

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES ATRAVÉS DE MÉTODOS RIGOROSOS E NÃO RIGOROSOS.

Isabelle Silva Antunes (1); Anny Virgínia Souza de Lima (2); Jucimara Cardoso da Silva (3); Rita Flávia Regis Queiroz (4); Carina Silvani (5).

1 Universidade Federal de Campina Grande, isabelle.s.antunes@gmail.com

2 Universidade Federal de Campina Grande, annyvirginias@gmail.com

3 Universidade Federal de Campina Grande, jucimara.engenhariacivil@gmail.com

4 Universidade Federal de Campina Grande, flavia_frq@hotmail.com

5 Universidade Federal de Campina Grande, carinasilvani@hotmail.com

Introdução

As barragens de terra constituem umas das mais antigas realizações humanas, sendo estas uma obra de infraestrutura de extrema importância para o desenvolvimento humano devido as suas diversas finalidades. Logo, considerando-se de grande importância no âmbito social, econômico e ambiental das obras de barragens, torna-se cada vez mais relevante o estudo das características envolvidas no seu desempenho. Este pode ser avaliado, em função de sua segurança, a partir da análise de estabilidade de taludes. Os métodos mais tradicionalmente utilizados para este fim são os Métodos de Equilíbrio Limite (MEL), que tem como fundamento a relação entre as forças resistentes e as forças atuantes de um dado material. Para que haja estabilidade, esta relação deve ser igual ou superior a 1. Existem vários métodos de equilíbrio limite desenvolvidos. Dentre eles pode-se citar, Fellenius (1927), Bishop (1955), Morgenstern e Price (1965), Spencer (1967), Janbu (1973) e Bishop Simplificado (1995). Segundo BRAJA (2014), estes métodos são bastante similares. Os diferentes métodos apresentados na literatura se distinguem entre si pelas hipóteses simplificadoras que cada um adota. Sendo eles segmentados em métodos rigorosos e não rigorosos. Conforme DUCAN (1996), processos de análise que atendem a todas as equações de equilíbrio, força e momentos, são ditos métodos rigorosos e as hipóteses adotadas para sua determinação não tem grande influência nos resultados, ao contrário do que pode acontecer com métodos que não satisfazem todas as equações de equilíbrio estático, que correspondem aos métodos não rigorosos. As diferenças entre eles dependem de quais equações estáticas estão sendo consideradas e satisfeitas; quais forças entre as fatias são incluídas e qual é a relação considerada entre as forças cisalhante e normal entre as fatias. Estes métodos apesar de altamente difundidos e grande utilização, possuem limitações quanto à sua capacidade de considerar as incertezas associadas às variabilidades dos parâmetros de resistência dos materiais componentes envolvidos nas análises. Visando a compreensão dos diferentes métodos, apresenta-se neste trabalho comparações entre análises determinísticas dos métodos rigorosos, onde temos os métodos de Spencer e Morgenstern-Price e não rigorosos, sendo eles, Fellenius, Bishop e Janbu para determinação do coeficiente de segurança de uma barragem que já existe a partir de parâmetros conservadores compilados a literatura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho será avaliar o desempenho dos métodos de análise da estabilidade de taludes, comparando os métodos rigorosos e não rigorosos, para verificar a segurança dos taludes da barragem em estudo. Faz-se necessário verificar se esses métodos correspondem às expectativas, a fim de obter fatores de segurança fidedignos.

Metodologia

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

Para o presente trabalho foram utilizados dados disponíveis na literatura para estimativa dos parâmetros para a construção de uma barragem. O estudo baseou-se na necessidade de equiparar os principais métodos de análise de estabilidade de taludes para superfícies de ruptura em barragens de terra, tendo como finalidade principal buscar o método que estime um melhor fator de segurança. Os métodos utilizados para análise da estabilidade dos taludes da barragem foram: Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer e Morgenstern-Price. Os cálculos realizados foram realizados com as ferramentas do software GeoSlope, além dos recursos de desenho técnico oferecidos pelo AutoCAD, com a finalidade de fornecer dados geométricos necessários como dados de entrada dos métodos avaliados.

Dados da barragem

A barragem em estudo é a do Açude Poções que está situada no riacho Mulungu, no município de Monteiro, estado da Paraíba, situada a aproximadamente 15 km a jusante da sede municipal. A cidade de Monteiro dista 164 km de Campina Grande e 292 km de João Pessoa. A finalidade principal do açude é o aproveitamento do potencial hídrico para irrigação. A bacia hidrográfica do açude tem 656 km² e a região apresenta uma precipitação média de 588 mm. O barramento forma um lago que cobre uma área com 773,41 ha e acumula um volume de 29.861.562 m³.

Dados do solo

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando-se dados, advindos da literatura, que apresentaram características físicas do solo. Foram utilizados para os cálculos dos fatores de segurança, dados de coesão, ângulo de atrito, peso específico do solo do corpo da barragem e da fundação da mesma. Para todos os casos admitiu-se o valor do peso específico do solo da barragem igual a 17 kN/m³, visto que esse valor é o mais comum para a maior parte dos solos. Como a composição geológica da área é caracterizada pela ocorrência de rochas migmatíticas gnáissicas, cobertas por solo residual de pequena espessura adotou-se uma coesão, para o solo do corpo da barragem, igual 20 kPa e ângulo de atrito igual a 26°. E para fundação o peso específico adotado foi de 18 kN/m³. Devido a sua composição de areia, sua coesão e ângulo de atrito utilizados foram, respectivamente, 0 e 22°. É importante ressaltar esse valor de coesão para a fundação por ser uma areia com alta permeabilidade e ter um comportamento não drenado, o que resulta numa coesão igual a zero.

