

Roberto Testezlaf
Fábio Ponciano de Deus
Marcio Mesquita

Filtros de areia na irrigação localizada



UNICAMP

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola
Campinas (SP), 2014

T288 Testezlaf, Roberto

Filtros de areia na irrigação localizada / Roberto Testezlaf, Fábio Ponciano de Deus, Marcio Mesquita. - Campinas, SP : UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2014.

56 p.

ISBN 978-85-99678-05-3

1. Irrigação. 2. Irrigação - Técnica. 3. Filtros e filtração I. Testezlaf, Roberto. II. Deus, Fábio Ponciano de. III. Mesquita Marcio. IV. Título.

CDD 631.7

660.284245

Filtros de areia na irrigação localizada

Equipe Participante

Coordenação do Projeto:

Roberto Testezlaf
Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP
Grupo de Pesquisa Tecnologia de Irrigação e Meio Ambiente

Revisão de Vêrnaculo:

Maria Angela Manzi da Silva

Criação da Capa e Editoração Eletrônica:

Quebra-Cabeça
Editoração Eletrônica e Artes Gráficas
qcartesgraficas@terra.com.br
Fone: (19) 997292463

Foto Capa:

João Alberto Antunes
Gotejar/Irrigabrás

Impressão e Acabamento:

CCS Artes Gráficas
Fone: (19) 3254-7324
www.ccsartesgraficas.com.br

Tiragem:

500 exemplares (abril de 2014)

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação do Copyright © (Lei nº 9610)



Prefácio

A decisão de realizar pesquisas com filtros de areia pressurizados surgiu após contatos com o setor da citricultura paulista, em 2006, a qual se deparava com alguns problemas na adoção de sistemas de irrigação localizada. A presença constante de impurezas nas águas superficiais associada à baixa eficiência de remoção dos filtros estava reduzindo a uniformidade de distribuição da água dos sistemas devido à obstrução de emissores, afetando o seu desempenho hidráulico, acarretando aumento dos custos operacionais e gerando riscos aos investimentos na atividade. A busca pela solução desses problemas foi a motivação necessária para criar uma linha de pesquisa sobre filtros de areia.



A possibilidade de se criar um manual técnico sobre filtros de areia só ocorreu depois de sete anos de pesquisas sobre o tema, e com a finalização de projetos desenvolvidos por alunos de graduação e pós-graduação, os quais com minha orientação, buscaram, com dedicação, responder dúvidas que contribuíssem para a melhoria do projeto e do emprego adequado desses equipamentos no campo.

Dessa forma, é preciso reconhecer a participação importante dos Engenheiros Marcio Mesquita e Fábio Ponciano de Deus, que além da contribuição de seus trabalhos de Pós-Graduação, são coautores deste texto, colaborando para torná-lo um texto de fácil entendimento aos leitores. Adicionalmente, cito o Eng. Juan Camilo Ramirez Salcedo, pelo seu trabalho com retrolavagem, e dos alunos de Iniciação Científica: Adriana de Freitas, Bruno Baptista Nunes, Marcelo Bueno dos Santos e Renato Traldi Salgado, que com seus esforços avançaram no conhecimento sobre filtragem em irrigação.

Agradeço as instituições e empresas que direta ou indiretamente permitiram o desenvolvimento do material aqui disponibilizado. A Universidade Estadual de Campinas e sua Faculdade de Engenharia Agrícola que proveram as condições necessárias de infraestrutura para a realização das pesquisas. Destaco também as empresas nacionais fabricantes de filtros que participaram dessas atividades. Uma, de forma mais efetiva, a Hidrosolo Ltda., que, com sua visão inovadora, manteve um relacionamento com troca de informações e assinatura de um convênio com duração de quatro anos. Às empresas Amanco do Brasil e Marbella, que forneceram os equipamentos para viabilizar os experimentos.

Finalmente, reconheço o papel especial das agências de fomento CNPq, FAPESP e FAEPEX/UNICAMP que apoiaram financeiramente a realização das pesquisas e a Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação (CSEI) da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), por patrocinar a publicação desse documento.

Essa é uma primeira versão desse texto, o qual espero que seja aprimorado ao longo do tempo com as considerações e correções de profissionais que trabalham diariamente com a agricultura irrigada. Saliento que essa edição

já contou com a colaboração inestimada do Eng. Carlos Barth, que teve o trabalho de ler e acrescentar tópicos ao manual. A ele, os nossos agradecimentos.

