtil o qual envolverá materiais pétreos com elevados coeficientes de permeabilidade.

Para que o geotêxtil funcione corretamente, o mesmo foi dimensionado a fim de não permitir a passagem das partículas finas do solo, porém permitindo a passagem de água. O dimensionamento foi realizado tomando como solo que circunda o dreno aquele descrito como componente do barramento, silte e argila arenosa. O método de dimensionamento utilizado foi CFGG - Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas.

Assim, foram adotados os parâmetros para o solo de aterro conforme ensaios de caracterização, onde o d_{85} é cerca de $73\mu\text{m}$ e o coeficiente de permeabilidade é da ordem de 10^{-5} cm/s .

Inicialmente foi realizada a verificação mediante o critério de filtração, o qual estabelece que o produto entre um coeficiente A (função da espessura do geotêxtil e da função da estrutura hidráulica) e o coeficiente de permeabilidade do solo deve ser inferior a permeabilidade do geotêxtil.

Posteriormente foi verificado o critério de retenção de partículas. Este correlaciona o critério de retenção “C” (função do produto entre fatores granulométricos, de adensamento, de função e hidráulico) com o diâmetro referente as partículas de solo (d_{85}). A magnitude obtida deverá ser inferior a abertura do geotêxtil.

Logo, o geotêxtil adotado para realizar a transição entre o terreno natural e o novo dreno deverá ter abertura de filtração entorno de $60 \mu\text{m}$, permeabilidade superior $3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ e espessura de $3,0\text{mm}$.

5 Conclusão

Esse artigo apresenta aspectos relativos a um projeto conceitual para o prolongamento do dreno invertido e a proteção superficial do talude nas proximidades do extravasor de uma estrutura geotécnica aqui denominada Barragem de Terra. As soluções propostas têm como objetivo eliminar a surgência de água existente no fundo do extravasor, captar e monitorar possíveis fluxos sub-superficiais onde o talude do barramento apresenta indícios de rupturas e, por fim eliminar riscos de novas movimentações superficiais.

Essas soluções elevarão o fator de segurança local, todavia, devido a região limitada de aplicação e também pela sua esbeltez, não promoverão alterações nos fatores de segurança global.

Ressalta-se que a execução da solução proposta deve ser realizada em etapas, de jusante para montante. A sequência indicada é: reexecução do dreno existente, execução da fundação do muro de rachão, implantação do dreno lateral ao extravasor, implantação do outro ramal drenante e, por fim, execução do aterro de enrocamento. Deverão ser destinados cuidados especiais para que as ligações entre as etapas dos drenos não envolvam solo, para não gerar problemas no funcionamento do sistema drenante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2014. 256 páginas.
- Agência Nacional das Águas. (2016). Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens, volumes III e V. Brasília.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Bishop, A. W., Morgenstern, N. (1960). Stability coefficients for earth slopes. *Géotechnique*, P. 129-150.

Contreras, I.A.; Hernandez, S.H. (2010) Techniques for prevention and detection of leakage in dams and reservoirs. Disponível em: <http://ussdams.com/proceedings/2010Proc/785-814.pdf> (Acesso em 07/10/2019).

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Álbum De Projetos-Tipo De Dispositivos De Drenagem. Rio de Janeiro, 2006, 103p.

Massad, F. (2010) Obras de Terra: curso básico de geotecnia / Faíçal Massad – 2 ed. – São Paulo – Oficina de Textos. 215 p.

Vermatti, J. C. (2004). Manual Brasileiro de Geossintéticos. Editora Edgard Blucher. 413p.