


## Utilização de Geocomposto Drenante no sistema de drenagem interna de barragens em substituição do material granular

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.003-047>

**Fernanda Sasdelli Figueiredo Sales**  
Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil  
E-mail: fernanda.sasdelli24@gmail.com

E-mail: sabrina.penasso@engenharia.ufjf.br

**Rafael Freitas Rodrigues**  
Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil  
E-mail: rfreitas829@gmail.com

**Raphael Zanotti do Carmo**  
Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil  
E-mail: rc.zanotti@hotmail.com

**Sabrina Medeiros Penasso**  
Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil

**Michel Moreira Morandini Fontes**  
Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil  
E-mail: michel@fonntesgeotecnica.com

### RESUMO

Piping e liquefação são as duas das principais causas que levam uma barragem ao colapso e estão relacionadas ao acréscimo de poropressão no interior do maciço em razão do não direcionamento do fluxo de água, ou seja, da ineficiência ou inexistência do sistema de drenagem interna. Esse sistema serve para alívio da poropressão no interior do maciço de uma barragem, à medida que direciona o fluxo para jusante da estrutura, evitando assim a saturação do maciço. Atualmente, os materiais mais utilizados para composição do sistema de drenagem interna são os granulares (brita e areia). No entanto, existem geossintéticos, como os geocompostos drenantes, que cumprem a mesma função dos materiais granulares: filtragem e drenagem. Quando comparados os dois sistemas, a utilização de geocomposto drenante apresenta-se mais vantajoso quanto ao custo-benefício, execução e transporte. Apesar dos geossintéticos apresentarem diversas vantagens, comparado ao sistema de drenagem convencional com material granular, ainda é pouco usado e isso se deve, possivelmente, à insegurança dos profissionais em utilizar um método alternativo e com baixo histórico de utilização.

**Palavras-chave:** Geocomposto drenante, Geossintético, Material granular, Custo, Execução, Transporte.

## 1 INTRODUÇÃO

Barragens são estruturas físicas construídas com o objetivo de conter água para abastecimento, gerar energia elétrica, bem como acumular rejeitos industriais (MOREIRA, 1981 *apud* AZEVEDO, 2005). Em vista disso, as barragens exercem um importante papel socioeconômico, no entanto, podem causar diversos impactos negativos sendo eles ambientais, sociais e econômicos (VIANNA, 2015).

De acordo com AZEVEDO (2005), as barragens precisam ser eficientes e seguras, tendo em vista as consequências trágicas que trazem em caso de rupturas. A água é um dos principais problemas da engenharia geotécnica, uma vez que, se não controlada, pode causar erosão, carreamento de finos, comprometem a estabilidade da estrutura.

Para solucionar tais problemas, sistemas de drenagem interna são utilizados para garantir a segurança das barragens, visto que aliviam as pressões internas e evitam a saturação do maciço (PETROCELLI, 2019).

Atualmente, o material mais utilizado para composição do sistema de drenagem interna são os granulares (como areia e brita), na composição dos tapetes drenantes e filtros verticais. No entanto, o mercado oferece alternativas com a função de filtrar e drenar a água proveniente do fluxo interno das barragens, como é o caso dos geocompostos drenantes. De acordo com IGS (*International Geosynthetics Society*) os geossintéticos são materiais planos feitos através de polímeros, sendo eles naturais ou não, utilizados em contato com o solo dentro de obras da engenharia. Nesse contexto, segundo CARNEIRO (2009), para que os geossintéticos cumpram sua função na drenagem interna, a dimensão da sua abertura deve ser mínima o suficiente para impedir a passagem de partículas sólidas para o interior dos drenos, ao mesmo tempo que permite a livre passagem da água.

O uso de geossintético em barragens como camada drenante teve início na década de 70, na construção de “Frauenau Dam” na Alemanha e “Hans Stridjon Dam” na África do Sul (VERTEMATTI, 2004). Nessa mesma época, os geotêxteis estavam sendo inseridos no Brasil como dispositivos de drenagem em rodovias.

