

AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA COLMATAÇÃO DE FILTROS DRENANTES

Alvaro Pereira

Faculdade Dom Bosco / FGS Geotecnia

alvaro@fgs.eng.br

Aline dos Passos

Faculdade Dom Bosco

Alinejagus05@gmail.com

RESUMO.

Este trabalho apresenta a avaliação, empírica, de alguns geossintéticos (geotêxtil e geocomposto) disponíveis no mercado, quanto a sua capacidade de drenagem subsuperficial para estimar aquele de melhor desempenho, no que se refere a sua durabilidade à colmatação, para contribuir com informações quanto à vida útil dos drenos. A metodologia utilizada consiste da exposição de ciclos de água de quatro modelos de drenos, sendo: (i) solo argiloso e material granular; (ii) solo argiloso, material granular e geotêxtil; (iii) solo argiloso, material granular e geotêxtil (de maior resistência que o anterior); (iv) solo argiloso e geocomposto. O período de operação de ciclos de água, para avaliação da variação da funcionalidade do filtro ao longo do tempo, foi de oito meses, sendo executada uma exumação das quatro amostras para avaliação das condições que os sistemas se encontravam. Em pouco tempo de operação já foi possível observar diferentes tempo de drenagem para os quatro modelos avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: *Filtros, Drenagem, Geossintéticos, Geocomposto, Geotêxtil, Colmatação*

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia, principalmente no que tange alterações do ambiente, a drenagem é imprescindível quando da presença de água. Levando-se em conta a cultura brasileira de

não realização de manutenções (sejam periódicas ou preventivas) o conhecimento de materiais que possam garantir o funcionamento e estender a vida útil dos elementos drenantes, por exemplo, filtros e drenos subsuperficiais se torna essencial. Conforme Vertematti (2004), os problemas de mau desempenho dos sistemas drenantes filtrantes estão geralmente associados à erosão interna (má retenção do solo), a baixa permeabilidade ou à sua colmatação – obstrução causada pelas partículas finas de solo que penetram em seu corpo, ou bloqueiam a interface solo/filtro.

Até meados do século passado sistemas de drenagem eram construídos com materiais naturais, dito drenantes, como brita e areia. Atualmente, os geossintéticos são cada vez mais usados, por sua capacidade alta de fluxo, fácil transporte e armazenamento e uma grande redução de mão de obra e tempo de instalação. Ainda, contribuem para economia no uso de materiais naturais oriundos de exploração de jazidas como areias, argilas e rochas, que já se pode considerar um grande benefício ambiental (MARTINS, 2018). Adicionalmente, por serem produtos com controle de fabricação trazem uma maior garantia e segurança de estabilidade, a longo prazo, proporcionando redução dos riscos das estruturas. De acordo com Araújo, Malveira e Soares (2018 p. 1), partículas de solo, quando submetidas a fluxos de água de grande intensidade, podem ser removidas e carreadas, podendo resultar em problemas, e

instabilidades de obras geotécnicas. Para evitar, esse tipo de problema estrutural, novos materiais desenvolvidos, como os geossintéticos estão sendo acrescentados na construção da barragem.

Este artigo tem como objetivo avaliar o impacto da utilização de geossintéticos, de maneira qualitativa, no funcionamento e na vida útil de sistemas drenantes usualmente utilizados no meio geotécnico. Esta avaliação será realizada através da composição de quatro sistemas drenantes, o convencional (camada drenante de areia), com utilização de geotêxtil (diferentes gramaturas e camada drenagem) e com um geocomposto (sem a camada drenante - areia). Estes sistemas foram submetidos a ciclos de percolação de água por um período de oito meses, sendo registrados os volumes e o tempo de percolação para cada ciclo. No oitavo mês os filtros foram exumados para observação das condições em que se encontravam, principalmente quanto ao impacto da percolação nos materiais constituinte dos filtros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item apresenta de maneira sucinta os principais conceitos e características relacionados à avaliação do comportamento de filtros constituídos de diferentes materiais.

2.1 Elementos Drenantes

A principal função da inserção de elementos drenantes em obras geotécnicas é conduzir a água existente no maciço de forma a controlar as magnitudes das poropressões geradas em taludes naturais, escavações e túneis, com intuito de aumentar as tensões efetivas do material e consequentemente, seu fator de segurança. A constituição mínima de um sistema de drenagem subsuperficial é composto por três elementos básicos: o drenante, que percebe e conduz as águas de

infiltração/percolação, saneando o solo; o filtrante, que interdita o carregamento das partículas de solo para o interior do elemento drenante, o que ocasionaria sua colmatagem e decorrente perda de vazão, e o coletor, que conduz a água drenada para a descarga (CONTRACTGEO, 2019).

