

I-124 - BIOFILTROS EM AREIA – SELEÇÃO DO MEIO FILTRANTE E DESAFIOS OPERACIONAIS

Kalyl Gomes Calixto⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP).

André Bogni

Graduando em Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP).

Lyda Patricia Sabogal Paz

Professora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SHS/EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São-carlense, 400. Parque Arnold Schmidt. São Carlos/SP. CEP: 13566-590. Brasil. Tel: +55 (16) 33739548 - e-mail: kalyl.calixto@usp.br ou lysaboga@sc.usp.br

RESUMO

A busca por soluções tecnológicas simples, eficientes e acessíveis é fundamental para o sucesso de projetos de saneamento em comunidades isoladas – um problema grave que ainda afeta milhões de pessoas. Portanto, a descentralização a nível familiar, incluindo os biofiltros em areia (BFAs), tem-se mostrado uma alternativa viável e sustentável e está entre as mais promissoras abordagens para acelerar os ganhos de saúde e de qualidade de vida associados ao consumo de água potável. Nos BFAs, as características granulométricas do meio filtrante e as particularidades operacionais são fundamentais para o sucesso do tratamento da água. Neste contexto, o presente artigo avaliou diferentes tipos de areias comerciais e analisou aspectos operacionais visando aprimorar o funcionamento dos BFAs. Os resultados indicaram que materiais de alta acessibilidade, como a areia de construção civil, podem ser adequados para seu uso nos biofiltros. Outro aspecto avaliado foi o consumo de água na lavagem dos materiais, que se mostrou elevado e pode inviabilizar o preparo do material em locais com baixa disponibilidade de recursos hídricos. Visando ponderar aspectos operacionais, três BFAs foram montados, a partir de tubos e conexões de PVC utilizados em instalações hidráulicas prediais, e as operações contínua e intermitente foram comparadas qualitativamente. Notou-se que o fluxo contínuo apresentou maior praticidade e segurança, evitando-se a ocorrência de alguns inconvenientes comuns ao fluxo intermitente, que colocaram em risco a eficiência dos BFAs, como o sifonamento e as elevadas taxas de filtração.

PALAVRAS-CHAVE: Biofiltro em areia, comunidades isoladas, tratamento de água, meio filtrante.

INTRODUÇÃO

A busca por alternativas descentralizadas que contemplem as populações de baixa renda, as pequenas cidades e as zonas rurais, de forma universal e sustentável, é fundamental para a redução das desigualdades espaciais e sociais no atendimento sanitário. Nas últimas duas décadas, o tratamento doméstico de água ganhou grande reconhecimento, principalmente em regiões isoladas. Diferentes tipos de tratamento foram desenvolvidos, incluindo soluções alternativas de coagulação, filtração e desinfecção para a geração de água segura para consumo humano (KIKKAWA, 2007).

Entre essas soluções alternativas estão os biofiltros em areia (BFAs) que são filtros lentos domiciliares com peculiaridades construtivas e operacionais. O BFA foi desenvolvido na década de 1990 quando se pensou que um filtro lento, em pequena escala, poderia operar em fluxo intermitente ou em fluxo contínuo desde que a camada biológica (*schmutzdecke*) fosse formada e esta ficasse estável ao longo da carreira de filtração. A eficiência do BFA já foi confirmada em diversos trabalhos científicos (ELLIOT et al., 2008; CAWST, 2010; JENKINS et al., 2011).

As características granulométricas do meio filtrante do BFA são fundamentais para a concepção do sistema; portanto, dentro do contexto de comunidades isoladas, percebe-se a importância de se avaliar diversos

materiais filtrantes de fácil acesso e de baixo custo. Igualmente, é essencial analisar alguns aspectos operacionais visando ponderar a futura implantação da unidade em escala real.