Os materiais granulares, apesar de ainda serem os mais utilizados nas drenagens internas de barragens, é um material de alto custo, visto que, quanto maior a vazão de projeto, maior a espessura requerida de material. Além disso, em locais de difícil aquisição, a distância média de transporte é alta, elevando o seu custo devido ao transporte. Dessa forma, esse artigo tem como objetivo apresentar as vantagens comparativas de custo e execução dos geocompostos drenantes, quando utilizados na substituição do material granular para composição do sistema de drenagem interna de barragens. Embora os mesmos ainda sejam pouco utilizados e divulgados, apresentam desempenho satisfatório para tal função.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para elaboração deste artigo, foi necessário uma consulta ampla com fornecedores de geossintéticos e uma revisão bibliográfica na literatura, sobre as vantagens comparativas dos geossintéticos em relação ao material granular, quanto à execução, transporte e custo. Após essa pesquisa, foi realizado o dimensionamento de um sistema de drenagem interna, com ambos os materiais, para uma mesma seção de uma barragem hipotética, para fins comparativos.

A obtenção da vazão de projeto para dimensionamento do sistema foi feita através da análise de percolação com o auxílio do programa Slide2®, da Rocscience. Os parâmetros de permeabilidade do maciço compactado e do material de fundação, utilizados para a elaboração dessa análise, foram baseados em CRUZ (2004).

A vazão de projeto foi utilizada para o cálculo da espessura de material granular, aplicando-se um fator de segurança de 10, segundo recomendação da norma ABNT NBR 13028:2017, através da lei de Darcy, expressada pela Equação 1.

$$Q = k \ i \ A \quad (1)$$

Onde:

Q: vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s);

k: permeabilidade do material drenante (m/s); i: gradiente hidráulico;

A: área de drenagem (m<sup>2</sup>).

O geocomposto escolhido para compor o sistema de drenagem com geossintético foi o MacDrain® 2R5 20.2, da Maccaferri. Esse possui um núcleo drenante formado por uma georrede de polietileno de alta densidade termo-soldada em todos os seus pontos de contato com dois geotêxteis não-tecido. O produto possui alta resistência à compressão e elevada transmissividade. A Figura 1 apresenta o produto e a Figura 2 a sua ficha técnica.

Figura 1. MacDrain® 2R5 20.2, da Maccaferri



Figura 2. Ficha técnica do MacDrain® 2R5 20.2.

Propriedades hidráulicas do geotêxtil				2R5 20.2	
Permeabilidade	cm/s	ASTM D4491	0,3		
Abertura aparente (AOS)	mm	ASTM D4751	0,16		
Capacidade de vazão					
ASTM D 4716		Drenagem horizontal		Drenagem vertical	
Gradiente hidráulico	i = 0,01		i = 0,10		i = 1,00
	(l/s)/m	(l/h)/m	(l/s)/m	(l/h)/m	(l/s)/m
Pressão					
10 kPa	0,09	339	0,30	1097	1,66
50 kPa	0,07	258	0,18	656	0,85
100 kPa	0,05	165	0,15	532	0,74
Propriedades físicas				2R5 20.2	
Geocomposto					
Gramatura	g/m <sup>2</sup>	ISO 9864	1400		
Espessura	mm	ISO 9863	≥5		
Apresentação do rolo				2R5 20.2	
Comprimento	m		25		
Largura	m		2		

A metodologia de cálculo do sistema de drenagem constituído por geossintéticos, consiste na verificações de propriedades físicas do materiais, tal qual abertura de malha, resistência à tração, puncionamento e permeabilidade, a fim de averiguar se o material pré escolhido atende às necessidades impostas pelas condições de contorno de projeto. Para isso, o dimensionamento foi realizado baseado no livro de Wavin: “Projetos de infraestrutura com geossintéticos” (2022).

A primeira verificação trata-se da comparação entre a permissividade requerida e a admissível apontada no catálogo do produto, através da Equação 2.

$$\Psi_{req} = \frac{Q}{\Delta h H L} \quad (2)$$

Onde:

$\Psi_{req}$ : permissividade requerido do Geotêxtil, k/t. (s-1)

Q: vazão total a evacuar calculada (m/s<sup>2</sup>).