Dedico este manual aos agricultores brasileiros, principalmente aos irrigantes, que contra todas as adversidades possíveis, suprem com seu trabalho e suor, a mesa de milhões de brasileiros. Brava gente brasileira!

Boa leitura!

Roberto Testezlaf



Sumário

Introdução	1
Objetivos	1
Organização do documento	2
Definições e terminologia	2
Descrição Geral	5
Filtros de areia pressurizados	5
Partes constituintes de um filtro de areia	6
Operação de filtros de areia	8
Recomendação de uso	8
Princípios de Operação	11
Processo de filtração	11
Processo de retrolavagem	12
Caracterização da Areia	17
Definição e classificação	17
Caracterização física da areia	18
Especificações de venda	22
Seleção e Dimensionamento	23
Especificações de filtros comerciais	23
Dimensionamento do diâmetro e do número de filtros	24
Seleção de areia	26
Análise da vazão de retrolavagem	29
Instalação e Operação	33
Instalação	33
Operação	36
Manutenção e Avaliação	43
Manutenção	43
Avaliação e diagnóstico	47
Troca ou substituição da areia	52
Bibliografia Consultada	53
Autores	56



Filtros de areia na irrigação localizada

A qualidade da água deve ser uma das principais preocupações dos projetistas no dimensionamento de sistemas de irrigação localizada, e dos agricultores na sua operação. A ocorrência do entupimento de emissores por processos físicos, químicos e contaminantes biológicos pode se tornar um problema grave na manutenção diária do sistema de irrigação. A obstrução por impurezas na água pode comprometer a uniformidade de distribuição de água e aumentar os riscos de insucesso da irrigação. Devido à característica climática e de localização da maioria das fontes de captação de água (superficial) no Brasil, a maior parte das propriedades agrícolas requer a aplicação de sistemas de tratamento de água para viabilizar o uso da irrigação localizada. Dentre os filtros que podem ser utilizados em irrigação, o filtro de areia se destaca pela capacidade de filtrar tanto material inorgânico

como orgânico, removendo inclusive partículas menores do que o diâmetro de seus poros devido à atração estática entre as partículas filtradas e os grãos de areia.

Objetivos

O objetivo deste manual é fornecer informações essenciais para viabilizar a instalação, operação e manutenção adequada de filtros de areia pressurizados empregados na irrigação. Buscou-se oferecer um material com linguagem técnica e de fácil leitura, para servir de referência a empresas, técnicos e agricultores irrigantes, disponibilizando informações que orientem esses profissionais envolvidos na agricultura irrigada a utilizar filtros de areia para as condições encontradas em propriedades agrícolas brasileiras e, também, para torná-lo um equipamento mais eficaz no tratamento físico da água de irrigação.



Organização do documento

Este documento está organizado nas seguintes seções e seus objetivos:

Introdução	Oferecer informações gerais relacionadas ao documento.
Descrição Geral	Fornecer conhecimentos gerais sobre filtros de areia e dos processos operacionais envolvidos na sua utilização.
Princípios de Operação	Apresentar informações básicas sobre os procedimentos de filtração e retrolavagem.
Caracterização da Areia	Fornecer informações técnicas sobre classificação de areias utilizadas em filtros.
Seleção e Dimensionamento	Apresentar orientações técnicas para seleção do número e dimensões dos filtros de areia e informações sobre escolha da areia.
Instalação e Operação	Mostrar as etapas para a instalação de filtros de areia no campo e fornecer informações sobre como iniciar sua operação de forma correta.
Manutenção e Avaliação	Fornecer informações sobre procedimentos de manutenção dos filtros de areia e formas de avaliação da sua eficácia.
Bibliografia Consultada	Apresentar a bibliografia consultada na redação deste documento.

Definições e terminologia

Para melhor compreensão deste documento, optou-se por colocar no seu início, a definição de termos técnicos utilizados especificamente no emprego de filtros de areia na irrigação localizada.

Afluente: Vazão de água que chega ao filtro e que irá passar pelo processo de filtração.

Conjunto ou sistema de filtros de areia: sistema composto por dois ou mais filtros de areia conectados por manifolds, tubulações que permitem a operação em paralelo quando estão no modo de filtragem e, quando estão no modo de

retrolavagem, possibilitam a reversão do fluxo da água filtrada para a retrolavagem individual dos filtros, pela atuação de válvulas de retrolavagem ou de três vias.