Resultados e discussões

Os resultados obtidos foram os fatores de segurança e a superfície de ruptura para a barragem, variando os métodos de estabilidade de taludes, em rigorosos e não rigorosos, obtidos através do GeoSlope 2012. As condições analisadas foram no final de construção, neste caso há a simulação do aterro construído, antes que se faça o enchimento do reservatório, e para o caso de operação normal a análise foi feita com a água no nível máximo normal, sem poro pressões.

Os fatores de segurança encontrados através dos métodos não rigorosos para a condição de final de construção e operação normal foram, respectivamente:

- Fellenius: 1,886 e 1,303;
- Janbu: 1,827 e 1,222;
- Bishop: 2,087 e 1,185;

E os fatores de segurança encontrados através dos métodos rigorosos para a condição de final de construção e operação normal foram, respectivamente:

- Morgenster-Price: 2,081 e 1,638;
- Spencer: 2,081 e 1,638;

Conforme dissertou Silva (2006) uma vez que os parâmetros através dos quais se obtém os fatores de segurança apresentam incertezas e estão sujeitos a variações, para garantir a estabilidade de um talude são necessários fatores de segurança maiores que 1. Logo, o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens do Ministério da Integração recomenda para a condição de término da construção, antes do enchimento do reservatório, um fator de segurança entre 1,25 e 1,3 para os taludes de jusante e montante e para condição de percolação permanente (reservatório cheio) deve ser ter no mínimo um fator de segurança de 1,5 para o talude de jusante.

Fazendo uma análise comparativa dos fatores de segurança encontrados na condição de final da construção, tanto à montante quanto à jusante foram consideravelmente superiores aos obtidos nos métodos não rigorosos de Fellenius e Jambu. Entretanto, em relação à Bishop os mesmos encontram-se bem próximos aos valores dos métodos rigorosos.

Na pesquisa de Torres Filho e Andrade (2015) em que foram feitas análises determinísticas comparando os métodos de Spencer e Bishop, foi possível concluir também a proximidade dos fatores de segurança de Bishop (não rigoroso) e Spencer (método rigoroso). E de acordo com o que também foi analisado por Pereira (2013), que fez uma avaliação de diferentes métodos de estabilidade de taludes em barragens de terra, entre os métodos não rigorosos de Fellenius, Bishop, e Jambu, o mesmo concluiu que Bishop demonstrou possuir a equação da reta melhor ajustada, ou seja, não há uma grande dispersão entre os valores.

Com relação à condição de reservatório cheio, em que foi analisado o fator de segurança somente do talude de jusante, o coeficiente de segurança dos métodos rigorosos de Spencer e Mogenstern Price se mostraram consideravelmente superiores aos não rigorosos, incluindo Bishop. Conforme também pôde ser observado nos resultados de Torres Filho e Andrade (2015), em que Bishop passa ter uma diferença considerável em relação ao método de Spencer, tendo sido mais considerável essa discrepância na presente pesquisa. Os menores valores do coeficiente de segurança nesta condição foram de Bishop, Jambu e Fellenius. Em sua pesquisa Pereira (2013) concluiu que o método de Fellenius dentre os estudados apresentou o pior desempenho com os menores valores do fator de segurança, entretanto contribuindo para a segurança. Pela época de construção da Barragem de Poções, possivelmente a mesma foi calculada pelos métodos não rigorosos, obtendo menores fatores de segurança, contribuindo para a segurança, o que justifica as maiores inclinações nos taludes empregadas.

Conclusões

Conclui-se que a barragem de geometria e dados apresentados é segura, no ponto de vista das análises realizadas. Sendo estas que mostraram condições que superam as recomendadas por norma. Sendo importante ressaltar que os parâmetros estimados para a análise dos taludes foram mínimos, visando a situação mais desfavorável. Assim, uma vez realizado mais ensaios na barragem poderíamos obter parâmetros mais precisos e conseqüentemente obter uma maior economia. Com base nos parâmetros estimados pode-se dizer que a configuração apresentada está superdimensionada e poderia ter seu custo reduzido modificando-se sua geometria. Em virtude do contexto envolvido, visto que a barragem foi construída na década de 70 e ainda hoje se encontra em operação e com os taludes normais, sem quaisquer aspectos de rompimento

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

podemos concluir que os parâmetros que estimamos para o material da fundação bem como para o maciço da barragem se aproximam realmente do que foi usado para essa.

Referências

BRAJA M. Das. Khaled Sobhan. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo – 2015. 8º ed.

DUNCAN, J. M. (1996). **State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 7/July/1996, 577-596

Ministério da Integração Nacional, Secretaria de Infra Estrutura Hídrica. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Departamento de Projetos e obras Hídricas- DPOH, Brasília, DF, 2002.

PEREIRA, T. dos S. **Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes em Barragens de Terra**. Dissertação de Mestrado Engenharia Agrícola, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

SILVA, E. M. **Análise de Estabilidade de Taludes em solos de alteração de rochas metamórficas do quadrilátero ferrífero**. Dissertação de Mestrado Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

TORRES FILHO, R.J. DE A.; DE ANDRADE, V.C. **Comparação entre Análises Determinísticas e Probabilísticas de Estabilidade de Taludes em Barragens: Estudo de Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Pará, Curitiba, 2015.