

Emprego de Geotêxteis Não Tecidos para Redução da Colmatação de Solo Arenoso Durante Infiltração de Esgoto Tratado, sob Condições Anaeróbias

Carolina Tavares Paula
UFRN, Natal-RN, Brasil, carolinatava@gmail.com

Lucas de Medeiros Paulino
UFRN, Natal-RN, Brasil, lucaspaulino.eng@gmail.com

Maiara de Lemos Câmara
UFRN, Natal-RN, Brasil, maiaradlc@hotmail.com

Isabelly Bezerra Braga Gomes de Medeiros
IFRN, Natal-RN, Brasil, isabelly.medeiros@ifrn.edu.br

Fagner Alexandre Nunes de França
UFRN, Natal-RN, Brasil, fagneranfranca@gmail.com

Hélio Rodrigues dos Santos
UFRN, Natal-RN, Brasil, heliordgs@gmail.com

RESUMO: A disposição final do esgoto tratado no solo é uma alternativa empregada em sistemas de esgotamento sanitário descentralizados. Todavia, em certos casos, principalmente em regiões de solo arenoso, tem ocorrido a colmatação precoce dos dispositivos de infiltração, como sumidouros e valas de infiltração. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o uso de geotêxteis não tecidos para redução da colmatação de solos arenosos durante a infiltração de esgoto tratado, sob condições anaeróbias. Para isso, foram monitoradas três configurações de unidades piloto de percolação (colunas de infiltração) em triplicata: areia recoberta com geotêxtil não tecido de 130 g/m², areia recoberta com geotêxtil não tecido de 300 g/m² e areia sem geotêxtil, as quais foram alimentadas pelo efluente de um sistema de tratamento composto por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio. Configurações de colunas em duplicata, alimentadas com água potável, também foram testadas a fim de se verificar a perda de carga causada pelos geotêxteis. Os sistemas foram alimentados continuamente, de maneira que era sempre mantida uma carga hidráulica constante de 10 cm sobre as colunas de percolação, induzindo-as a condições anaeróbias. O experimento foi operado por 38 dias, durante os quais análises de condutividade hidráulica foram realizadas semanalmente no afluente e efluente das configurações. No 38º dia, o sistema foi desativado e o solo de preenchimento das colunas de percolação desativadas foi analisado para obtenção do teor de matéria orgânica. Concluiu-se que os geotêxteis retiveram parcela considerável dos sólidos presentes no afluente, principalmente o de 300 g/m², reduzindo a colmatação no solo das colunas de percolação. Entretanto, o geossintético causou uma perda de carga considerável, reduzindo os valores de condutividade hidráulica dos sistemas. Além disso, evidenciou-se que a matéria orgânica acumula-se principalmente na superfície do solo e logo abaixo dela, em todas as configurações.

PALAVRAS-CHAVE: Colmatação do Solo, Geotêxteis Não Tecidos, Infiltração de Esgoto.

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas individuais de esgoto doméstico, a disposição de efluentes de tanque séptico no solo é uma opção por muitas vezes adotada, apesar da possível contaminação do solo e das águas subterrâneas. O solo atua como um filtro, depurando os resíduos nele lançados. Entretanto, essa capacidade de depuração pode ser modificada em função do efeito cumulativo da deposição dos diversos elementos ainda presentes no efluente tratado. A percolação dos poluentes no solo se constitui em uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos empregados para os mais diversos usos pela população, sejam de águas superficiais ou subterrâneas (Casarini *et al.*, 2001).

Segundo Pell e Nyberg (1989), o bom desempenho da infiltração de esgoto tratado no solo se deve ao desenvolvimento dos microrganismos nos interstícios da areia, capazes de degradar o material orgânico poluente. Em contrapartida, Pedescoll *et al.* (2011) afirmam que não somente o processo biológico é capaz de eliminar os contaminantes de esgotos domésticos, mas também mecanismos físicos e químicos. Dessa forma, a determinação das variáveis do projeto dos dispositivos de infiltração permanece complexa e de difícil compreensão.

Durante a infiltração de esgotos tratados, ocorre a redução dos valores de condutividade hidráulica do solo. Tal diminuição está relacionada à colmatção decorrente do acúmulo de sólidos em suspensão, ao desenvolvimento da população microbiana nos interstícios do solo e à deposição de precipitados (Pell e Nyberg, 1989; Baveye *et al.*, 1998; Pedescoll *et al.*, 2011).