$\Delta h$ : carga hidráulica, que é igual à altura do Geocomposto (m).

H: altura do Geocomposto (m).

L: comprimento do tramo de drenagem em questão (m).

Em seguida, verifica-se a vazão requerida em relação a vazão de projeto, conforme a Equação

3.

$$Q_{wreq} = \frac{Q_t}{L} \quad (3)$$

Onde:

$Q_t$  = Vazão total do projeto (m/s<sup>2</sup>);

L = Comprimento do Geocomposto (m).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre as opções de geossintéticos disponíveis no mercado que cumpra a função de filtro e de dreno, para substituição do material granular na drenagem interna de barragens, o que melhor se encaixa é o geocomposto drenante.

O geocomposto drenante consiste na junção de dois geossintéticos: geotêxtil e georrede. Nessa junção, o geotêxtil tem a finalidade de impedir a passagem de partículas sólidas para a georrede, que acarretaria no entupimento deste. Concomitantemente, a georrede funciona como um dreno, permitindo a livre passagem da água e conduzindo o fluxo para jusante da estrutura. Nesse contexto, o geotêxtil entraria no lugar da transição com areia e a georrede substituiria o material drenante, como caso da brita.

#### 3.1 CUSTOS DE MATERIAL E TRANSPORTE

Em uma pesquisa realizada com fornecedores de geossintéticos da região de Belo Horizonte, Minas Gerais, o custo médio do geocomposto drenante é de R\$ 40,00 reais. O transporte é realizado de maneira convencional, por meio de caminhões e transportado em forma de bobinas. De acordo com os fornecedores, o frete da entrega do produto é calculado considerando um valor de R\$ 4,00 reais por km.

Quanto aos materiais granulares, o custo por tonelada, de acordo com tabela de composição de custos da CAIXA, SINAPI (MG. Out/2022) , varia de acordo com a dimensão dos grãos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Custos dos materiais granulares – SINAPI

Material	Valor
Areia Fina	R\$ 100,00
Areia média	R\$ 100,00
Areia grossa	R\$ 101,30
Brita 00	R\$ 121,25
Brita 01	R\$ 105,02

Quanto ao transporte do material granular, o mesmo deve ser realizado em caminhão basculante, com tela de proteção. O valor do transporte, de acordo com a tabela de composição de custos do DNIT – SICRO (MG, nov/2016) é de R\$ 0,76 reais por t/km.

#### 3.2 EXECUÇÃO

Para a execução do sistema de drenagem interna de uma barragem com geossintéticos, não é necessário mão-de-obra especializada, apenas acompanhamento durante a execução e cuidado com o manuseio do material a fim de evitar danos. Para isso, segundo o Manual Brasileiro de Geossintéticos, deve ser removido qualquer objeto punço cortante da superfície em que será instalado. Ademais, a

altura de queda de solo sobre o geocomposto deve ser limitada evitando danos, como rasgos no material.

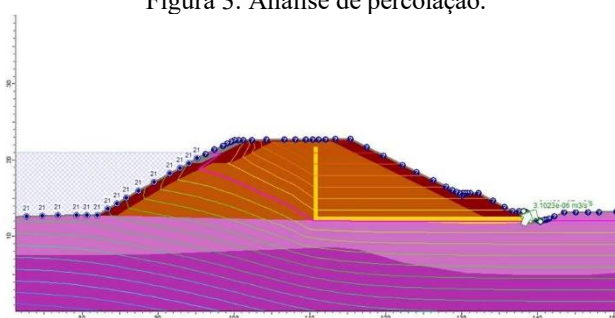
Quanto à execução com material granular, devem ser tomados cuidados especiais a fim de evitar a contaminação do material que será utilizado no sistema de drenagem por material particulado, especialmente em período de chuva. Em caso de contaminação o material deve ser removido e substituído. Além disso, o controle de qualidade no momento da execução do sistema de drenagem com material granular é de suma importância. Nesse sentido, deve-se realizar ensaios de granulometria, a fim de garantir que estes apresentem curva granulométrica conforme os limites estabelecidos e apresentados em projeto. De forma sucinta, é importante garantir que as propriedades dos materiais estejam dentro das requeridas em projeto, evitar a segregação e a contaminação do material que possa alterar suas propriedades, garantindo qualidade na execução do sistema.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO

Após a coleta de informações apresentadas nos tópicos anteriores, para fins comparativo-quantitativos, foi realizado o dimensionamento de um sistema de drenagem interna para uma barragem com ambos os materiais, granular e geocomposto drenante.

