

FILTRO DE ÁGUA PARA ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM FLUXO REVERSÍVEL¹

WATER FILTER FOR SURFACE RUNOFF WITH REVERSIBLE FLOW

Rodrigo Pires Bortoluzzi², Afranio Almir Righes³ e Galileo Adeli Buriol⁴

RESUMO

A demanda mundial por água até 2050 deve crescer cerca de 55%. O reuso das águas pluviais vem da aplicação de métodos que utilizam a água da chuva para usos futuros. A técnica consiste em interceptar, transportar e armazenar as águas pluviais para diminuir o escoamento superficial, e assim, é possível reduzir o uso de água potável. O objetivo neste trabalho foi desenvolver um filtro de fluxo reversível para águas superficiais, viabilizando o uso da água do escoamento superficial para o uso não potável com maior qualidade e avaliar a eficiência do sistema de retrolavagem na remoção dos sólidos retidos na filtração. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano, situado em Santa Maria-RS, no período de agosto a dezembro de 2015. A granulometria da areia do filtro variou de 0,3 mm até 1,2 mm, com sua maior concentração entre 0,3 mm e 0,6 mm, com 3,73 cm min.⁻¹ de condutividade hidráulica saturada. O filtro de água de escoamento superficial com área de 0,71 m² funcionando sem pressurização, por ação da gravidade, tem capacidade máxima de filtração de 2,96m³ h⁻¹. O processo de filtração da água do escoamento superficial melhorou a qualidade da água em 44,30% na cor e 15,29% na turbidez.

Palavras-chave: granulometria; resíduos sólidos; retrolavagem.

ABSTRACT

Global water demand is projected to increase 55 percent by 2050. Rainwater reuse is based on specific methods such as intercepting, transporting and storing, which employ rainwater in future applications. By means of such techniques, it is possible to decrease surface runoff, thus reducing the use of drinking water as well. The objective of this study was to develop a reversible flow filter for surface water, enabling the use of runoff water for non-potable use with higher quality, and assess the backwash system efficiency in removing the solids retained in the filter. The study was conducted in the Environmental Engineering Laboratory at the Franciscan University of Santa Maria/RS from August to December 2015. The particle size of the sand found in the filter ranged from 0.3mm to 1.2mm, with its higher concentration between 0.3mm and 0.6mm, and with saturated hydraulic conductivity of 3.73cm min⁻¹. The surface runoff filter, with an area of 0.71 m² and running only by gravity, i.e. without pressurizing it, has a maximum filtration capacity of 2.96m³ h⁻¹. The filtering process of water runoff improved water quality in color by 44.30% and turbidity (clarity) by 15.29%.

Keywords: particle size analysis; solid residues; backwash.

¹ Trabalho Final de Graduação - TFG.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano. E-mail: rodrigoborto@hotmail.com

³ Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: righes@unifra.br

⁴ Colaborador - Centro Universitário Franciscano E-mail: galileo@unifra.br

INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório da ONU, a demanda mundial por água até 2050 deverá crescer cerca de 55%. Enquanto isso, o crescimento demográfico nos próximos 40 anos está estimado em dois a três bilhões de pessoas. Segundo May (2004), a falta de saneamento básico, desmatamento, poluição de rios e a má gestão desses recursos agravam a escassez de água e tornam-se problemas comuns nos dias de hoje. Nesse contexto, torna-se necessário filtrar e armazenar a água do escoamento superficial para atender às demandas futuras. Para tal, há necessidade de filtros que funcionem por gravidade e que sejam de fluxo reverso para facilitar a limpeza.

No Brasil, a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) define os requisitos para o aproveitamento da água da precipitação pluviométrica para fins não potáveis coletada de coberturas de casas em áreas urbanas. Além disso, a lei estabelece que, em casas que não apresentam calhas coletoras de água das precipitações pluviométricas e em áreas de estacionamentos, se o escoamento superficial passar por filtros, poderá ser coletado e armazenado em cisternas. Nesse caso, o mais indicado são filtros de areia que permitem a filtração da água por gravidade.