Soleimani *et al.* (2009) afirmam que a obstrução das camadas do solo ocasiona o retardo no fluxo do líquido e diminui a eficiência da infiltração, independentemente do tipo de solo. Beal *et al.* (2006) conclui que a camada colmatante é o principal fator que regula o fluxo em sistemas de disposição no solo de esgoto tratado.

Em areias, a condutividade hidráulica é alta no início da disposição do esgoto tratado, permitindo que uma maior carga orgânica se

acumule no solo. Já em solos de baixa permeabilidade, como argilas, a baixa capacidade de infiltração inicial determina uma taxa de aplicação reduzida (Beal *et al.*, 2006).

A granulometria da areia exerce influência significativa na eficiência do tratamento e na durabilidade do sistema (Rolland *et al.*, 2009). Isso porque problemas com colmatção podem ocorrer em sistemas de disposição no solo, devido ao excesso de biofilme desenvolvido nos interstícios e à carga orgânica aplicada ao sistema.

De acordo com Tomaras *et al.* (2009), é na superfície do solo e nas camadas localizadas logo abaixo dela onde se concentra a camada colmatante. Tal região, ao longo do tempo, começa a apresentar cor escura, elevada concentração de matéria orgânica e alta densidade microbiana.

Além de um método de disposição final de efluentes, a infiltração de esgoto no solo pode também ser considerada um método de tratamento. Sob tal perspectiva, a camada colmatante do solo pode, até certo ponto, elevar a eficiência dos processos físico-químicos e bioquímicos nesta região. No entanto, a obstrução intensa pode levar à disfunção hidráulica e condições anaeróbias no solo (Pavelic *et al.*, 2011).

Devido à insuficiência da rede pública de esgotamento sanitário, a disposição final no solo do esgoto doméstico tratado em sistemas individuais é visto como alternativa única de disposição final dos efluentes. Entretanto, o rápido esgotamento do solo, devido à colmatção, tem causado o transbordamento desses dispositivos, reduzindo a sua vida útil.

Depois de estabelecidas as condições de colmatção, é um grande desafio a recuperação desses sistemas de percolação de esgoto tratado no solo. A limpeza desses dispositivos não é apenas difícil, como também ineficiente, tornando o processo impraticável em muitos casos. Essas dificuldades tornam a desativação dos sistemas colmatados e construção de novas unidades mais vantajosos, demandando novas áreas no terreno.

Assim, a utilização de geotêxteis não tecidos surge como uma opção que pode elevar a eficiência e a durabilidade de dispositivos de

infiltração. Os geotêxteis são elementos que possuem alta permeabilidade e permitem a passagem de fluidos através de sua estrutura, retendo as partículas sólidas, sendo utilizados, portanto, principalmente como dispositivos filtrantes (Das, 2006).

Dessa forma, o recobrimento do solo por tal material pode possibilitar a conservação e renovação da capacidade de infiltração do solo, uma vez que a retenção de material sólido pelo geotêxtil pode reduzir a colmatção no solo. O crescimento de microrganismos e acumulação de material orgânico em geotêxteis foi observada por Mlynarek *et al.*, (1990) em filtros que protegem sistemas de coleta de chorume em aterros sanitários.

A comparação de geotêxteis tecidos e não tecidos aplicados na infiltração de esgoto tratado no solo foi realizada por Yaman *et al.*, (2005). Eles chegaram à conclusão de que os não tecidos são ainda mais eficientes, visto que exercem sua função provocando menor perda de carga no sistema.

Em vez de buscar-se pré-tratamentos, então, que reduzam o aporte de material sólido no solo, estuda-se o geotêxtil como possibilidade de prolongamento da vida útil dos dispositivos de infiltração. Uma das principais vantagens do uso do geossintético é a possibilidade de substituição do material e recuperação do sistema, além do baixo custo da operação. Desta forma, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o uso de geotêxteis não tecidos para redução da colmatção de solo arenoso durante aplicação de esgoto tratado, sob condições anaeróbias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento Experimental

Para avaliar os geotêxteis na preservação da capacidade de infiltração de esgoto em solos arenosos, foram estudadas configurações de unidades piloto de percolação (colunas de infiltração) contendo amostras de solo arenoso, que foram alimentadas com o efluente de um sistema de tratamento composto por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio (TS+FAN).