Com base nisso, primeiramente, com auxílio do software Slide2, foi realizada uma análise de percolação em uma seção representativa do talvegue de uma barragem hipotética, a fim de obter a vazão máxima na saída do dreno para posterior dimensionamento do sistema de drenagem interna de ambas soluções comparadas neste trabalho. A Figura 3 representa as linhas de fluxos e a vazão na saída do tapete drenante obtida através da análise de percolação, sendo essa de  $3,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$

Figura 3. Análise de percolação.



#### 3.3.1 Dimensionamento com material granular

De acordo com a ABNT NBR13028:2017, a partir das vazões obtidas nas análises de percolação realizadas na barragem e, considerando um fator de segurança mínimo de 10, são determinadas as dimensões e espessuras da camada drenante. No entanto, de acordo com os critérios de projeto civil elaborados pela Eletrobrás em 2009, por razões construtivas envolvendo maquinários, existem dimensões mínimas que os dispositivos de drenagem devem ter, sendo eles:

- a) filtro vertical ou inclinado: 0,60 m;
- b) filtro horizontal: espessura de 0,30 m;
- c) trincheira drenante de fundação: largura 0,60 m;
- d) poços de alívio: diâmetro de 0,10 m.

O sistema de drenagem atua no direcionamento do fluxo de percolação pelo maciço, redireciona as linhas de fluxo e evita, assim, a ocorrência de erosões internas, pipping, e aumento das poropressões (FARIA, 2019). A partir de estudos relacionados a solos coesivos e não coesivos quando submetidos a grandes forças de percolação, o engenheiro Karl Von Terzaghi, em 1943, determinou critérios para o dimensionamento de filtros, relacionando a curva granulométrica dos materiais. Sendo assim, definiu dois critérios para adoção do material adequado para composição do sistema de drenagem interna:

- a) o material que compõe o filtro deve ser capaz de reter e impedir a percolação de partículas do maciço através dele. Ou seja, o material deve ser bem graduado, de modo que os vazios formados sejam suficientemente pequenos para retenção de partículas provenientes do solo base;
- b) o material do filtro deve ser permeável o suficiente para permitir o livre escoamento da água, sem criar acréscimos de poropressão.

Na dissertação de mestrado, elaborada por Silva (2016), constam relações estabelecidas por Terzaghi considerando o diâmetro das partículas dos materiais, para que o filtro satisfaça os critérios citados. No que tange ao critério de retenção, o diâmetro D15 (mm), que corresponde ao diâmetro da peneira que passa 15% das partículas, não deve ser superior a quatro vezes o diâmetro que representa 85% do material passante da camada mais fina do solo base,  $d_{85}$ , então  $D15/d_{85} \leq 4$ . Para satisfazer o critério de drenagem, e permitir o livre escoamento da água, drenando-a do maciço, o filtro deve apresentar condutividade hidráulica suficiente. Para que isso ocorra, Terzaghi determina que a razão entre o diâmetro D15 (mm) do filtro e o diâmetro que correspondente a 15% das partículas do maciço,  $d_{15}$  (mm), deve ser maior ou igual a quatro, ou seja,  $D15/d_{15} \geq 4$ .

Ademais, o material que compõe o filtro deve seguir o critério de uniformidade, onde a razão entre a interface de material granular fino do filtro sobre a de material grosso seja menor ou igual a 10, sendo  $D_{60}/D_{10} \leq 10$ . Bem como, a porcentagem de material fino, passante na peneira #200 (0,074 mm), não deve ser superior a 2%.