Duração do ciclo de retrolavagem: período de tempo durante o qual a água lava o leito filtrante (areia) pela ação do fluxo reverso, removendo as impurezas retidas na filtração e jogando-as para fora do filtro.

Efluente: Vazão de água filtrada que sai do filtro a caminho do sistema de irrigação.

Filtração: processo de remoção do material em suspensão na água de irrigação pela sua passagem pela camada de areia.



Fluidização: fenômeno que ocorre quando um fluxo ascendente de água passa através do leito de areia a uma velocidade suficiente para levantar as partículas até uma determinada altura, expandindo-o, porém sem arrastá-las junto com o fluido, evitando perdas possíveis do leito.

Granulometria ou curva granulométrica da areia: classificação da areia que define, para determinados intervalos de tamanho de grãos, a porcentagem em peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise.

Leito filtrante: camada de areia com determinada granulometria e altura, colocada no interior do filtro.

Retrolavagem: processo para limpar a camada de areia das partículas sólidas retidas na filtração, realizada com a reversão ou mudança da direção do fluxo da água no equipamento, ou seja, dos drenos para a entrada do filtro.

Sólidos em suspensão: são partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão na água, cuja concentração é definida por um índice denominado sólidos suspensos totais, SST, que é uma medida da sua concentração, expressa em mg L^{-1} .

Taxa de filtração: parâmetro que relaciona o volume de água deslocado no interior do filtro em determinado tempo, por unidade de área normal à direção do fluxo da filtração. Usualmente, expressam-se as unidades da taxa de filtração em $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$.

Velocidade superficial: parâmetro que relaciona a quantidade de vazão que passa pela seção transversal do filtro em um determinado intervalo de tempo em m s^{-1} .





De forma geral, serão abordadas neste capítulo, as características dos filtros de areia empregados na irrigação, os detalhes das suas operações básicas e as recomendações de uso. O objetivo é fornecer informações que permitam aprofundar os conhecimentos gerais sobre esses equipamentos e dos processos operacionais envolvidos na sua utilização.

Filtros de areia pressurizados

Filtros de areia são tanques ou reservatórios cilíndricos metálicos, em cujo interior se coloca uma camada de material poroso particulado, também chamado de leito filtrante, através da qual se filtra a água de irrigação. Esse material poroso pode ser areia, mais comum em irrigação, cascalho ou outros materiais granulados, que vai funcionar como um leito filtrante, que prende ou retém o material em suspensão na água quando da sua passagem através dele.

O esquema da figura 1 mostra a água entrando com impurezas na parte superior do filtro, passando através do leito ou camada filtrante, onde o material suspenso é capturado quando entra em contato com as partículas de areia do leito. Após a filtração, a água limpa passa pelos drenos na parte inferior e vai para a saída do equipamento em direção ao sistema de irrigação.

Esses equipamentos são também chamados de filtros de areia pressurizados por operarem geralmente a pressões superiores a 300 kPa (30 mca), devido ao bombeamento requerido em sistemas de irrigação, que vai originar uma pressão de serviço positiva (ou acima da atmosfera) nas tubulações e nos acessórios.

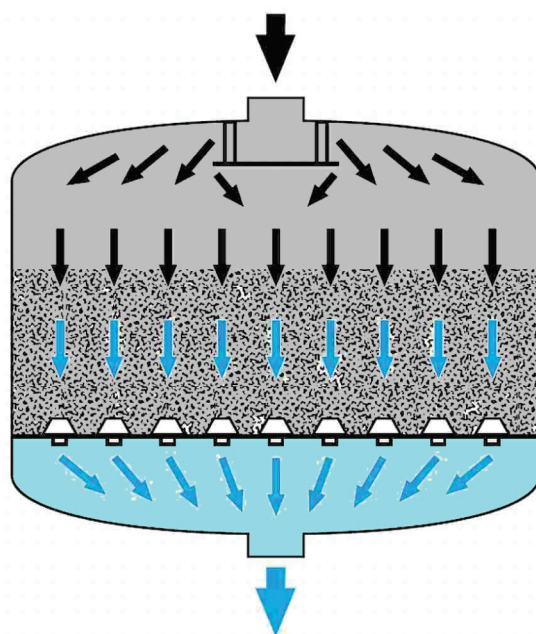


Figura 1. Esquema de um filtro de areia realizando a filtração no seu interior. (Fonte: ODIS, 2013)

Dessa forma, os filtros de areia necessitam ser projetados e construídos com materiais (placas de aço com espessura adequada, por exemplo) que garantam a não ruptura de suas paredes e também de suas partes internas. A maioria dos filtros de areia disponíveis no mercado é fabricada com chapas de aço-carbono e algumas empresas disponibilizam equipamentos em aço inoxidável para aplicações específicas.

