

METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DE FILTRO-DRENANTES EM BARRAGENS DE ATERRO COM BASE NA DISTRIBUIÇÃO DE VAZIOS

BRUNA TAYNA MACEDO FIDELES^{1*}, RENNAN LIBERATO RODRIGUES²; ANTONIO ANDERSON FONTENELE ARAÚJO³; VANDA TEREZA COSTA MALVEIRA⁴

¹Graduanda em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, bolsista PBU, brunatayna_eng@hotmail.com

²Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, bolsista PBU, rennanliberato@outlook.com

³Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral – CE, bolsista CNPq, anderson_font@hotmail.com

⁴Professora Doutora, UVA, Sobral-CE, tmalveira@hotmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Estudos sobre dimensionamento de sistemas filtro-drenantes para solos de barragem são essenciais para a segurança, tanto da estrutura em si quanto da população que ocupa a jusante da barragem. Quando esses sistemas se apresentam falhos, seja por funcionamento indevido ou por mal dimensionamento, a barragem apresenta manifestações patológicas que, se não forem devidamente reparadas, podem levar a ruína de tal estrutura. Com base em dados disponíveis sobre o histórico de incidentes em barragens construídas entre os séculos 19 e 20, e cujos mecanismos de falha são conhecidos, observou-se que erosões internas são responsáveis por cerca de metade das rupturas observadas, juntando-se aos galgamentos como principais causas. O presente trabalho apresenta um estudo metodológico de dimensionamento de filtros-drenantes de uma barragem de aterro com base na distribuição de vazios. As curvas adotadas foram obtidas a partir de granulometrias de solos granulares para aplicação dos métodos de Pimenta (2013) e Musso & Federico (1983). Os resultados apresentam a distribuição de vazios ideal para que o carregamento de partículas de solo do aterro da barragem seja evitado, minimizando os efeitos da erosão interna e, assim, livrando as estruturas de uma possível ruptura.

PALAVRAS-CHAVE: percolação, erosão interna, distribuição de vazios.

ASSESSMENT PROCESS APPLIED TO FILTER OF EMBANKMENTS ACCORDING TO VOID DISTRIBUTION

ABSTRACT: Studies of the systems internal filter-drainage for embankments are essential for the structure safety and the existing population at the downstream of the dam. If these systems fail, or due to bad performance or due to design mistakes, anomalies rises into or around the downstream slope and it is possible occur accidents or incidents with the structure. According to available data of historical incidents in some dams built between nineteen and twenty centuries, and whose failure mechanisms are known, it was observed that internal erosion are responsible for about half of the accidents, followed by the overtopping of the dams. This work presents an assessment process applied to filter-drainage design of embankments based on empty distribution. Curves of granular soil applied to internal drainage are used to simulate the methods used by Pimenta (2013), and Musso and Federico (1983). The results show the optimal distribution of voids that granted the non-carrying of the soil particles into the embankment, what reduce the possibility of the internal erosion.

KEYWORDS: seepage, internal erosion, void distribution

INTRODUÇÃO

São muitas as causas que podem acarretar uma ruptura em barragens, como: galgamentos, erosão interna, instabilidade sísmica, entre outras, e o correto planejamento na fase de projeto, bem como no dimensionamento de suas estruturas e sua execução são importantes para manter a estrutura funcionando corretamente. Dentre as causas citadas, este trabalho ressalta a importância de se estudar a erosão interna em barragens, pois segundo Pimenta (2013) erosões internas são responsáveis por

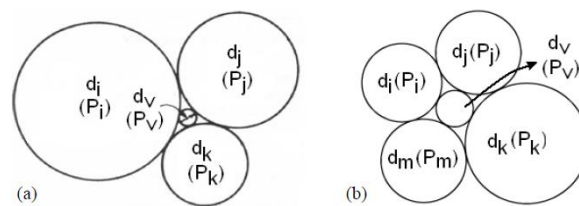
cerca de metade das rupturas já registradas, juntamente com galgamentos. Fell et al. (2008) destaca que a mesma ocorre quando as partículas de um solo, no maciço de uma barragem ou em sua fundação, são carregadas pelo fluxo da percolação existente. Com isso torna-se necessário o estudo das estruturas filtro-drenantes dessas obras geotécnicas, pois fazem um papel primordial na segurança das mesmas.