A função do filtro é reter partículas sólidas e impurezas contidas na água. Filtros de areias são utilizados para reter partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água. Esses filtros, com camada de areia de 0,6 a 0,9 m de espessura, com granulometria que varia de 0,104 a 1,00 mm de diâmetro, são muito eficazes como material filtrante (CISAM, 2006).

Na filtração da água por gravidade, a granulometria da areia e a altura das camadas filtrantes podem ser alteradas em função da finalidade. O seu funcionamento depende da aplicação de fluxo com certa carga hidráulica sobre a superfície de areia. Os filtros de areia são utilizados para altas vazões e para remoção de sedimentos e partículas iguais ou maiores do que 25 micras. A areia com granulometria de 0,5 a 0,9 mm tem eficiência na retenção de partículas de limo, lodo, grãos de areia com diâmetros superiores a granulometria do filtro, removendo a turbidez e melhorando a qualidade da água. A granulometria depende do tipo de filtro: para filtros de baixa vazão, utilizam-se tamanhos de grãos entre 0,25 e 0,35 mm, para filtros de médias vazões, granulometria entre 0,4 mm e 1 mm e para filtros de alta taxa de filtração, granulometria entre 0,8 e 2,0 mm (NATURALTEC, 2011).

Para granulometria de 0,5 a 0,9 mm, a norma da NBR 12216 (ABNT, 1992), que trata do projeto de estações de tratamento de água para abastecimento público, estabelece taxas máximas de filtração para camada simples e duplas com vazões entre 180 e 360 m³ m⁻² dia⁻¹. A eficiência da filtração da água do escoamento superficial com sua composição e volume depende muito do tempo, tipos de poluentes, como metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, nutrientes e bactérias que consomem oxigênio (TUCCI, 2000).

A norma EB-2097 (ABNT, 1990) define as condições para instalação das camadas filtrantes de areia e pedregulho em filtros de abastecimento público de água. Segundo Di Bernardo (1993), o sistema

de tratamento com filtração lenta é econômico, eficiente e adequado às condições brasileiras. A filtração lenta, por diminuir drasticamente o fluxo em determinadas épocas do ano, quando ocorre menor vazão do filtro, tem a desvantagem de aumentar os valores de turbidez e, conseqüentemente, reduzir a vazão da água pelas camadas do filtro, o que resulta efluente com qualidade inferior. Em função disso, é importante proporcionar rapidamente a limpeza dos filtros. Após vários processos de filtragem, ocorre a retenção de muitas partículas suspensas no meio filtrante. Com o passar do tempo, os filtros tonam-se obstruídos, o que ocasiona o aumento da perda de carga. Nesse caso, é necessária a realização de limpeza para a retirada das impurezas acumuladas. Isso pode ser realizado pela inversão do fluxo a partir do tubo de saída. Esse processo denomina-se retrolavagem e restabelece a eficiência original de filtragem do equipamento.

No processo de retrolavagem, é necessário que haja uma abertura (dreno) na entrada do filtro para eliminar os resíduos sólidos retidos e, ainda, um sistema de acionamento manual ou automático para inverter a direção do fluxo de saída da água filtrada (TESTEZLAF, 2008). A retrolavagem é recomendada quando a perda de carga é de 10 a 20% daquela com filtro limpo (SILVA; MANTOVANI; RAMOS, 2003). Com o decorrer do tempo de filtração, as impurezas se acumulam no meio e na superfície da camada filtrante, causando a perda de carga entre 40 a 60 kPa, momento em que é necessário fazer a limpeza do filtro (PIZARRO, 1996).

Nos catálogos brasileiros sobre filtros de água do escoamento superficial com retrolavagem, são encontradas poucas informações referentes à vazão de retrolavagem. Isso dificulta a estimativa desse parâmetro. Em decorrência dessas dificuldades, utilizando-se vazões excessivas, ocorrem perdas de areia no refluxo, ou falsa limpeza do filtro pela aplicação de valores menores de vazão, tendo como consequência a colmatação da camada filtrante (TESTEZLAF, 2008).