O conceito de filtração, envolvendo drenos, consiste da retenção (separação de partículas sólidas) de solo e outras partículas, permitido a passagem livre do fluido em movimento (REMÍGIO, 2006 e NBR 12553 ABNT, 2003). As dimensões dos vazios do material do filtro devem ser pequenas para reter as partículas maiores do material e, ao mesmo tempo, permeável para impedir a indução de forças elevadas de percolação e pressões hidrostáticas aplicadas aos filtros (Silva, 2016).

2.2 Geossintéticos

O uso de inclusões sintéticas no solo começou nos anos 1950, com o desenvolvimento dos geotêxteis tecidos. No Brasil, materiais geossintéticos passaram a ser utilizados em 1971, com a fabricação do primeiro geotêxtil não-tecido. Desde então, as aplicações destes materiais em obras de reforço de aterros, taludes e fundações vêm aumentando gradativamente (SAYÃO; SIEIRA; SANTOS, 2010). A razão desse sucesso é que eles substituem com vantagem uma ou mais camadas de agregados naturais nos sistemas filtrantes convencionais (VERTEMATTI, 2004).

A definição de geossintéticos, de acordo com NBR 12553 (ABNT/2003), consiste de um produto polimérico, sintético ou natural, industrializado, cujas propriedades contribuem para a melhoria de obras geotécnicas. De acordo com a ISO 10318 (ABNT, 2013), o geossintético é um produto que possui pelo menos um dos seus componentes como sendo polímero (sintético ou natural) e se encontra na

forma de uma folha, tira, ou estrutura tridimensional, utilizado em contato com o solo e/ou outros materiais de aplicação em engenharia geotécnica ou civil.

A Tabela 1 cita algumas das principais aplicação de geossintéticos em obras.

Tabela 1. Principais utilização dos geossintéticos.

Função	Detalhamento
Controle de erosão superficial	Evitar ou limitar os movimentos do solo ou de outras partículas na superfície, por exemplo, de um talude.
Drenagem	Coleta e condução de águas pluviais, águas subterrâneas e outros fluidos no plano de um geotêxtil ou produto correlato.
Filtração	Retenção de um solo ou de outras partículas submetidas a forças hidrodinâmicas, permitindo a passagem do fluido em movimento através, ou no interior, de um geotêxtil ou produto correlato.
Barreira	Prevenir ou limitar a migração de fluidos.
Proteção	Limitação ou prevenção de danos localizados em um elemento ou material, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato.
Reforço	Uso do comportamento tensão-deformação de um geotêxtil ou produto correlato para melhorar o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção.
Separação	Prevenção da mistura de dois materiais adjacentes de naturezas diferentes, solos ou material de aterro, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato.

2.2.1 Geotêxteis

O emprego de uma camada de geotêxtil como filtro traz várias vantagens de ordem prática em relação aos filtros granulares convencionais, tais como facilidade construtiva, confiabilidade na repetibilidade das propriedades, uniformidade do material e redução de consumo de materiais naturais (PALMEIRA, 2018). Conforme Carvalho (2012 p.315), as propriedades hidráulicas relevantes são a permeabilidade normal à manta (k_n), a permeabilidade no plano da manta (k_p) e a abertura de filtração (AOS). Tendo em vista que os geotêxteis são materiais muito compressíveis e que a espessura varia

com a tensão de confinamento imposta pela obra, tona-se mais prático trabalhar com os conceitos de permissividade (ψ) e transmissividade (Θ), sendo estes:

(a) Permissividade: o elemento filtrante (geotêxtil) de um geocomposto ou o filtro geotêxtil de um dreno misto deve possuir permissividade suficiente para permitir a passagem do fluido satisfatoriamente e sem causar acréscimo de poropressões no maciço

(b) Transmissividade: é definida como a permeabilidade no plano da manta sintética multiplicada pela sua espessura. Ela permite avaliar a capacidade de descarga do geotêxtil quando ele exerce a função de drenagem do fluido, conduzindo-o para fora da estrutura.