Foram monitoradas três configurações de colunas de infiltração, cada uma em triplicata: filtro de areia recoberto com geotêxtil não tecido de 130 g/m² (G130); filtro de areia recoberto com geotêxtil não tecido de 300 g/m² (G300); e filtro de areia sem geotêxtil (SG).

Para verificar a influência da perda de carga dos geotêxteis na condutividade hidráulica dos sistemas, foram também monitoradas as três configurações de colunas alimentadas com água potável (AP), proveniente de um poço profundo, sem adição de cloro ou qualquer desinfetante, porém, com colunas em duplicata (Figura 1). Os sistemas eram alimentados continuamente, de maneira que era sempre mantida uma carga hidráulica constante de 10 cm sobre todas as colunas de percolação.

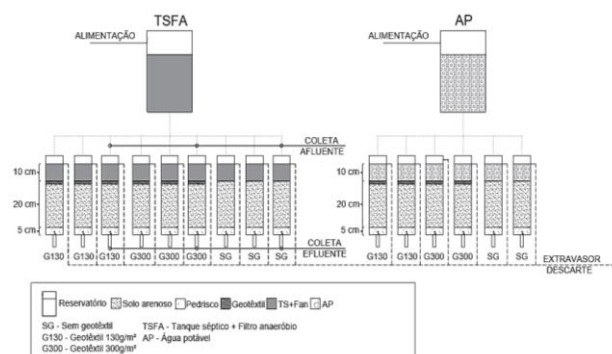


Figura 1. Configuração experimental dos ensaios de percolação.

Ensaio de condutividade hidráulica com carga constante foram realizados semanalmente nos sistemas de percolação (Tabela 1).

Tabela 1. Planejamento experimental para os ensaios de percolação com carga constante

Afluentes	Condições de ensaio
TS+FAN – Efluente tanque séptico + filtro anaeróbio.	CARGA: Constante de 10cm
	RECOBRIMENTO DO SOLO:
AP – Água potável provida de poço profundo	Geotêxtil não tecido 130 g/m ²
	Geotêxtil não tecido 300 g/m ²
	Sem recobrimento

No 38^a dia de experimento, quando a condutividade hidráulica das colunas G130 e G300 atingiram respectivamente 0,07 m/dia e 0,04 m/dia e já não era mais possível tecnicamente realizar a medição da

condutividade hidráulica, foi desativado o sistema. Após a desativação das colunas, no 38º dia, em uma coluna de cada triplicata foi efetuada a análise dos sólidos retidos nos meios filtrantes das colunas através do ensaio de quantificação de matéria orgânica no solo de preenchimento.

2.2 Instalações Experimentais

As colunas aplicadas ao experimento foram fabricadas em material transparente (acrílico), para que fosse possível analisar visualmente a colmatagem do solo. Durante a operação, as colunas foram cobertas com papel alumínio, de forma a anular a incidência de insolação e possível desenvolvimento de algas e outros seres fototróficos.

As colunas de percolação possuíam seção quadrada, com dimensões de 4,5 cm e altura útil de 35 cm, sendo dividida em duas partes interligadas por flanges (Figura 2). O pedrisco contribuiu na distribuição uniforme do escoamento. O fluxo era vertical para baixo e a saída na extremidade inferior das colunas.

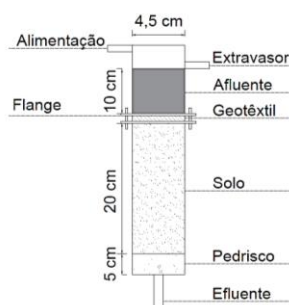


Figura 2. Detalhe das colunas de percolação

As dimensões das colunas foram fabricadas em uma escala adequada que minimizam os requisitos de volume de alimentação, mas garantem que a influência dos efeitos de parede fosse desprezível, conforme sugerido por Smith e Dillon (1997).