Após escolha do material que atenda aos critérios supracitados, é possível realizar o dimensionamento do sistema de drenagem com material granular.

Dessa forma, considerando a permeabilidade do na drenagem interna. Dessa forma, necessitase de 3432 m<sup>3</sup> de areia e 1764 m<sup>3</sup> de brita. Levando em conta os preços apresentados no item 3.1 por m<sup>3</sup>, sendo R\$105,02 para uma brita 01 e R\$100,00 de areia, o custo com material da obra seria de R\$528.455,28 (Tabela 2).

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

$$Q = k \cdot \frac{B}{L_{tap}} \cdot B \cdot 1$$

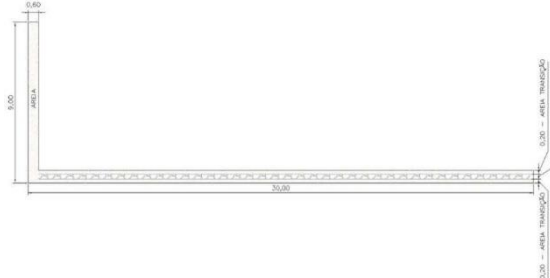
$$Q = k \cdot \frac{B^2}{L_{tap}}$$

Dessa forma, fazendo a substituição dos valores na formulação e considerando um fator de segurança de 10, obtém-se que a espessura necessária do tapete para que atenda a vazão de projeto é de 0,026 m, conforme mostra Equação 4.

$$3,1 \times 10^{-6} = 0,15 \frac{B^2}{30} = 0,025 \text{ m} \quad (4)$$

No entanto, por questões construtivas a camada em brita deve ter uma espessura mínima de 0,30 m. O filtro vertical é composto por areia e deve ter uma espessura mínima de 0,60 m, devido ao maquinário utilizado na escavação para sua execução. Para mais, deve-se ter uma camada de transição em areia de 0,20 m entre a brita do dreno horizontal e o maciço e fundação, tratando-se assim de um tapete drenante do tipo sanduíche – areia, brita e areia –, conforme mostra detalhe da Figura 4.

Figura 4. Detalhe do filtro vertical e tapete drenante.



Considerando as dimensões supracitadas, é possível na drenagem interna. Dessa forma, necessita-se de 3432 m<sup>3</sup> de areia e 1764 m<sup>3</sup> de brita. Levando em conta os preços apresentados no item 3.1 por m<sup>3</sup>, sendo R\$105,02 para uma brita 01 e R\$100,00 de areia, o custo com material da obra seria de R\$528.455,28 (Tabela 2).

Tabela 2. Valor total do material granular para drenagem

Material	Volume (m <sup>3</sup> )	Custo (R\$)
Areia	3432,0	343.200,00
Brita	1764,0	185.255,28
	Total	528.455,28

### 3.3.2 Dimensionamento com geocomposto drenante

Como já demonstrado no item 2 deste trabalho, o dimensionamento de geossintético trata-se apenas de verificações, a fim de averiguar se o produto pré- escolhido terá bom desempenho quando



utilizado sobre condições de projeto específicas. O geocomposto utilizado nas verificações foi o MacDrain® 2R5 20.2 da Maccaferri. Para que esse produto seja apto a ser utilizado como camada drenante, deve atender ao critério de retenção (TAA), critério de permeabilidade e ao critério de colmatação.

Quanto ao critério de retenção, exige que abertura do geotêxtil seja suficientemente pequena para que evite a migração de partículas finas de solo até o dreno. Dessa forma, e baseado nos critérios de retenção de Christopher e Holtz (1985), Carroll calcular o volume de cada material que será utilizado (1983), tem-se a Equação 5.

$$TAA < D85 * B \quad (5)$$

Onde:

TAA: Tamanho da abertura aparente (mm);

D85: Diâmetro da partícula que corresponde a 85% do solo que passa a ser peneirado.

B: Coeficiente que varia entre 1 e 3.