OBJETIVOS

Caracterizar a granulometria de areias de fácil acesso visando apoiar o processo de seleção do meio filtrante em biofiltros e, também, avaliar alguns aspectos operacionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Quatro tipos de areias de diferentes origens e características granulométricas foram adquiridos: i) areia fina de construção civil; ii) areia fina de filtro de piscina; e iii) dois tipos de areias específicas para filtros lentos de estações de tratamento de água (ETAs). Esses materiais foram previamente lavados e peneirados.

A lavagem dos materiais foi feita com água de baixa turbidez extraída de um poço localizado no Campus I da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP). Nesse procedimento foi medida a turbidez das águas do poço e de limpeza dos materiais. O consumo de água por quilo de material lavado foi mensurado. Por fim, os materiais lavados e secos foram peneirados em uma peneira de abertura de 1,0 mm, comercialmente conhecida como peneira de fubá.

As curvas de distribuição granulométrica das areias foram determinadas por meio de ensaios seguindo as recomendações da ABNT NBR 11799:1990 (Material Filtrante - Areia, antracito e pedregulho), no Laboratório de Pilotos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP. As peneiras utilizadas foram da série americana ASTM entre os números 16 e 70, com aberturas correspondentes entre 1,18 mm e 0,212 mm, respectivamente. Outros índices físicos, como massa específica seca (ρ_d), massa específica dos sólidos (ρ_s) e porosidade (n) também foram determinados segundo as recomendações de Nogueira (1998), no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Geotecnia da EESC/USP.

No Laboratório de Pilotos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP foram construídos três biofiltros, seguindo a proposta inovadora de Magalhães e Sabogal Paz (2013) que utiliza tubulações e conexões de PVC de instalações hidráulicas prediais. Os meios filtrantes utilizados nesses biofiltros foram os anteriormente preparados, sendo que um deles resultou da mistura (em partes iguais) de areias específicas para ETA. A espessura adotada do meio filtrante foi de 55 cm. O tempo de construção das unidades também foi quantificado. Após a construção, os biofiltros foram operados e avaliados durante seis meses, buscando identificar os cuidados necessários e as recomendações de operação.

RESULTADOS

A primeira parte consistiu na preparação e caracterização das areias utilizadas. A Tabela 1 apresenta os consumos de água por quilo de material lavado. Em cada BFA foram necessários cerca de 40 kg de areia seca para atingir a espessura de 55 cm de material filtrante e, portanto, foram gastos cerca de 2000L de água para preparar cada biofiltro. Esse alto consumo pode ser um limitante na adoção dos BFAs em comunidades com baixa disponibilidade de recursos hídricos.

Tabela 1: Consumo de água para lavagem dos meios filtrantes utilizados.

Materiais	Consumo de água (L/kg)	Turbidez média (NTU)		
		Água do poço	Água da primeira lavagem	Água da última lavagem
Areia de construção civil	50	0,43	471	7
Areia de filtro de piscina	40	0,63	151	14
Areia específica de filtro lento (Tipo 1 ou ETA1)	40	0,18	153	19
Areia específica de filtro lento (Tipo 2 ou ETA2)	60	0,32	492	4

Os resultados dos ensaios granulométricos são apresentados na Figura 1 e Tabela 2. Levando-se em consideração as divergências encontradas na literatura, são recomendados tamanhos efetivos (D_{10}) entre 0,10mm e 0,30mm e coeficientes de uniformidade (CU) entre 1,5 e 3,0 (KIKKAWA, 2007; CAWST, 2010). Nota-se, portanto, que a areia de construção civil e a resultante da mistura das areias Tipos 1 e 2 (em partes iguais) obtiveram resultados satisfatórios, tendo o tamanho efetivo e o coeficiente de uniformidade dentro dos intervalos recomendados.