O experimento foi construído em um abrigo coberto com lona escura, em local próximo aos sistemas de tratamento dos afluentes (TS+FAn e AP). Desta forma, a alimentação das colunas era realizada continuamente, induzindo o estabelecimento de condições anaeróbias em toda a sua extensão.

O reservatório, que alimentava o sistema de

percolação com afluente TS+FAn, foi abastecido com o uso de uma bomba centrífuga, vinte e quatro horas por dia, bombeando o efluente final do tratamento e recalando para o reservatório de armazenamento, de onde este seguia por gravidade para alimentar as colunas. Para o afluente AP, uma mangueira foi utilizada para abastecer o reservatório.

2.2.1 Solo de Preenchimento das Colunas

O solo utilizado para o experimento foi uma areia com granulometria média, de origem dos sedimentos de dunas. As amostras foram do tipo deformado e coletada na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que fica nas imediações do Parque das Dunas de Natal/RN.

A coleta foi realizada com sacos plásticos a fim de conservar o teor de umidade de campo. O solo secou naturalmente e foi peneirado (abertura da peneira: 2 mm), de forma a eliminar folhas, pedras ou qualquer constituinte. A sua caracterização física foi realizada previamente por Fontoura (2015) (Tabela 2).

Tabela 2. Índices físicos da areia

Índices físicos	Valores
Massa específica dos sólidos	2,62 g/cm ³
Coefficiente de uniformidade	1,861
Coefficiente de Curvatura	0,971
Diâmetro efetivo (D ₁₀)	0,153
Índice de vazios mínimo	0,59
Índice de vazios máximo	0,80

Fonte: Fontoura (2015)

A massa de solo seca introduzida na coluna foi determinada a partir do índice de vazios e da massa específica dos sólidos. O índice de vazios utilizado foi determinado pela Equação (1), considerando a densidade relativa de compactação igual a 70%, uma vez que esse valor é próximo do estado natural da areia compactada (Das, 2006).

$$e = \text{densidade relativa} \cdot (e_{\text{min}} - e_{\text{max}}) + e_{\text{max}} \quad (1)$$

A massa de solo foi colocada em cada coluna de forma fracionada (cinco camadas de 4 cm cada), já que o solo estava seco, sendo necessária a compactação em camadas para obtenção da densidade relativa desejada. Em

cada parcela de solo aintroduzida um soquete de madeira com dimensões compatíveis com a seção transversal das colunas ajudava na compactação do solo.

Quando a variação da condutividade hidráulica entre as colunas de mesma configuração foi igual ou superior a 15%, estas foram montadas novamente e testadas até que sua condutividade estivesse inserida dentro do limite estabelecido, conforme o procedimento sugerido por Pavelic *et al.* (2011).

2.2.2 Geotêxteis Não Tecidos

Duas classificações de geotêxteis não tecidos foram usadas no experimento: 130g/m² (G130) e 300g/m² (G300). O fato de testar diferentes gramaturas foi decidida pelos seguintes questionamentos: observação de qual gramatura impactava mais nas cargas hidráulicas do sistema, influência da espessura do geotêxtil no local onde há formação do biofilme, resistência do material às deformações e intempéries, praticidade e custo de instalação.

Os geotêxteis usados possuem fibras de alta tenacidade, com poliéster e polipropileno além de alta resistência a ataques químicos e biológicos. As propriedades dos materiais se diferenciam principalmente nos aspectos hidráulicos e mecânicos (Tabela 3).

Tabela 3. Propriedades dos geotêxteis utilizados nos experimentos

PROPRIEDADES	G130	G300
Resistência a Tração (kN)	7	16
Resistência ao rasgo trapezoidal (N)	160	340
Resistência ao puncionamento (kN)	1,20	2,60
Abertura média de filtração (µm)	160	110
Permeabilidade normal (cm/s)	0,4	0,4

Fonte: Ober (2015)

O geotêxtil foi aplicado na superfície do solo e fixo por flanges que conectavam a parte inferior da coluna (solo + pedrisco) e a superior (carga hidráulica + extravasamento) (Figura 2). Para evitar vazamentos, foi aplicado silicone junto a flange.