Adicionalmente, o interior do corpo do filtro deve ter acabamento anticorrosivo de qualidade (como pinturas epóxi, eletrostática, etc.) para assegurar a resistência à corrosão e evitar o desgaste e o surgimento de pontos de ruptura na solda. Os acabamentos externos devem ser realizados com resina poliéster para proteção aos raios ultravioleta.

Devido ao valor da vazão requerida nos sistemas de irrigação localizada, os filtros de areia utilizados nessa condição são considerados filtros rápidos quando comparados com filtros lentos de areia utilizados em Estações de Tratamento de Água (ETA) para consumo humano.

Partes constituintes de um filtro de areia

A figura 2 mostra o esquema de um filtro de areia com as suas partes constituintes. Basicamente, os filtros comercializados possuem uma configuração padrão constituídos de um corpo metálico com uma conexão de entrada da água na sua parte superior (1), com a função de conduzir a água para o interior do tanque, que é na sequência, distribuída sobre a superfície da areia (3) por intermédio de uma placa defletora (2), que tem o objetivo de reduzir e homogeneizar a velocidade da água, evitando o direcionamento do jato de água para locais preferenciais e a remoção ou movimentação da camada superficial da areia.



Figura 2. Esquema de um filtro de areia com indicação das suas partes constituintes: (1) Conexão de entrada da água; (2) Difusor ou placa difusora; (3) Camada de areia ou leito filtrante; (4) Conexão da saída de água; (5) Drenos ou crepinas; (6) Tampa ou porta de observação ou esvaziamento; (7) Porta de observação ou de enchimento. (Fonte: AMIAD, 2013)

Na parte inferior da camada de areia são instalados coletores de drenagem (também chamados comercialmente de drenos ou de crepinas) (5), que direcionam a água já filtrada para a tubulação de saída (4). Para permitir o acesso ao seu interior, os filtros de areia devem possuir uma abertura na parte inferior (6) e outra na superior (7), para preenchimento e esvaziamento do tanque, respectivamente, que também servem para manutenção dos componentes internos do equipamento.

Os drenos são elementos que devem ser projetados para desempenhar duas funções adequadamente: a primeira é permitir a passagem da água filtrada para o sistema de irrigação, impedindo a passagem de partículas da camada filtrante para o interior do sistema de irrigação; e em segundo lugar, durante o processo de retrolavagem ou limpeza da camada filtrante, distribuir uniformemente o fluxo reverso de água em todo o leito, evitando a ocorrência de bolsões preferenciais e pontos mortos. Esse processo garantirá que o leito seja expandido e limpo completamente de impurezas e contaminantes aderidos ao meio filtrante.

Os sistemas de drenagem dos filtros de areia podem ser divididos, basicamente, em dois tipos: um composto por braços coletores de drenagem e outro por drenos (crepinas), esquematizados na figura 3, respectivamente.

A principal diferença entre eles é que nos filtros que utilizam crepinas é preciso considerar no projeto a existência de um fundo falso para a instalação desses acessórios, que suporte a pressão interna de trabalho do equipamento, enquanto os que possuem braços coletores requerem a instalação de uma tubulação ou manifold para sua distribuição e ramificação pelo diâmetro do filtro (Figura 4).