A abertura de filtração (AOS) de um geotêxtil é o parâmetro mais importante em dimensionamento de filtros, sendo definida como a abertura equivalente ao diâmetro da maior partícula que passa através de seus poros. A definição de critério de retenção indica que o geotêxtil deve atender à condição de filtro de acordo com a granulometria do solo, gradientes hidráulicos e direção do fluxo de água. Não há uma correspondência desses critérios entre si, pois cada um é específico para a condição de uso do filtro analisada ou testada (VERTEMATTI, 2004).

De maneira geral os critérios usuais para filtros de geotêxtil não consideram a influência de colmatação parcial dos filtros antes do início da sua vida útil devido ao espalhamento e compactação do solo sobre a manta. As atuais aplicações de geossintéticos em obras geotécnicas e de meio ambiente requerem que o produto seja, em geral, usado em situações severas, tornando-se necessário uma revisão geral dos critérios (ALMEIDA, 2000).

2.2.2 Geocompostos

Os geocompostos são formados por um núcleo drenante ligado termicamente a um ou dois geotêxteis, que podem ser não tecido

calandrados e agulhados, ou laminados com um filme impermeabilizante, com alta capacidade drenante. Para os geocompostos, a gramatura do geotêxtil de cobertura não tem influência significativa no comportamento hidráulico quanto à transmissividade, pois o escoamento da água depende muito mais da forma espacial do núcleo do geocomposto do que o geotêxtil de cobertura (CARVALHO, 2012)

2.2.3 Problemas relacionados a falhas em sistemas drenantes

Pode-se considerar que há dois principais tipos de problemas relacionados à sistemas de drenagem subsuperficiais, a erosão interna (*piping*) e colmatagem.

A erosão interna ocorre quando há fluxo subsuperficial no solo com transporte de material (finos do solo) que ao longo do tempo geram “canais” (vazios) no interior do solo. O processo de erosão interna regressiva, onde o avanço é no sentido contrário do fluxo, é uma das principais causas de ruptura em barragens em todo mundo (ZHANG; S., 2007). Segundo Lima (2003), a erosão interna é decorrente do aumento da taxa de infiltração ou do gradiente hidráulico e corresponde a formação de canais de fluxo no interior do maciço em direção ao talude. Este aumento na taxa de infiltração forma um escoamento subsuperficial e subterrâneo que se concentra nestes canais. Pela ação do transporte do material granular fino esses canais sofrem alargamentos, fragilizando e desestruturando o solo, podendo causar desmoronamento do teto dos canais e solapamento do terreno.

Já a colmatagem consiste na redução de área transversal dos espaços vazios de um determinado meio poroso, disponíveis ao fluido percolante. É um processo que ocorre ao longo do tempo, comprometendo a eficiência de drenagem. Ela pode ser de três formas: física, química e biológica. De acordo com

Palmeira e Garboni (2000), a colmatagem física de um filtro natural é causada por incompatibilidade entre dimensões de partículas de solo e a dimensão dos poros do filtro, conduzindo a uma redução da capacidade de descarga do dreno, aumentando a poropressão e perda do controle do fluxo pré-estabelecido. A colmatagem física de um geotêxtil ocorre quando os vazios existentes entre os fios poliméricos que compõem o material são preenchidos por partículas sólidas, causando o impedimento da passagem do líquido.

3. PESQUISA EXPERIMENTAL

Este item apresenta as principais considerações quanto ao desenvolvimento da pesquisa experimental e os principais materiais envolvidos.

3.1 Materiais de Pesquisa

O solo utilizado nesse estudo, segundo Robaldo (2018), trata-se de Latossolo Vermelho Húmico distrófico de textura argilosa. Estes solos caracterizam-se por serem profundos, apresentando em seu perfil uma sequência de horizontes A-Bw-C, onde o horizonte Bw é do tipo latossólico. Possuem pouco incremento de argila e apresentam uma transição difusa ou gradual entre os horizontes, por isso exibem um perfil homogêneo em que é difícil diferenciar os horizontes. A Tabela 2 apresenta os resultados das amostras que foram submetidas aos ensaios de índices físicos.

Tabela 2: Índices físicos do solo de pesquisa.

γ_s (kN/m ³)	LL (%)	LP (%)	Granulometria (%)		
			Areia	Silte	Argila
2,70	66,50	42,17	39,58	25,63	34,79

γ_s – Peso específico real dos grãos; LL – Limite de Liquidez;
LP – Limite de plasticidade.

Fonte: Robaldo (2018).

O Índice de Plasticidade do solo tem um

valor de 24,33%, o que se traduz em um material argiloso de consistência fina e plástica, de alta plasticidade.