Segundo Locke e Indraratna (2000), em engenharia geotécnica, filtros granulares são utilizados para proteger os solos da erosão devido a infiltração. Quando a água flui através de um solo, partículas finas podem ser carregadas pela água, conduzindo à erosão interna e uma eventual falha. O mesmo ainda afirma que um filtro corretamente projetado irá reter as partículas de solo soltas, evitando assim o *piping*, permitindo que a água possa escoar, evitando o acúmulo de altas pressões nos poros internos. Humes (1995) afirma que a porosimetria, ou seja, a distribuição de vazios, que interessa para analisar o processo de filtragem é aquela que determina o diâmetro mínimo que controla a passagem da partícula do material de base. Esse diâmetro define as restrições e não os vazios, constitui um critério de controle da passagem da partícula. Assim, este trabalho apresenta um roteiro metodológico para obter a curva de distribuição de vazios da estrutura filtro-drenante para proteção do maciço de barragens de aterro aplicando a equação de determinação do vazio de controle de acordo com Musso e Federico (1983).

MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com Pimenta (2013), foi Silveira quem mostrou em 1966, estudos para elaboração de curvas de vazio e análise de carregamento para dois diferentes estados, o estado denso (mais compactado) e o estado fofo (menos compactado) mostrados na Figura 1. Será abordada neste estudo a análise de curvas de vazios para o estado denso.

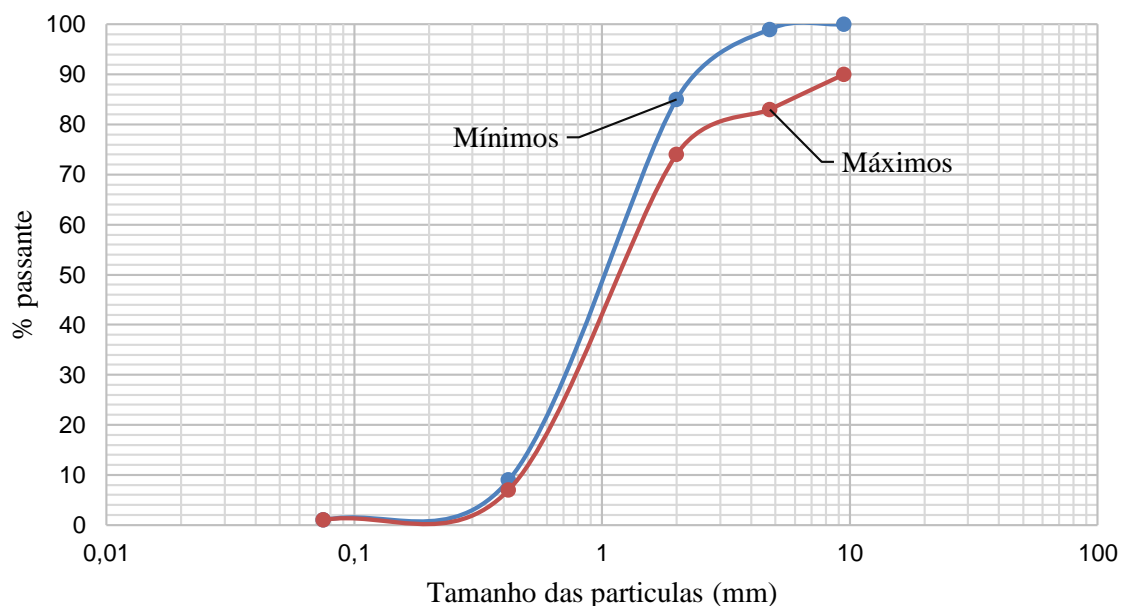
Figura 1. Esquemas de vazios de filtros para os estados (a) mais denso e (b) menos denso adotados por Silveira em 1966.



Fonte: Pimenta (2013)

Pimenta (2013), afirma ainda que foi Terzaghi quem lançou o primeiro critério largamente adotado em projetos de filtros, tendo sido utilizado como base para inúmeros estudos posteriores. Assim, tendo como base esse critério, inicialmente, deve-se obter os dados de ensaios granulométricos da estrutura filtro-drenante, que deve ser uniforme e apresentar menos de 5% de finos, a fim de garantir as características não coesivas para a estrutura. E os dados granulométricos dos materiais que compõe o maciço. Em seguida definir as envoltórias das curvas granulométricas que serão os valores máximos e mínimos das porcentagens passantes de cada peneira utilizada no ensaio de granulometria. Para servir como exemplo de aplicação dessa metodologia, apresenta-se na Figura 2, curvas de areias para filtros de uma barragem de aterro.