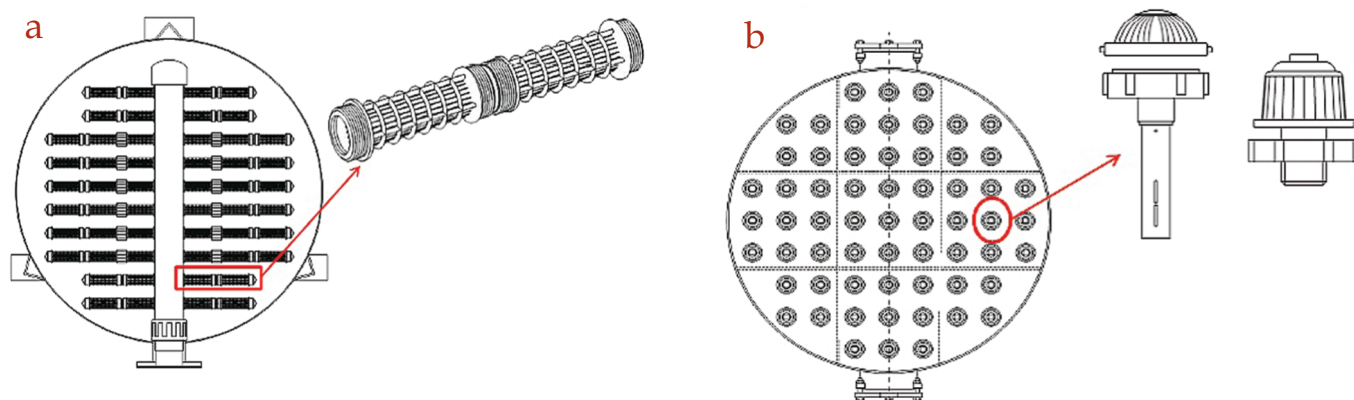


Figura 3. Tipos de sistemas de drenagem utilizados em filtros de areia: (a) braços coletores de drenagem e (b) crepinas. (Fonte: MESQUITA, 2010)



Figura 4. Detalhes da diferença entre um filtro com sistema de drenagem com braços coletores (a) e com crepinas instaladas em fundo falso (b). (Fonte: RAMIREZ, 2011)

Operação de filtros de areia

A utilização correta de filtros de areia na irrigação requer que o agricultor saiba planejar e executar duas operações fundamentais desses equipamentos:

➤ **Filtração** - que consiste na remoção de material em suspensão na água de irrigação pela sua passagem pela camada de areia no sentido descendente, ou seja, da entrada do filtro para os drenos;

➤ **Retrolavagem** - processo de limpeza da camada de areia com a retirada das partículas sólidas retidas na filtração (impurezas), realizada com a reversão ou mudança da direção do fluxo da água no equipamento, ou seja, no sentido ascendente, dos drenos para a entrada do filtro (ASABE, 1994; TESTEZLAF, 2008).

A execução incorreta dos processos de filtração e retrolavagem em campo é uma das coisas mais comum de se encontrar, sendo a principal causa dos problemas de ineficácia do tratamento de água.

Esse fato ocorre devido à falta de conhecimento dos produtores rurais a respeito desses procedimentos, resultado da falta de treinamento oferecido pelas empresas, da pouca aplicação de critérios na elaboração e execução de projetos de filtros, e também da inexistência de manuais técnicos que orientem como operar e fazer a manutenção desses equipamentos.

As principais dificuldades observadas pelos agricultores no uso de filtros de areia e que interferem na qualidade dos dois processos (filtração e retrolavagem) referem-se à: definição da duração da filtração e do momento do início e do término da limpeza da camada filtrante. Adicionalmente, a falta de critérios de projeto por parte do fabricante

pode levar à seleção incorreta da granulometria e do volume de areia a ser colocada dentro do filtro, assim como, a escolha errada dos parâmetros de taxa de filtração e retrolavagem associados às características físicas dessa areia, e, principalmente, do desconhecimento sobre a eficiência de remoção do equipamento e das dificuldades de avaliação dos dois processos.

Recomendação de uso

Os filtros de areia são recomendados para utilização em sistemas de irrigação localizada quando a água contém altas concentrações de areia com granulometria fina, partículas de silte e algas e outros materiais orgânicos, características encontradas principalmente em águas superficiais oriundas de rios, lagos e reservatórios, utilizadas no Brasil como fontes de água para a irrigação. Esse tipo de filtro se destaca por ser capaz de filtrar tanto material inorgânico como orgânico, removendo inclusive partículas menores que o diâmetro de seus poros devido ao processo de retenção que ocorre entre as partículas filtradas e os grãos de areia.

Portanto, o principal objetivo do filtro de areia é a remoção de materiais suspensos na água de irrigação para reduzir o entupimento dos emissores utilizados na irrigação localizada. O correto dimensionamento e a operação desses equipamentos garantem o controle efetivo da qualidade da água de irrigação, reduzindo a obstrução de emissores, mantendo a uniformidade de aplicação de água e reduzindo os custos de operação do sistema. A figura 5 mostra exemplos de diferentes tipos de gotejadores obstruídos por ação de sedimentos.