O material utilizado com filtro foi um tipo de areia comercial. Esta foi submetida ao ensaio de granulometria conforme NBR 7181 (ABNT, 1984). A análise granulométrica tem a finalidade de apresentar as porções de partículas da areia, e seus dados podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3. Distribuição granulométrica da areia comercial utilizada.

Material	%
Argila	0,0
Silte	0,0
Areia Fina	97,13
Areia Média	2,87
Areia Grossa	0,0

Os geotêxteis não tecido foram escolhidos com base na sua utilização em obras geotécnicas e suas principais características podem ser verificada na Tabela 4.

Tabela 4. Características dos geotêxteis utilizados.

Característica	Tipo 1	Tipo 2
Resistência a tração (kN/m)	7,0	14,0
Permissividade (s-1)	2,5	1,6
Fluxo de água (l/min/m ²)	7450	5450
Permeabilidade normal (cm/s)	0,4	0,9
Abertura aparente (mm)	0,212	0,180

O geocomposto, MacDrain 2L utilizado, possui filtros geotêxteis em seus dois lados (características semelhantes ao tipo 1, Tabela 4), sendo que esses sobressaem 10 cm do núcleo nas laterais do rolo para que durante a instalação seja garantida a continuidade do filtro e proteção do núcleo drenante, formado por uma geomanta tridimensional com mais de 90% de vazios.

3.2 Validação do Material

Para validação, ou verificação inicial, da compatibilidade de utilização do solo

(argiloso) e o material drenante (areia) verificou-se os diâmetros das partículas de cada material de acordo com o critério observado em Pinto (2006). Os critérios para projeto de filtro de proteção baseiam-se nas curvas granulométricas dos materiais,

3.3 Layout do Experimento

A pesquisa consistiu na tentativa da simulação de condições de filtração de diferentes configurações de drenos, com diferentes materiais, através de ciclos de percolação de água. Foram definidas 4 configurações e preparados 2 conjuntos para cada configuração. A metodologia de preparação dos sistemas levou em conta a utilização de caixas plásticas (semitransparentes) com dimensões de 30 x 20 cm, na tentativa de evitar efeito de borda. Baseando-se nas características do solo, principalmente em tremo de peso específico aparente seco, foi calculo um peso e volume aproximado de material a ser compactado manualmente. A quantidade de solo utilizadas foi de 2,0 kg por configuração. As configurações de cada um dos sistemas de drenagem montados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Configurações dos filtros.

Identificação	Composição do filtro
F1/F5	Areia/solo
F2/F6	Areia/Geotêxtil tipo 1/solo
F3/F7	Areia/ Geotêxtil tipo 2/solo
F4/F8	Geocomposto/solo

O experimento constituiu no controle de ciclos de passagem da água para o qual os seguintes dados foram registrados: dia, hora inicial, hora final, volume de água inicial e volume de água final. Esses procedimentos foram executados com periodicidade seis vezes por semana (entre fevereiro e novembro de 2019) diminuindo à medida que o tempo de

percolação de água aumentada. Os resultados alimentaram uma planilha eletrônica. Como a percolação pode ser considerada intermitente, pode-se dizer que o filtro apresentou um comportamento com histerese (capacidade de preservar uma deformação efetuada por um estímulo) no solo.

4. RESULTADOS

O comportamento de cada sistema foi definido a partir da análise, normalizada do volume de água, e o tempo de percolação para cada ciclo.

4.1 Eficiência do filtro

O parâmetro de análise qualitativa dos filtros, aqui denominada de Eficiência do Filtro (EF), nada mais é do que um índice normalizado onde tem-se volume final (VF) percolado de cada ciclo, dividido pelo volume inicial (VI), com unidade de medida mL. Esta razão foi dividida pelo tempo que essa quantidade levou para percorrer o filtro em minutos. Ou seja, quanto menor esta divisão menos eficiência poderia ser considerado o filtro. Esses valores obtidos estão distribuídos conforme as datas das coletas dos dados. A Figura 1 apresenta o gráfico geral de eficiência dos filtros.