2.2.3 Afluente TS+FAn e AP

O afluente TS+FAn utilizado para abastecer as colunas era oriundo de um sistema de tratamento composto por tanque séptico com duas câmaras em série seguido por filtro anaeróbio. O mesmo recebia esgoto com características essencialmente domésticas, coletado das residências universitárias, do departamento de educação física, do restaurante universitário e do pouso universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

O afluente AP, provinha de um reservatório de distribuição, alimentado por um poço profundo também localizado no campus da UFRN.

2.3 Procedimentos Experimentais e Métodos Analíticos

2.3.1 Ensaios de Condutividade Hidráulica

Os ensaios de condutividade hidráulica foram feitos com carga constante em todas as colunas de solo. O tempo necessário para a coleta de determinado volume do efluente foi medido e, conhecendo fatores como a altura da coluna de solo, a carga hidráulica sobre o solo e a área da seção da coluna, se utilizou da Equação (2) para o cálculo da condutividade hidráulica (Das, 2006):

$$k = \frac{V \cdot L}{t \cdot A \cdot (L + H) \cdot 100} \quad (2)$$

Na equação (2), k é a condutividade hidráulica (m/s), V o volume coletado (ml), L a altura da coluna de solo (cm), t o tempo necessário para coletar V (s), A a área da seção da coluna (cm²) e h a carga hidráulica sobre o solo (cm).

2.3.2 Análise do Solo

Após a desativação do sistema (38^a dia), o solo de preenchimento das colunas foi analisado para obtenção do teor de matéria orgânica ao longo da altura destas.

Para tanto, a coluna foi fracionada em

estratos de 2,5 cm de altura, obtendo-se oito camadas, nas quais foram quantificados os teores de material orgânico e inorgânico. Desta forma, foi possível verificar em qual trecho da coluna houve maior retenção de partículas, além de conhecer a natureza deste material (orgânico ou inorgânico).

O método da calcinação foi utilizado para determinação do teor de matéria orgânica em cada camada de solo. Inicialmente, as amostras foram levadas à estufa (105 °C), onde secaram durante 24 horas, e posteriormente foram pesadas (P0) e levadas à mufla, na qual permaneceram por 5 horas, sendo submetidas à temperatura de 550 °C. Por fim, cada amostra foi pesada novamente (P1) e a diferença entre o peso inicial e o final (P0 – P1) correspondeu ao teor de matéria orgânica (adaptado de Davies, 1974).

2.4 Tratamentos Estatísticos

Foi realizada a análise estatística descritiva dos dados coletados, obtendo-se médias aritméticas das triplicatas para a condutividade hidráulica e a análise do solo. A análise de variâncias (ANOVA) foi realizada com o objetivo de avaliar estatisticamente as diferenças entre as colunas e entre as configurações adotadas dos valores obtidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Condutividade Hidráulica

Nas colunas que foram alimentadas com o efluente do TS+FA_n, a condutividade hidráulica (Figura 3) mostrou diferenças ($p < 0,05$), entre SG e G300, a partir do 7^a dia de experimento até o 38^o, quando testadas dia a dia. G130 também apresentou diferenças significativas com relação à SG, do 24^o ao 38^o dia. Já G130 e G300 foram estatisticamente diferentes nos 31^o e 38^o dias. O processo de colmatção é evidente nessas colunas através da redução da condutividade hidráulica ao longo do tempo.

Em contrapartida, nas colunas SG, G130 e G300 alimentadas por água potável, foi observada diferenças significativas ($p < 0,05$) na

condutividade hidráulica nos 38 dias de experimento (Figura 3). Nesse caso, a condutividade hidráulica reduz com o tempo, tendendo assintoticamente a um valor constante.

A condutividade hidráulica entre as colunas que percolaram água, apresentaram diferenças caracterizadas pela perda de carga provocada pelo geotêxtil. Esse fato também interferiu nas configurações que receberam o efluente do TS+FA_n, sendo a G300 a mais afetada por esse fenômeno.

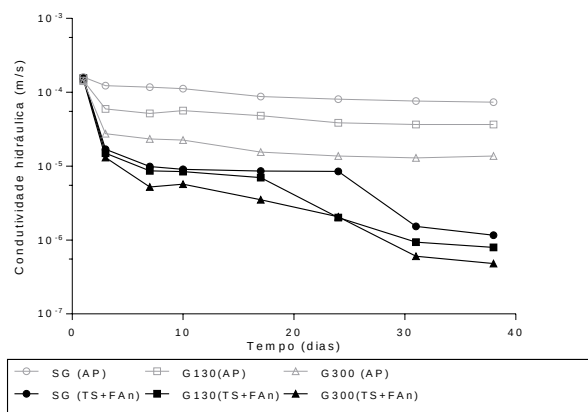


Figura 3. Condutividade hidráulica ao longo do tempo para percolação de AP e TS+FA_n.