Figura 5. Detalhes de diferentes tipos de gotejadores entupidos por sedimentos presentes na água de irrigação.

Por ser um país tropical, as águas superficiais brasileiras, principalmente rios, córregos, lagos, reservatórios e represas, caracterizam-se pela elevada carga orgânica e de sedimentos, fazendo com que os filtros de areia sejam equipamentos obrigatórios na instalação de projetos de irrigação localizada nessas condições, especialmente quando esses corpos de água contenham mais de 100 mg de impurezas suspensas por litro de água utilizada na irrigação.

O entupimento físico de componentes dos sistemas de irrigação pode ser causado

por fatores físicos, químicos e biológicos. Os componentes físicos que se encontram suspensos na água utilizada na irrigação incluem partículas inorgânicas (areia, silte argila, etc.); os componentes biológicos referem-se às algas, bactérias e matéria orgânica em decomposição (principalmente resíduo vegetal e animal); os componentes químicos, aparecem como diferentes metais alcalino-terrosos, ânions e cátions de adubos ou elementos como ferro, cobre, zinco, manganês e fósforo (PITTS et al., 1990; NAKAYAMA e BUCKS, 1998).

Esses filtros possuem desempenho superior em reter material orgânico, comparados a outros tipos de filtros (tela ou disco), pela sua capacidade de remover essas impurezas ao longo do caminho percorrido pela água na camada de areia, e da possibilidade de acumular grandes quantidades de algas ou materiais orgânicos antes de ser necessária sua limpeza. Dependendo da areia utilizada no seu interior, esses filtros podem remover quantidades significativas de sólidos suspensos com

diâmetros equivalentes maiores ou iguais a 20 μm (a partir de parte da fração silte), sendo seu uso também recomendado para o tratamento de águas residuárias que contêm materiais orgânicos em suspensão (KELLER e BLIESNER, 1990; HAMAN et al., 1994; TESTEZLAF, 2008). Na figura 6, observa-se a superfície de um filtro de areia após a irrigação em uma propriedade agrícola, evidenciando as impurezas maiores, visíveis a olho nu, não permitindo distinguir as retidas em seu interior.



Figura 6. Interior de um filtro de areia após um processo de filtração, com detalhes de material orgânico retido na sua superfície.

Esta seção do manual tem o objetivo de apresentar informações sobre os dois procedimentos fundamentais na operação de filtros de areia: filtração e retrolavagem. Esses procedimentos são complementares e dependentes entre si, e para garantir o bom funcionamento do equipamento, é preciso conhecer as condições que governam o comportamento de cada operação. Retrolavagens mal executadas afetarão o ciclo de filtração subsequente e, de forma similar, mudanças nas condições de filtração exigem adequações na retrolavagem, que se não forem realizadas diminuem a eficácia do equipamento (HALL e FITZPATRICK, 1998).

Processo de filtragem

A figura 7 ilustra como ocorre a retenção de partículas sólidas em suspensão presentes na água na sua passagem pelo meio poroso de um filtro de areia, mostrando que esse processo é uma combinação dos seguintes fenômenos:

➤ **Peneiramento ou coamento:** as partículas de tamanho maior que os poros do meio filtrante ficam retidas entre os grãos de areia;

➤ **Sedimentação ou decantação:** as partículas em suspensão são depositadas nos poros ou sobre os grãos do leito filtrante, devido à redução da velocidade de escoamento;

➤ **Adesão e coesão:** partículas menores que o tamanho dos poros são interceptadas ou grudadas na superfície dos grãos ou aglomeradas em sedimentos pela existência de forças de atração entre esses materiais. Esse fenômeno explica porque os filtros de areia retêm partículas muito

menores que o tamanho dos poros (PIZARRO CABELO, 1996).