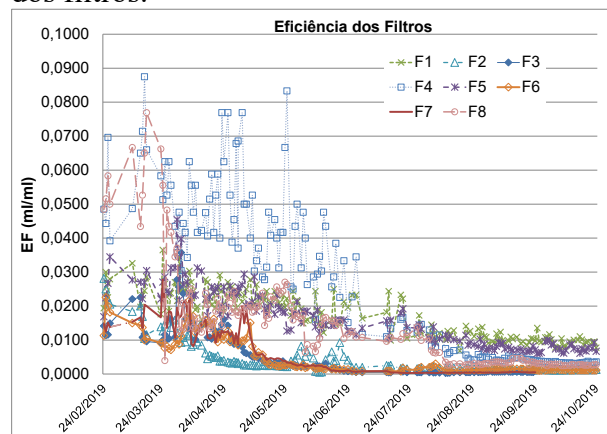


Figura 1. Variação do volume de percolação para cada configuração de filtro.

As linhas referentes a caixas F1 e F5 se encontram com IE relativamente próximo, em todas as datas, exceto no primeiro mês, provavelmente devido aos materiais das amostras estarem em adaptação ao sistema de filtragem. Percebeu-se a perda de eficiência da drenagem a partir do terceiro mês, a partir do quinto mês as linhas se distanciam um pouco, porém com mesma tendência com perda da eficiência mais gradual.

Os filtros F2 e F6, apresenta oscilações nas medições ao longo do primeiro mês, possivelmente devido ao ajuste no sistema de filtragem ao fluxo de água. O IE expressa queda considerável a partir do segundo mês, tendo uma variação entre os sistemas do segundo ao quinto mês, com declínio menos acentuado demonstrando um padrão de comportamento mais estável a partir desse mês.

O conjunto F3 e F7 apresenta nas primeiras seis semanas uma importante variação nos resultados, não sendo possível definir um padrão de comportamento. A partir do segundo mês os dois sistemas têm seu resultado convergindo para uma elevada redução na eficiência. Do quarto mês em diante percebe-se que ambas possuem o mesmo IE constante. No mês seguinte ocorre à estagnação do processo, possivelmente pelo sistema de filtro ter atingido um equilíbrio, onde o fluxo de água adotou um caminho preferencial com mais vazios.

A configuração de filtros F4 e F8, tem no primeiro mês um padrão estável de percolação. Do segundo até o sexto mês ocorre uma queda de eficiência na filtragem, observando a partir desse momento uma constância no IE obtido.

4.1 Exumação dos modelos de filtro

Associado as análises dos resultados de eficiência (percolação) dos filtros foi realizada a exumação de 1 conjunto de cada um dos 4 tipos de filtro em avaliação. A exumação

consistiu da abertura do sistemas removendo, cuidadosamente cada um dos elementos presentes para avaliação.

Na Figura 2 está apresentada imagens da 3 dos 4 filtros exumados, sendo o conjunto de solo+areia em (a) e (b); o conjunto solo+geotêxtil tipo 1+areia em (c) e o conjunto solo+geotêxtil tipo 2+areia em (d). Na imagem na Figura 2(a) é possível observar a distinção entre os dois materiais (solo e areia), não sendo verificada a impregnação de material argiloso nos finos de areia. Após a remoção da o solo argilo observa-se (b) a ocorrência de alguns vazios (com diâmetro entre 1 e 2mm). Tanto em em (c) quanto em (d) nota-se que ocorreu a passagem de material fino do solo argiloso através do geotêxtil, sendo ainda possível verificar o preenchimento dos vazios do material arenoso por este material fino.

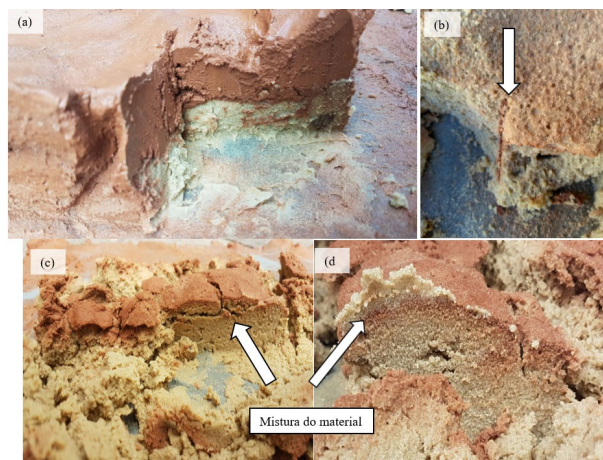


Figura 2. Imagens das condições dos elementos de filtragem com a exumação dos filtros após o tempo de percolação de 8 meses.

(a) e (b) solo + areia; (c) solo+geotêxtil RT7+areia; (d) solo+geotêxtil RT14+areia.