Figura 2. Curvas granulométricas de areias para uso em filtros.



De posse da faixa granulométrica, limitada pelas curvas de mínimos e máximos dos materiais realiza-se a leitura dos diâmetros nominais de 10% em 10% de porcentagem passante das curvas estabelecidas, que serão definidos como: $D_0, D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{40}, D_{50}, D_{60}, D_{70}, D_{80}, D_{90}$ e D_{100} , tanto para curva de máximo, como para curva de mínimo. Na sequência, determina-se os onze diâmetros médios nominais: $D_{M0}, D_{M1}, D_{M2}, D_{M3}, D_{M4}, D_{M5}, D_{M6}, D_{M7}, D_{M8}, D_{M9}$ e D_{M10} . O D_{M0} será igual ao D_0 estabelecido anteriormente, que não pode ser inferior a 0,075mm. Os restantes dos diâmetros médios nominais serão calculados através da média de dois diâmetros consecutivos.

Segundo Pimenta (2013), Silveira (1964) desenvolveu uma metodologia de cálculo dos vazios de controle formados por um agrupamento de partículas em seu estado de máxima compactação. Em sua definição, o vazio de controle é formado por um arranjo de três partículas aleatórias. Neste como serão 10 diâmetros médios nominais, irão formar 220 agrupamentos com arranjos de três diâmetros.

Finalmente, O cálculo do vazio de controle será feito utilizando a equação 1, proposta por Musso e Federico (1983).

$$2D_i^2 + 2D_j^2 + 2D_k^2 + 2d_v^2 = 0,50 * 2D_i + 2D_j + 2D_k + 2d_v^2 \quad (1)$$

Em que, D_i, D_j, D_k e d_v são, respectivamente, os diâmetros médios nominais e o diâmetro da esfera representativa do vazio de controle. A probabilidade de ocorrência do vazio de controle será a probabilidade de ocorrência do arranjo das três partículas. Definidas, de acordo com Pimenta (2013), pelas equações 2,3 e 4.

Arranjo de três partículas iguais:

$$P_{i,i,i} = 1 * P_i^3 = 0,103 \quad (2)$$

Arranjo de três partículas diferentes:

$$P_{i,j,k} = 6 * P_i * P_j * P_k = 6 * 0,103 \quad (3)$$

Arranjo de duas partículas iguais e uma diferente:

$$P_{i,i,j} = 3 * P_i^2 * P_j = 3 * 0,103 \quad (4)$$

Onde P_i, P_j e P_k são as probabilidades de ocorrência das três partículas que formam o arranjo.

Por fim, será plotada a curva de vazios em função dos diâmetros de controle pela probabilidade acumulada, ilustrado na Figura 4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da curva granulométrica mostrada na Figura 2, determina-se os valores dos diâmetros de 10% em 10%, conforme estabelecido, em seguida calcula-se os diâmetros médios nominais, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Diâmetros nominais