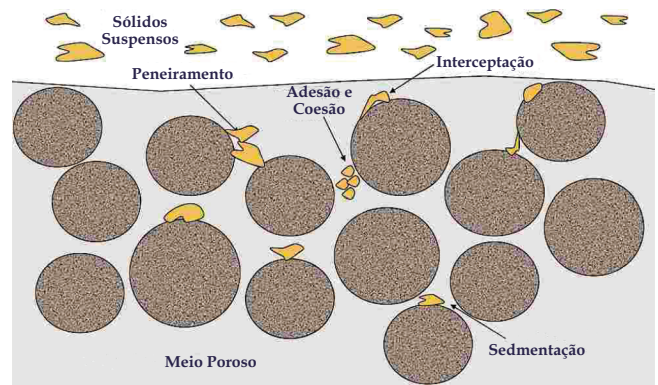


Figura 7. Ilustração mostrando os fenômenos presentes no processo de retenção de partículas em meio poroso. (Adaptado de CIVL, 2013)

Essas formas de ação do meio poroso na retenção de partículas sólidas determinam que, durante a passagem da água pela areia, as impurezas podem ser adsorvidas pelos grãos, aglomerar-se em partículas maiores e depositar-se por processo idêntico à decantação (VERMEREIN e JOBLING, 1984). Esses mecanismos de remoção podem ocorrer tanto pela ação superficial do leito quanto pela ação de profundidade da camada, onde as características físicas e químicas da água e do meio filtrante, a taxa de filtração, e o método de operação dos filtros são fatores que influenciam diretamente seu comportamento (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A figura 8 representa, de forma simplificada, o fluxo de água dentro dos filtros de areia durante o processo de filtração. O sentido do fluxo do afluente no processo de filtração é descendente (entrada na parte superior), com a água sendo filtrada na camada de areia e passando na parte inferior para o sistema de irrigação.

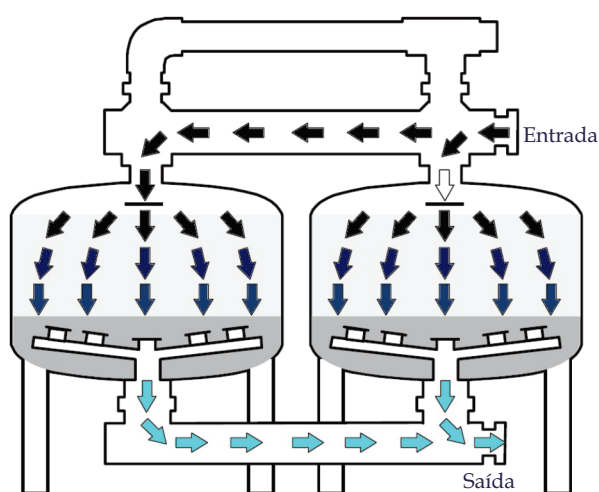


Figura 8. Esquema do processo de filtração em um conjunto de dois filtros de areia operando em paralelo. (Adaptado de FLOW-GUARD, 2013)

Durante a filtração, as partículas de impurezas depositam-se no meio filtrante, sendo removidas da água pela ação de um ou mais dos fenômenos citados. Dessa forma, com o decorrer da filtração, ocorrerá o entupimento parcial do meio filtrante, determinando um aumento no diferencial de pressão do filtro, até atingir o valor limite que vai determinar o momento de se proceder a limpeza do filtro, pelo processo de retrolavagem.

A operação adequada do processo de filtração em filtros de areia determina a eficácia do equipamento, seja do ponto de vista energético, seja da eficiência de remoção. Para uma determinada qualidade de água e granulometria de areia, o tamanho das partículas que passam pelo filtro sem serem retidas aumenta com o incremento da vazão ou taxa de filtração. Assim, a taxa de filtração é um dos parâmetros a serem estabelecidos dentro de um projeto de filtros, sendo definida como a relação entre o deslocamento de

determinado volume de água por unidade de tempo e por unidade de área normal à direção do fluxo da filtração ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$). O estabelecimento do seu valor depende das suas relações com as propriedades do meio filtrante e da qualidade da água, para garantir a produção de um efluente satisfatório para a não ocorrência de obstrução dos emissores do sistema de irrigação (KELLER e BLIESNER, 1990; TESTEZLAF, 2008).

Processo de retrolavagem

Devido à retenção das partículas no meio filtrante, os filtros sujam com o passar do tempo, causando aumento na perda de pressão, sendo necessário proceder a limpeza para retirar todas as impurezas retidas e retornar a eficiência de limpeza à condição original, ou seja, da areia limpa. A necessidade da limpeza do meio filtrante deve-se à mudança das características hidráulicas do equipamento (aumento da perda de carga) no processo de filtração para determinada taxa de filtração, que pode alterar também o comportamento hidráulico de outros equipamentos do sistema, além da possibilidade de passagem de contaminantes para o sistema de irrigação. Dessa forma, a retrolavagem visa ao retorno do filtro de areia às condições iniciais de perda de carga e eficiência de remoção (TESTEZLAF, 2008).