O objetivo, no trabalho, foi desenvolver um filtro de fluxo reversível para o aproveitamento de água do escoamento superficial em área urbana, para viabilizar o uso não potável com mais qualidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido junto ao Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano, Santa Maria-RS, no período de agosto a dezembro de 2015. Os materiais filtrantes utilizados no filtro foram brita, areia e manta geotêxtil (bidim). Na areia, foi determinada a condutividade hidráulica saturada $K_{(0)}$ pelo método do permeâmetro de carga constante, com diâmetros de partículas de 1,2 mm, 0,60 mm, 0,30 mm e da areia comercial de construções que foi utilizada no filtro na qual foi determinada por peneiramento a distribuição percentual das partículas da areia. Para cada granulometria da areia, foram montados cilindros de Uhland com três repetições, como mostrado nas figuras 1a e 1b.

Na areia, foi determinada a condutividade hidráulica saturada $K_{(0)}$ pelo método do permeâmetro de carga constante, com diâmetros de partículas de 1,2 mm, 0,60 mm, 0,30 mm. Já a distribuição percentual das partículas da areia comercial de construções, utilizada no filtro, foi determinada por

peneiramento. Para cada granulometria da areia, foram montados cilindros de Uhland com três repetições, como mostrado nas figuras 1a e 1b.

Figura 1 - Cilindros de Uhland com areia (a) e permeâmetro de carga constante (b).



Os valores da condutividade hidráulica saturada para cada uma das amostras de areia foram obtidos pela equação de Darcy (PLINIO, 2010) (Equação 1).

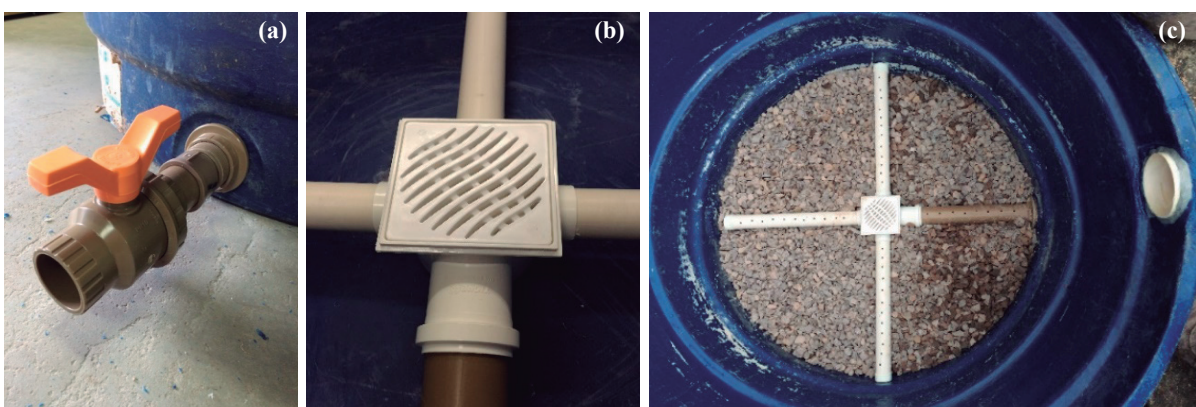
$$Q = K_{(o)} \frac{(h_2 - h_1)}{L} A t, \quad [1]$$

na qual Q é a vazão (cm^3); $K_{(o)}$, a condutividade hidráulica saturada (cm h^{-1}); $h_2 - h_1$, a diferença piezométrica (cm); L , o comprimento da amostra (cm); A , a área da seção transversal (cm^2); e t , o tempo (h).

A montagem do filtro foi realizada em reservatório de fibra de vidro em formato cilíndrico com capacidade de 500 L. Na parte inferior do reservatório, foram instalados tubos perfurados distribuídos de forma radial para a coleta da água filtrada e, também, para distribuir uniformemente o fluxo da água pressurizada durante o processo de retrolavagem.