Nas colunas que percolaram esgoto tratado, sob condições de anaerobiose, a redução da condutividade hidráulica ocorreu de forma acelerada, assim como em estudos desenvolvidos por Leverenz *et al.* (2009) e Pavelic *et al.* (2011), onde o esgoto tratado foi disposto em solos submetidos a condições anaeróbias.

Oliveira Junior *et al.* (2013) e Beal *et al.* (2006) também analisaram a infiltração no solo de esgoto previamente tratado, através de colunas de percolação sem o uso de geotêxtil, com a aplicação do afluente efetuado em bateladas e provindo de um tratamento aeróbio. Em comparação ao presente experimento, o valor da condutividade hidráulica atingida nos trabalhos citados foi muito superior, indicando estado mais brande de colmatção do sistema. Assim, a presença de oxigênio dissolvido permite a proliferação de uma biomassa aeróbia, que degrada matéria orgânica de forma mais rápida, quando comparada a uma biomassa anaeróbia.

3.2 Análise do Solo

As análises do teor de matéria orgânica das camadas de solo que compunham as configurações do sistema constataram que a colmatção é mais intensa na superfície do solo e logo abaixo dela (Figura 4), fato já evidenciado na literatura (Rice, 1974; Beach et. al, 2005).

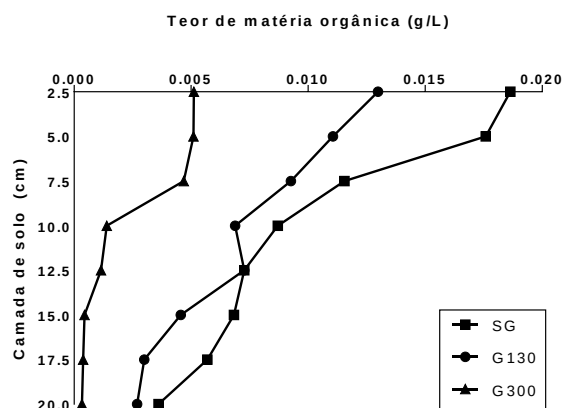


Figura 4. Teor de matéria orgânica por volume infiltrado ao longo das colunas de percolação no 38º dia.

O uso do geotêxtil contribuiu para a redução do teor da matéria orgânica no solo, em especial nas camadas mais superficiais (Figura 4). No entanto, apenas em G300 essa redução foi significativa ($p < 0,05$), quando comparado à configuração SG, no 38º dia.

A partir dos 10 cm superiores de camada de solo, nas configurações com geotêxtil, particularmente no de maior gramatura, o teor de matéria orgânica sofreu pouco acréscimo. Assim, a presença do geotêxtil contribuiu para a conservação do solo, principalmente nas camadas mais profundas.

4 CONCLUSÃO

A aplicação de geotêxteis não tecidos em sistemas de infiltração de esgoto tratado, sob condições anaeróbias, contribui para a conservação da capacidade de infiltração do solo. Devido ao fato de grande parte dos sólidos presentes no afluente permanecer retida no geotêxtil, a colmatção no solo dos sistemas que fazem o uso do geossintético ocorre em

menores proporções, quando comparada à colmatção em configurações sem o geotêxtil.

A proteção do solo com geotêxteis não tecidos proporciona resultados mais eficientes quando utilizados geossintéticos de maior gramatura, quando avaliada a retenção de sólidos. Por outro lado, o geotêxtil de maior gramatura teve uma redução na permeabilidade transversal à manta em um tempo inferior ao de menor gramatura, além de ser mais oneroso.

A falta de aeração em sistemas de percolação acelera a colmatção, interferindo na capacidade de infiltração do solo arenoso. Outros fatores como a taxa de aplicação, carga disponível, temperatura e a qualidade do esgoto tratado lançado no solo, também interferem no processo de colmatção. Estudos que alternem as condições de tais variáveis devem ser realizados, de forma a definir os fatores de maior interferência na capacidade de infiltração do solo e aperfeiçoar os sistemas de disposição.