4.1 Granulometria do material drenante

Amostras do material drenante que constituíram os conjuntos foram submetidas ao ensaio de granulometria, com intuito de verificar se os finos da argila observados

durante a exumação foi suficiente para alterar a distribuição granulométrica destes. A Tabela 6 demonstra a classificação e o percentual obtido em cada análise.

Tabela 6. Resultado análise granulométrica das areias dos filtros

Filtro	Areia Média	Areia Fina
Areia/Geotêxtil tipo 1/solo	1,53	98,47
Areia/solo	2,28	97,72
Areia/ Geotêxtil tipo 2/solo	1,71	98,29

Para os conjuntos constituído de geotêxtis (onde observou penetração de material fino) nota-se um ligeira alteração no percentual de areia fina e média. Podendo ser um indicativo da influência dos finos do material argiloso na granulometria da areia.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados através desta pesquisa experimental permitiram concluir, mesmo qualitativamente, que:

- A composição Areia/solo é a que apresenta a maior capacidade de percolação ao longo do tempo em comparação as outras configurações. Entretanto, a exumação do sistema indicou a criação de caminhos preferenciais de drenagem, os quais são um indicativo da possibilidade de desenvolvimento de erosão interna (pinping) no sistema.

- A utilização de geotêxtil tipo 1, em comparação com o tipo 2, apresentaram maior quantidade de solo argiloso na areia através do geotêxtil, resultando numa menor permeabilidade dos filtros analisados. O geotêxtil tipo 2 apresentou ao longo do período estudado uma diminuição da permeabilidade. As características observadas nestes, baseado nos dados da literatura pesquisas, indicada que este comportamento tende a ser classificado como colmatação do tipo física.

- A configuração solo/geocomposto não permitiu avaliar a eficiência real de drenagem, pois observou-se perda do solo argiloso o sistema de filtro e as paredes dos recipientes, como também impregnação de material fino na parte interior do geocomposto e na manta.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre pelo apoio à pesquisa desenvolvida durante o trabalho de conclusão de curso que gerou o presente artigo.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. G. G. (2000) Estudo Do Comportamento Dreno-Filtrante De Geossintético Sob Pressão. 2000. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 336 f.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 7181. Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989). NBR 7181. Peneiras de Ensaio. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBR 12553. Geossintéticos, terminologia. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR ISO 10328. Geossintético – Ternos e Definições. Rio de Janeiro.
- Carvalho, J. C; Gitirana, G. F. N. J; Carvalho, E. T. L (org.). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. 4. ed. Brasília: faculdade de tecnologia, 2012. (geotecnica).
- Contractgeo. (2019) Definições básicas de geocomposto drenante. Disponível em: <https://geocontract.com.br/post/11/definicoes-basicas-de-geocomposto-drenante>. acesso em: 01 maio 2019.
- Hvorslev, m j. (1949) *Time lag and soil permeability in ground-water observations*. Vicksburg: waterways experiment station corps of engineers, US army, disponível em: <https://erdclibrary.erdclib.dren.mil/xmlui/bitstream/handle/11681/4796/bul-36.pdf?sequence=1&isallowed=y>. acesso em: 07 out. 2019.
- Palmeira, E.M. (2018). Geossintéticos: em geotecnia e meio ambiente. São Paulo: oficina de textos.
- Pinto, C.S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos. 3. ed. são paulo: oficina de textos..
- Remígio, A. F. N. (2006). Estudo da colmatação biológica de sistemas fitorodrenantes sintéticos de obras de disposição de resíduos domésticos urbanos sob condições anaeróbias. Tese (doutorado) - curso de engenharia civil, departamento de engenharia civil e ambiental, universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- Robaldo, D.L.C (2018). Estudo da adição de cimento nas propriedades de um solo da cidade de passo fundo/rs. 86 f. TCC (graduação) - curso de engenharia civil, faculdade imed, Passo Fundo.
- Sayão, A.; Sieira, A.C.; Santos, P. (2010). Reforço de solos: manual técnico. são paulo: maccaferri.
- Silva, D. S, (2016). Estudo de filtro aplicado ao controle de erosão interna em barragens. 2016. 161 f. Dissertação (mestrado) - curso de geotecnia, departamento de engenharia civil, universidade federal de ouro preto, Ouro Preto.
- Vertematti, J.C. (2004). Manual brasileiro de geossintéticos. São Paulo: edgard blucher.