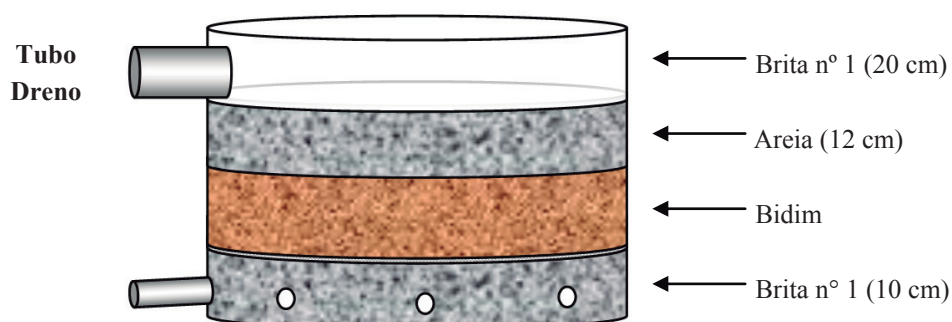
Instalado o reservatório no solo, na lateral, próximo ao fundo, foi conectada o flange ao registro por meio do tubo de PVC de 50 mm (Figura 2a). Na parte inferior do reservatório, foi feita a conexão da caixa coletora da água filtrada com os tubos radiais (Figuras 2b e 2c). Os tubos foram perfurados de duas formas: transversal e horizontalmente, para que tivessem o mesmo número de furos (Figura 2c).

Figura 2 - Registro (a), caixa coletora (b) e canos PVC radialmente perfurados (c).



Com o sistema de tubos montados no reservatório de água, foi distribuída de forma uniforme uma camada de brita nº 1 de 10 cm para ocupar todos os espaços da caixa. Após cobrir totalmente a caixa coletora (Figura 3), foi colocada sobre a camada de brita a manta geotêxtil (bidim) no formato cilíndrico, cobrindo toda a brita para que a areia não passasse para a brita quando em uso. A seguir, sobre a manta de geotêxtil (bidim), foi colocada a camada de 12 cm de areia e sobre a areia outra camada de brita nº 1 com 20 cm de altura para completar a última camada do elemento filtrante, atingindo a altura do tubo dreno.

Figura 3 - Esquema do filtro de areia para escoamento de água superficial com fluxo reversível e disposição das camadas do material filtrante.



Na parte superior do filtro, foi fixado com durepox o tubo dreno de 100 mm com 40 cm de comprimento (Figura 4a), para que os sedimentos retidos no filtro, no processo de retrolavagem sejam eliminados. Ao lado do filtro, foi instalado um reservatório com capacidade de 200 L para armazenar água limpa utilizada no processo de retrolavagem.

O escoamento superficial foi simulado adicionando-se no reservatório de 200 L (água limpa) 38,4 g de resíduos sólidos como folhas, fragmentos orgânicos, gramíneas (seco ao ar) e 5,30 Kg de solo (seco ao ar). Os resíduos sólidos e o solo adicionados no reservatório foram homogeneizados e, imediatamente, foram coletadas três amostras para avaliar as características físicas do escoamento superficial simulado. Após a passagem da água do escoamento superficial pelo filtro, foram coletadas mais três amostras da água filtrada para as análises de turbidez e cor, antes e depois da passagem pelo filtro. Para tal, foram utilizados o Turbidímetro e o Colorímetro, respectivamente. Com base nesses resultados, foi determinada a eficiência relativa do filtro na melhoria da qualidade da água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição percentual da granulometria da areia comercial utilizada no filtro foi de 6,17% com diâmetros entre 1,2 e 1,6 mm; 10,75% entre 0,6 e 1,2 mm; 65,08% entre 0,3 e 0,6 mm e; 18,00% não classificado. A condutividade hidráulica saturada dessa areia comercial foi de 3,73 cm min⁻¹. Assim, com camada de 12 cm de areia filtrante no reservatório de 500 L, obteve-se a vazão máxima de filtragem equivalente a 20 L em 24,25 segundos, o que corresponde a 2.969,07 L h⁻¹, equivalente a 2,96 m³ h⁻¹.