Para solos granulares, com menos de 50% passando na peneira #200, B é determinado em função do coeficiente de uniformidade  $Cu = D60/D10$ , conforme apresentado na Equação 6.

$$\begin{aligned} Cu \leq 2 \text{ e } Cu \geq 8 \quad B &= 1 \\ 1 < Cu \leq 4 \quad B &= 0,5 * Cu \\ 4 < Cu \leq 8 \quad B &= 8 / Cu \end{aligned} \quad (6)$$

No caso de solos arenosos e mal graduados B está entre 1,5 e 2. E para solos finos com mais de 50% passante na peneira #200, B depende do tipo de geotêxtil, sendo que para geotêxteis não tecidos tem-se a Equação 7.

$$B = 1,8 \quad TAA \leq 1,8 * D85 \quad (7)$$

O critério de permeabilidade requer apenas que a permeabilidade do geossintético ( $K_g$ ) seja superior que a do solo em que será instalado ( $K_s$ ), se tratando de um fluxo laminar com percentual de finos de até 50%. Para fluxo crítico  $K_g$  deve ser 10 vezes maior que  $K_s$ .

Por fim, para que o produto atenda ao critério de colmatação – ou seja, entupimento da abertura do geocomposto com o tempo, esse deve apresentar uma porosidade superior a 50%.



Após verificações se o produto atende aos critérios retrocitados, deve-se averiguar a permissividade e vazão requerida com a admissível através das equações 2 e 3 citadas no item 2 deste trabalho.

Posteriormente, as verificações e considerando as dimensões de 40 m de largura, para uma barragem com 200 m de comprimento, seria necessário 8000m<sup>2</sup> do geocomposto drenante. Conhecendo que o valor médio desse geossintético no mercado é R\$ 40,00 reais por m<sup>2</sup> o custo do produto para o sistema de drenagem com geocomposto drenante seria de R\$ 320.000,00 reais.

#### **4 CONCLUSÃO**

Conforme demonstrado no decorrer do trabalho, observa-se que o uso do geocomposto drenante como sistema de drenagem interna de barragens é um método eficiente, simples e com excelente custo-benefício. Quando comparado ao sistema convencional, o geossintético apresenta diversas vantagens quanto ao custo e execução. O procedimento executivo com geocomposto é simples e não necessita de tantos cuidados especiais como requer os materiais granulares. Como visto, para que o sistema convencional seja eficiente, as propriedades dos materiais granulares não podem ser alteradas, nesse sentido, é de suma importância que esse não seja contaminado, segregado e armazenado de forma incorreta. Enquanto o único cuidado necessário com o geossintético é com materiais punço cortantes que possam perfurar ou rasgar o produto.

Quanto ao custo, a simulação realizada mostra que para uma mesma barragem e uma mesma vazão, a solução com geocomposto drenante foi 35% mais barata – tratando-se apenas do custo com material – que a com material granular. Cabe ressaltar que a espessura e volume de material granular necessário é diretamente proporcional a vazão de projeto, dessa forma, para vazões muito altas demanda-se espessuras bem maiores de material granular, fato que encarece consideravelmente a obra. Ressalta-se também que essa economia é ainda maior quando se considera custos de mão de obra e tempo de execução. Uma vez que, a solução com geocomposto drenante não exige mão de obra especializada e sua execução é mais rápida comparada a solução com material granular.

Outro ponto importante é o transporte, os geossintéticos são disponibilizados em rolos, não necessitam de veículos específicos e, dependendo da demanda, estão disponíveis a pronta entrega. Por outro lado, os materiais granulares precisam ser transportados em caminhões basculantes e são retirados de jazidas, pedreiras, próximas ao local da obra. No entanto, nem sempre esses locais são próximos ou não possuem material que atenda as especificações de projeto.

Conclui-se que, de modo geral, os geossintéticos apresentam vantagens sobre todos os critérios analisados neste trabalho. No entanto, ainda são pouco utilizados, devido a insegurança dos profissionais em utilizar um método alternativo e com pequeno histórico de utilização.