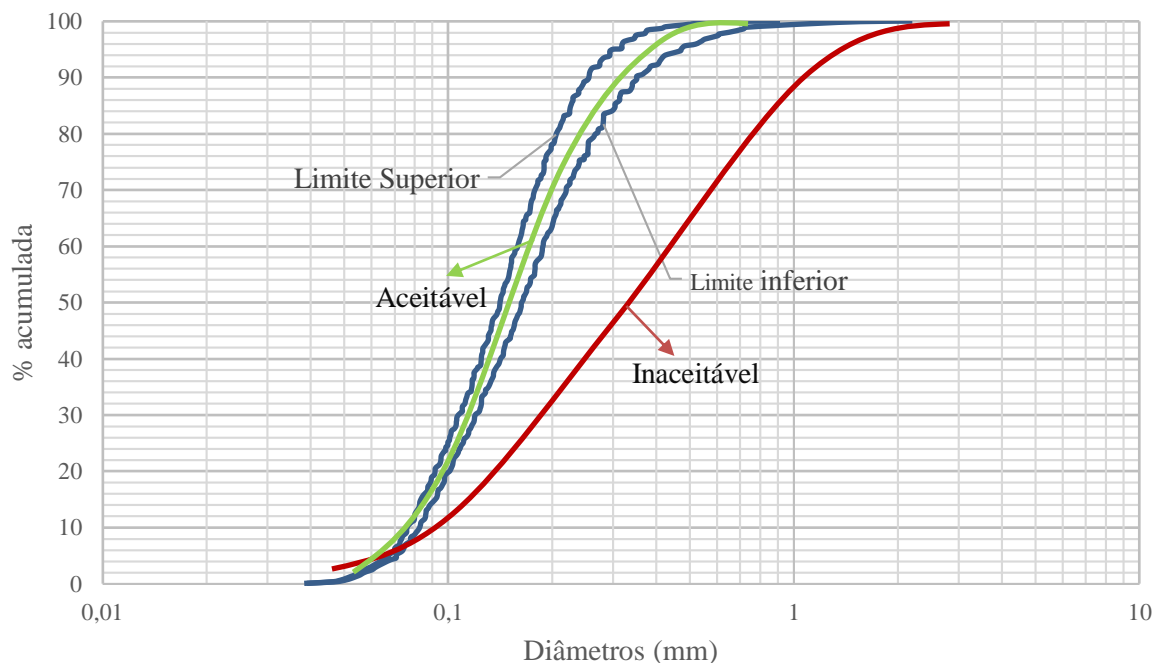
Dn	Max	Mín
D0	0,075	0,075
D10	0,42	0,43
D20	0,57	0,6
D30	0,7	0,8
D40	0,83	0,95
D50	1	1,2
D60	1,3	1,5
D70	1,50	1,7
D80	1,8	2,6
D90	2,3	9,5
D100	9,5	9,5

Tabela 2. Diâmetros médios nominais

Dn	Max	Min
D0	0,075	0,075
D1	0,25	0,25
D2	0,495	0,515
D3	0,635	0,7
D4	0,765	0,875
D5	0,915	1,075
D6	1,15	1,35
D7	1,4	1,6
D8	1,65	2,15
D9	2,05	6,05
D10	5,9	9,5

Os diâmetros (D0 a D100) nominais são colocados no Excel em arranjos de três (D_i , D_j , D_k) resultando o diâmetro de controle (d_v) para a definição das curvas de máximo e de mínimo do filtro, conforme ilustrado na Figura 4. Como exemplo, supomos que $D_i = D_j = D_k = 0,25$, aplicando a equação 1 de Musso e Federico, obtemos o valor de D_v , que será igual a **0,038288**. A probabilidade de ocorrência desse vazio de controle será obtida pela equação 2, visto que é um arranjo de três partículas iguais, assim, a probabilidade será igual a 10%.

Figura 4. Curvas de distribuição de vazios máximos e mínimos para o filtro



CONCLUSÃO

As curvas definidas pela metodologia aqui exposta, isto é, a metodologia de Musso e Federico devem ser confrontadas com as curvas granulométricas do maciço da barragem que se deseja dimensionar, a efetividade do filtro só ocorrerá se as granulometrias das mesmas estiverem contidas

pela faixa granulométrica das curvas de máximo e mínimo de vazios, como mostrado na Figura 4 pela curva aceitável, caso contrário o filtro não poderá ser utilizado.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Bolsa Universidade – PBU/Iniciação científica pela concessão da bolsa de pesquisa e à Universidade Estadual Vale do Acaraú por proporcionar condições necessárias ao aprendizado.

REFERÊNCIAS

FELL, R.; FOSTER, M.; CYGANIEWICZ, J.; SILLS, G.; VROMAN, N.; DAVIDSON, R. A unified method for estimating probabilities of failure of embankment dams by internal erosion and piping. Draft Guidance Document, 2008.

HUMES, C. Considerações sobre a determinação da distribuição de vazios de filtros de proteção de obras geotécnicas. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

LOCKE, M.; INDRARATNA, B. A new model for the behaviour of granular filters. *Australian Geomechanics*, NSW, p.31, set, 2000.

MUSSO, A.; FEDERICO, F. Un método geométrico-probabilístico per la verifica dei filtri. *Rivista Italiana di Geotecnica*, p.177 a 193, 1983.

PIMENTA FILHO, M.A. Análise da erosão interna de solos em barragens com base na distribuição de vazios. 2013, 124f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.