Os resultados da condutividade hidráulica saturada das três granulometrias de areia encontram-se na tabela 1. Observa-se que a condutividade hidráulica saturada para o diâmetro de partícula de 0,60 mm é de 3,49 cm h⁻¹, sendo semelhante ao valor obtido da amostra de área comercial, o que facilitou a montagem do experimento.

Tabela 1 - Valores médios da condutividade hidráulica saturada da areia com diferentes granulometrias.

Peneiras (ABNT/ASTM)	Granulometria da areia (mm)	Condutividade hidráulica saturada (cm h ⁻¹)
50	0,30	2,99
30	0,60	3,49
16	1,20	4,53

Após os testes de filtragem da água, quando a vazão foi reduzida em aproximadamente 15% da vazão inicial, foi realizada a retrolavagem do filtro, acoplando-se na tubulação de saída do filtro uma moto-bomba de 1 CV para realizar a reversão de fluxo com água limpa do reservatório de 200 L. Os resíduos sólidos retidos pelo filtro foram carregados pelo fluxo reverso de 400 L da água da retrolavagem para o tubo dreno de 100 mm que os direcionou para o tanque coletor. Com o fluxo reverso, as partículas sólidas foram eliminadas limpando as impurezas que foram retidas no processo de filtragem. A eficiência da retrolavagem foi determinada a partir dos dados dos parâmetros físicos da água analisados em laboratório antes e depois do processo. Nas figuras 4b e 4c, pode-se observar o visual do filtro antes e após a retrolavagem.

Figura 4 - Vista superior do experimento com a localização do filtro e do reservatório (200L) com água limpa (a) e aspecto visual da água antes (b) e após o processo de retrolavagem (c).



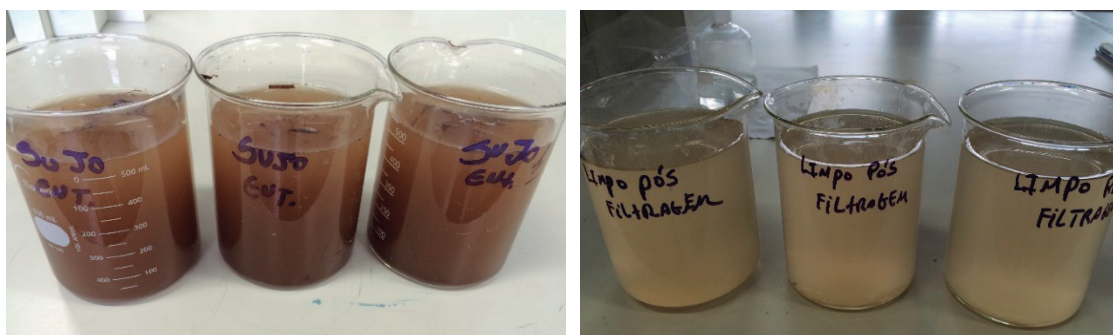
O filtro proporcionou uma limpeza considerável na água com um ciclo de filtragem quando comparado com a água limpa (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros físicos da água antes e após a passagem pelo filtro com respectivas percentagens de limpeza.

Parâmetros Físicos	Água limpa	Água suja	Água após filtragem	Limpeza (%)
Cor (uH)*	13,0	483,0	214,0	44,30
Turbidez (NTU)**	0,11	989,3	151,3	15,29

* Unidade de hazen ** Nephelometric turbidity unit

Na figura 5, pode-se visualizar, pela coloração, a variação da concentração de partículas na água antes e após a filtragem. Pelos resultados, pode-se inferir que o filtro foi eficiente no processo de filtragem, pois melhorou a qualidade da água, o que pode ser constatado pela redução de 44,30% na cor e 15,29% na turbidez (Tabela 2).

Figura 5 - Aspecto visual das amostras de água antes e após a passagem pelo filtro.

Na retrolavagem, foram usados 400 L de água limpa, que, no final do processo, aumentou a cor de 13,0 para 245,3 uH e na turbidez passou de 0,11 para 453,6 NTU (Tabela 3). Assim, nota-se que na água da retrolavagem, houve aumento significativo dos parâmetros avaliados indicando a eficiência do uso do fluxo reverso na limpeza do filtro.