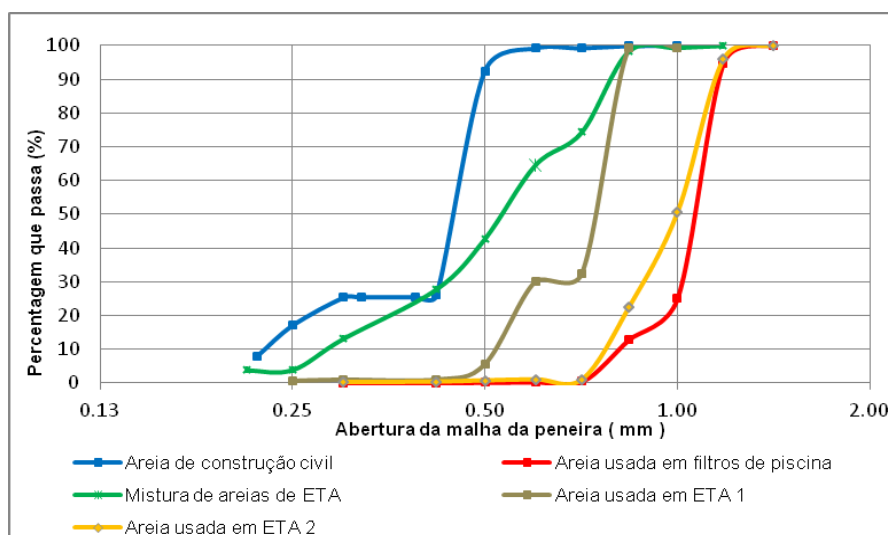


Figura 1: Curvas granulométricas dos meios filtrantes.

Tabela 2: Tamanhos efetivos e coeficientes de uniformidade dos meios filtrantes.

Meio Filtrante	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	CU=D ₆₀ /D ₁₀
Areia de construção civil	0,22	0,46	2,04
Areia de filtro de piscina	0,82	1,10	1,34
Areia específica de filtro lento (Tipo 1 ou ETA1)	0,52	0,77	1,48
Areia específica de filtro lento (Tipo 2 ou ETA 2)	0,78	1,05	1,35
Areia misturada (Tipo 1 + Tipo 2, em partes iguais)	0,28	0,58	2,04

A areia de piscina e as areias Tipo 1 e 2 apresentaram características não recomendáveis para seu uso como meio filtrante, em função, principalmente, do elevado tamanho efetivo. Observou-se, entretanto, que é possível obter uma areia satisfatória com a mistura das areias não adequadas.

A porosidade mínima dos materiais (n_{min}) foi determinada a partir da massa específica dos sólidos (ρ_s) e da massa específica seca máxima ($\rho_{d,máx}$), correspondente a um elevado grau de compactação (Tabela 3), possibilitando estimar a quantidade de água presente nos poros do meio filtrante – variável importante na análise de aspectos hidrodinâmicos e operacionais do biofiltro.

Tabela 3: Índices físicos dos meios filtrantes.

Meio Filtrante	ρ_s (g/cm ³)	$\rho_{d,máx}$ (g/cm ³)	n_{min} (%)
Areia de construção civil	2,644	1,686	36
Areia de filtro de piscina	2,646	1,596	40
Areia misturada (Tipo 1 + Tipo 2, em partes iguais)	2,634	1,490	43

Os resultados mostram que materiais de alta acessibilidade, como a areia fina de construção civil, podem apresentar características apropriadas para seu uso em BFAs, o que pode fazer, destes biofiltros, alternativas viáveis em pequenas comunidades.

A segunda parte do trabalho consistiu na construção e operação dos BFAs. A montagem dos filtros foi considerada rápida e fácil, levando cerca de 2 horas com duas pessoas trabalhando, tendo os materiais granulares (do meio filtrante e da camada suporte) previamente preparados.