Por fim, é importante ressaltar que os resultados externados nesse trabalho se aplicam para a situação particular simulada. Para condições distintas das aqui descritas, devem ser avaliadas caso a caso e as verificações quanto a eficiência do geocomposto, devem ser reavaliadas, adequando-se às novas condicionantes.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à empresa fornecedora da ficha técnica com as informações do geossintético.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-13028: Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AZEVEDO, M. P. N. Barragens de Terra: Sistemas de Drenagem Interna. Dissertação (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005

CARNEIRO, J. R. C. Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental: a importância da incorporação de aditivos químicos. 2009. Dissertação (Doutoramento em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

CARROLL, R. G. JR. (1983). Geotextile Filter Criteria in Design Parameters in Geotechnical Engineering. BGS, London, Vol. 2, pp. 121-129

CRISTOPHER, B.R.G.; Holtz, R.D. (1985). Geotextile engineering manual. Report number FHWA-TS- 86/203. Washington, DC. Federal Highway Administration. 1044 p.

CRUZ, P. T. da. 100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção e Projetos. Oficina de Textos, 2. ed. São Paulo, 2004.

ELETOBRÁS, CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas. Manual para estudo de projetos. [S. l: s. n.], 2009.

FARIA, Edimur Ferreira; SOUZA, Renata Martins. Da responsabilidade civil do Estado por omissão fiscalizatória: accidentalidade provocada pelo rompimento da barragem de Brumadinho. Revista de Direito Administrativo e Constitucional, Belo Horizonte, 2019.

INTERNATIONAL GEOSYNTHETICS SOCIETY - IGS. Site institucional. [S. l]: IGS, 2022. Disponível em: <https://www.geosyntheticssociety.org/>. Acesso em: 15 novembro. 2022.

MACCAFERRI. Catálogo de produtos. São Paulo: MACCAFERRI 2017.

MOREIRA, J.E. Fatores predominantes na seleção do tipo de barragem de terra e enrocamento. In: ABMS, Barragem de Terra e Enrocamento – Curso de Extensão Universitária. Núcleo Regional de Brasília, 1981, cap. III.

PETROCELLI, Patrick. Avaliação da influência do sistema de drenagem inclinado durante o regime operacional transiente de uma barragem de terra. Monografia do Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/52095/3/2019\\_tcc\\_pspetrocelli.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/52095/3/2019_tcc_pspetrocelli.pdf)>. Acesso em: 10 novembro, 2022.

Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade - SEINFRA. Sistema de Custo e Orçamentos Referenciais de Minas Gerais. 10/2022. Disponível em: <[http://www.infraestrutura.mg.gov.br/images/documentos/precosetop/2022/PlanilhaPrecos-SETOP-2022/10-Outubro/semdesoneracao/202210\\_Planilha\\_Precos\\_SETOP\\_Central\\_SEM\\_DESONERACAO.pdf](http://www.infraestrutura.mg.gov.br/images/documentos/precosetop/2022/PlanilhaPrecos-SETOP-2022/10-Outubro/semdesoneracao/202210_Planilha_Precos_SETOP_Central_SEM_DESONERACAO.pdf)>. Acesso em: 20 novembro 2022.



SICRO, Dnit. Disponível em: < <https://www.gov.br/dnit/>>. Acesso em 20 de novembro, 2022

SILVA, Dayana Santos. Estudo de filtro aplicado ao controle de erosão interna em barragens. 2016. Dissertação (Mestrado em geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

TERZAGHI, K. 1943. Theoretical Soil Mechanics. New York: John Wiley and Sons.

VERTEMATTI, J. C. Manual brasileiro de geossintéticos. São Paulo: ABNT, 2004. 410 p.

VIANNA, Luiz Filipe Venturi. Metodologias de análise de risco aplicadas em planos de ação de emergência de barragens: auxílio ao processo de tomada de decisão. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – UFMG, Belo Horizonte, 2015. Disponível em:

<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBDA52>

MKQ/1/geotecniatransportes\_luizfilipeventurivianna\_ dissertacaomestrado.pdf. Acesso em: 10 novembro. 2022.

WAVIN. Projetos de infraestrutura com geossintéticos. São Paulo: 2022