Tabela 3 - Aumento dos parâmetros físicos após a retrolavagem.

Parâmetros físicos	Água limpa	Retrolavagem
Cor (uH)*	13,0	245,3
Turbidez (NTU)**	0,11	456,3

* Unidade de hazen ** Nephelometric turbidity unit

Segundo Testezlaf (2008), os filtros com fluxo reverso não proporcionam 100% de eficácia, o que se atribui à ocorrência da colmatação na camada filtrante, fazendo com que o filtro não atinja todo o seu potencial com o decorrer do uso. Considerando que a vazão máxima do filtro é de 2.969,07 L h⁻¹, que equivale a 2,96 m³ h⁻¹ e que a área média no centro da camada de areia filtrante é de 0,71 m², é possível estimar a área filtrante necessária para uma determinada vazão de escoamento superficial. A perda de carga em filtros de areia pode ser afetada pelas características do meio filtrante durante a retrolavagem. Essas perdas são reduzidas com o aumento da vazão (BRUT, 2010). Segundo Salcedo (2010), as perdas de carga não são afetadas pela altura da camada de areia utilizada.

Os dados permitem, também, para uma dada precipitação pluvial, calcular o volume de escoamento superficial e determinar área máxima de captação do escoamento superficial que o filtro pode operar. Exemplo: para uma precipitação de 30 mm h^{-1} , que corresponde a 30 L m^{-2} , ou seja, $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, a área de captação do fluxo superficial que será filtrado pode ser obtida dividindo-se a vazão máxima do filtro avaliado ($2,96 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) pelo volume de água da chuva $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. A partir desse cálculo, se obtém a área de captação de água igual a $98,67 \text{ m}^2$.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi desenvolvido o filtro de fluxo reversível para o aproveitamento de água do escoamento superficial em área urbana, e concluiu-se que:

- a) A condutividade hidráulica saturada da areia comercial com 65,08% de diâmetro de partículas entre 0,3 e 0,6 mm, utilizada no filtro de fluxo reverso, é de $3,73 \text{ cm min}^{-1}$;
- b) O filtro de fluxo reverso para escoamento superficial com área de $0,71 \text{ m}^2$ de elemento filtrante, pela ação da gravidade tem capacidade máxima de filtragem de $2,96 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$;
- c) O processo de filtragem da água do escoamento superficial melhora a qualidade da água em 44,30% na cor e 15,29% na turbidez;
- d) O fluxo reverso permite a eliminação dos resíduos retidos no filtro com eficiência.
- e) Dada uma precipitação pluvial a partir desse sistema, é possível viabilizar o uso da água do escoamento superficial para finalidade não potável com mais qualidade, devido à eficiência do sistema de retrolavagem na remoção dos sólidos retidos na filtragem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB-2097**: Material filtrante Areia, antracito e pedregulho. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Aproveitamento da água da chuva proveniente de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro, 2007.

BURT, C. M. **Hydraulics of commercial sand media filters tanks used for agricultural drip irrigation: criteria for energy efficiency**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center, 2010. (Report N. R10-001). Disponível em: <<https://goo.gl/bDKh3T>>. Acesso em: set. 2015.

CISAM/AMVAP - CONSELHO INTERMUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de Saneamento Ambiental**. Uberlândia/MG: CISAM, 2006.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. v. 1 e 2.

MAY, S. **Estudo da viabilidade de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

NATURALTEC. **Filtros para água com areia especial**. Naturaltec. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/eWsqni>>. Acesso em: maio 2015.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996, p. 511.

PLINIO, T. **Curso de manejo de águas pluviais**. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/yCWzSY>>. Acesso em: 06 nov. 2015.

SALCEDO, J. C. R. **Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia**. 2010. 159 f. Tese (Mestrado em Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2010.

SILVA, L. G. F.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Irrigação localizada. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**, Piracicaba: SBEA, v. 2, cap. 12, p. 259-309, 2003. (Série Engenharia Agrícola).

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: Teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2000. p. 391-441.