Inicialmente, os BFAs foram operados em fluxo intermitente com volumes de recarga de, aproximadamente, 15L. Nas unidades com areia de piscina (elevado D_{10}) e com areia misturada (tipos 1 e 2, em partes iguais) foram verificadas baixas perdas de carga iniciais e elevadas taxas de filtração. Nas mesmas unidades, problemas de sifonamento foram identificados, levando ao rebaixamento do nível mínimo de água e até mesmo à secagem do sobrenadante, colocando em risco o desenvolvimento da camada biológica no topo do meio filtrante e, consequentemente, reduzindo a eficiência dos BFAs.

Visando evitar esses problemas, a operação em fluxo contínuo foi testada, sendo viabilizada pela instalação de um reservatório de água próximo aos BFAs. Esse tipo de operação demonstrou maior praticidade e segurança para o usuário, uma vez que a recarga é feita diretamente no reservatório, sendo possível fazer um controle da taxa média de filtração (por meio do uso de registros) e manter o sobrenadante em condições satisfatórias de oxigênio dissolvido e nutrientes. Além dessa constatação favorável à operação contínua, trabalhos recentes comparando o tipo de operação indicam maior eficiência na remoção de patógenos quando o BFA é operado continuamente (YOUNG-ROJANSCHI e MADRAMOOTOO, 2014).

Para a operação contínua foi tomado o cuidado de se instalar telas de proteção contra insetos para evitar a entrada deles no espaço deixado entre a tampa e a mangueira que transfere a água do reservatório para o BFA. Nenhum outro problema foi identificado ao longo da operação dos biofiltros.

CONCLUSÕES

Ao avaliar as areias de fácil acesso foi possível identificar, em especial, para a areia fina de construção civil, características adequadas para seu uso como meio filtrante em biofiltros em areia, o que pode viabilizar a construção dessas unidades em comunidades isoladas. Não obstante, a elevada quantidade de água necessária à lavagem pode ser um problema dependendo da disponibilidade do recurso na região. Igualmente, mais pesquisas sobre o assunto devem ser realizadas, principalmente, avaliando a qualidade e a origem das areias a serem utilizadas para evitar a presença de impurezas na água filtrada.

O biofiltro operado em fluxo contínuo pode ser mais seguro e prático para o usuário. No entanto, outros aspectos ainda precisam ser avaliados, como o comportamento hidrodinâmico da unidade e o desenvolvimento da camada biológica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo auxílio à pesquisa regular (Processo nº 2014/12712-8) e pelas bolsas de iniciação científica (Processos nº 2014/12376-8 e 2014/12380-5) outorgadas em 2014 e, igualmente, são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CPNq pelas bolsas de iniciação científica referentes a 2013.

Uma parte dos resultados foi apresentada no 22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – 22 SIICUSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11799: 1990. Material Filtrante – Areia, antracito e pedregulho – Especificação. Rio de Janeiro.
2. CAWST (CENTRE FOR AFFORDABLE WATER AND SANITATION TECHNOLOGY). Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance. CAWST Training Manual. Canada. 2010.
3. ELLIOT, M.A. et al. Reductions of *E. coli*, Echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter. *Water Research*, v.42, p. 2662-2670, 2008.
4. JENKINS, M.W; TIWARI, S.K; DARBY, J. Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water Research*, v.45, p. 6227 – 6239, 2011.

5. KIKKAWA, I. Modification of a biosand filter in the northern region of Ghana. 2007. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). MIT (Cambridge/EUA).
6. MAGALHÃES, E. V.; SABOGAL PAZ, L. P. Filtração Lenta Domiciliar como Alternativa de Tratamento de Água para Comunidades Isoladas do Brasil – Desafios na Construção. In: 21º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – SIICUSP. São Carlos/SP. 2013.
7. NOGUEIRA, J. B. Mecânica dos solos: ensaios de laboratório. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/ Universidade de São Paulo, 1998.
8. YOUNG-ROJANSCHI, C; MADRAMOOTOO, C. Intermittent versus continuous operation of biosand filters. Water Research, v.49, p. 1–10, 2014.