REFERÊNCIAS

- Baveye, P., Vandevivere, P., Hoyle, B. L., Deleo, P. C., e Sanchez de Lozada, D. (1998). Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 28, pp. 123-191.
- Beach, D., McCray, J., Lowe, K., e Siegrist, R. (2005). Temporal changes in hydraulic conductivity of sand porous media biofilters during wastewater infiltration due to biomat formation, *Journal of Hydrology*, Vol. 311, pp. 230-243.
- Beal, C. D., Gardner, E. A., Kirchhof, G., e N. W. Menzies. (2006). Long-term flow rates and biomat zone hydrology in soil columns receiving septic tank effluent, *Water Research*, Vol. 40, pp. 2327-2338.
- Casarini, D. C. P., Dias, C. L., e Lemos, M. M. G. (2001). Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo, Série Relatórios Ambientais, Vol. 4, São Paulo, CETESB, 73 p.
- Das, B. M. (2006). *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, 6th ed. Sacramento: Thomson.
- Davies, B. E. (1974). Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter, *Soil Science Society of America Proceedings*, Vol. 38, pp. 347-353.
- Fontoura, T. B. (2015). *Comportamento tensão-deformação e resistência ao cisalhamento de uma areia de dunas cimentada artificialmente*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em

- Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 162 p.
- Leverenz, H. L., Tchobanoglous, G., e Darby, J. L. (2009). Clogging in intermittently dosed sand filters used for wastewater treatment, *Water Research*, pp. 695-705
- Mlynarek, J., Lafleur, J., e Lewandowski, J. B. (1990). Field study of long term geotextile performance. *Proceedings of the Fourth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*. The Hague, Netherlands, Vol. 1, pp. 259-262
- OBER. Geofort Geotêxtil: catálogo. Rio de Janeiro, 2015. http://www.obergeo.com.br/catalogo/catalogo_geofort.pdf, acessado em 18/12/2015.
- Oliveira Júnior, J. L., Sousa, J. T. de, e Silva, S. A. da. (2013). Comportamento da Infiltração de Esgotos Domésticos Tratados em Sistemas Anaeróbios. *Conex. Ci. e Tecnol.*, Fortaleza, pp. 18-24
- Pavelic, P. *et al.* (2011). Laboratory assessment of factors affecting soil clogging of soil aquifer treatment systems, *Water Research*, pp. 3153-3163
- Pedescoll, A. *et al.* (2011). The effect of primary treatment and flow regime on clogging development in horizontal subsurface flow constructed wetlands: An experimental evaluation, *Water Research*, pp. 3579-3589
- Pell, M., e Nyberg, F. (1989). Infiltration of wastewater in a newly started pilot sand-filter system: Development and distribution of the bacterial populations, *Journal of Environmental Quality*, Vol. 18, pp. 457-462
- Rice, R. C. (1974). Soil Clogging during Infiltration of Secondary Effluent, *Water Pollution Control Federation*, pp. 708-716
- Rolland, L., Molle, P., Lie'nard, A., Bouteldja, F., e Grasmick, A. (2009). Influence of the physical and mechanical characteristics of sands on the hydraulic and biological behaviors of sand filters, *Desalination*, Vol. 248, pp. 998-1007
- Soleimani, S. V., Geel, P. J., Isgor, O. B., e Mostafa, M. B. (2009). Modeling of biological clogging in unsaturated porous media, *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol. 106, pp. 39-50
- Tomaras, J. *et al.* (2009); Microbial Diversity of Septic Tank Effluent and a Soil Biomat, *Applied and Environmental Microbiology*, Colorado, pp. 3348-3351
- Yaman, C., Martin, J. P., Korkut, E. (2005). Use of Layered Geotextiles to Provide a Substrate for Biomass Development in Treatment of Septic Tank Effluent Prior to Ground Infiltration, *Journal of Environmental Engineering*, pp. 1667-1675
- Smith, A., Dillon, P. (1997). Fluid flow and biogeochemical processes in porous media: a survey of laboratory columns designs, *Centre for Groundwater Studies Report*, Vol. 77