A retrolavagem é o procedimento de conduzir a água filtrada proveniente de um ou vários filtros do conjunto de filtragem, em sentido de fluxo ascendente contrário ao processo de filtração, para limpeza de determinado filtro que atingiu o diferencial de pressão requerido para início do processo (ASABE, 1994; HAMAN et al., 1994).

A figura 9 ilustra a realização do processo de retrolavagem em um conjunto de filtragem com dois filtros. O filtro à direita da figura está no modo de filtração, e parte da água limpa irá passar no sentido reverso do filtro à esquerda, que está no modo de retrolavagem. A água suja, com as impurezas retiradas do filtro à esquerda sai por cima do filtro, sendo descartada, quase sempre, no meio ambiente. Assim, tanto a tubulação de entrada deve possuir uma derivação para eliminar a água suja, como o sistema deve permitir essa mudança de direção de forma manual ou automática.

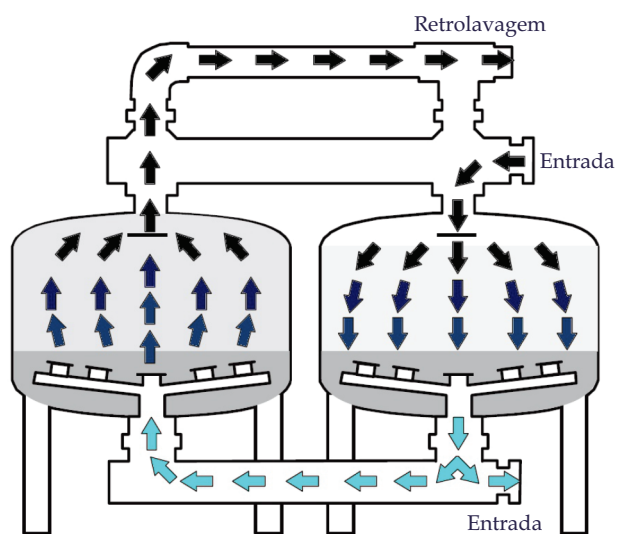


Figura 9. Esquema do processo de retrolavagem em um conjunto com dois filtros de areia, estando o filtro da direita em modo de filtração e o da esquerda em retrolavagem. (Adaptado de FLOW-GUARD, 2013)

Os principais problemas na operação de filtros de areia no campo estão associados com as dificuldades em entender os mecanismos de retrolavagem, resultando em operações inadequadas. A realização adequada da retrolavagem em filtros de areia utilizados na irrigação requer a expansão da camada filtrante, que é produzida pela sua

fluidização. Fluidizar uma camada de areia de um filtro significa dar propriedades de um fluido a um leito de partículas sólidas, ocasionado pela passagem da água a uma velocidade tal que proporcione sua expansão até determinada altura, sem a retirada das partículas do meio. A possibilidade de limpeza de filtros de areia pelo procedimento de fluidização do leito filtrante deve-se à diferença de densidade entre as partículas do meio filtrante e as partículas retidas, em que as partículas mais densas ficam dentro do filtro, enquanto as menos densas (partículas retidas) são expulsas do equipamento (GUPTA e SATHIYAMOORTHY, 1999; RAMIREZ, 2011).

A figura 10 apresenta ordenadamente quatro fases ou regimes de fluidização que ocorrem durante o processo de retrolavagem da camada de areia com o aumento da vazão. Esses regimes são denominados, a partir da esquerda, como: (1) camada fixa ou estática (no início do processo), (2) de velocidade mínima de fluidização, (3) fluidização particulada e (4) regime borbulhante, com o leito totalmente fluidizado. Na parte inferior da figura estão indicadas no corpo dos filtros as respectivas alturas de expansão de cada regime. Essa figura mostra que, somente a reversão do fluxo de água no interior do filtro não é suficiente para efetivar a retrolavagem, mas a regulação correta da vazão para a granulometria da areia e do modelo de filtro utilizado para se atingir o regime borbulhante.

O fato de a água de retrolavagem ficar suja não é garantia de que o leito filtrante está expandido suficientemente para ocorrer a limpeza. Portanto, a definição da vazão de retrolavagem em condições de campo é fator essencial para garantir a eficácia da operação dos filtros de areia.

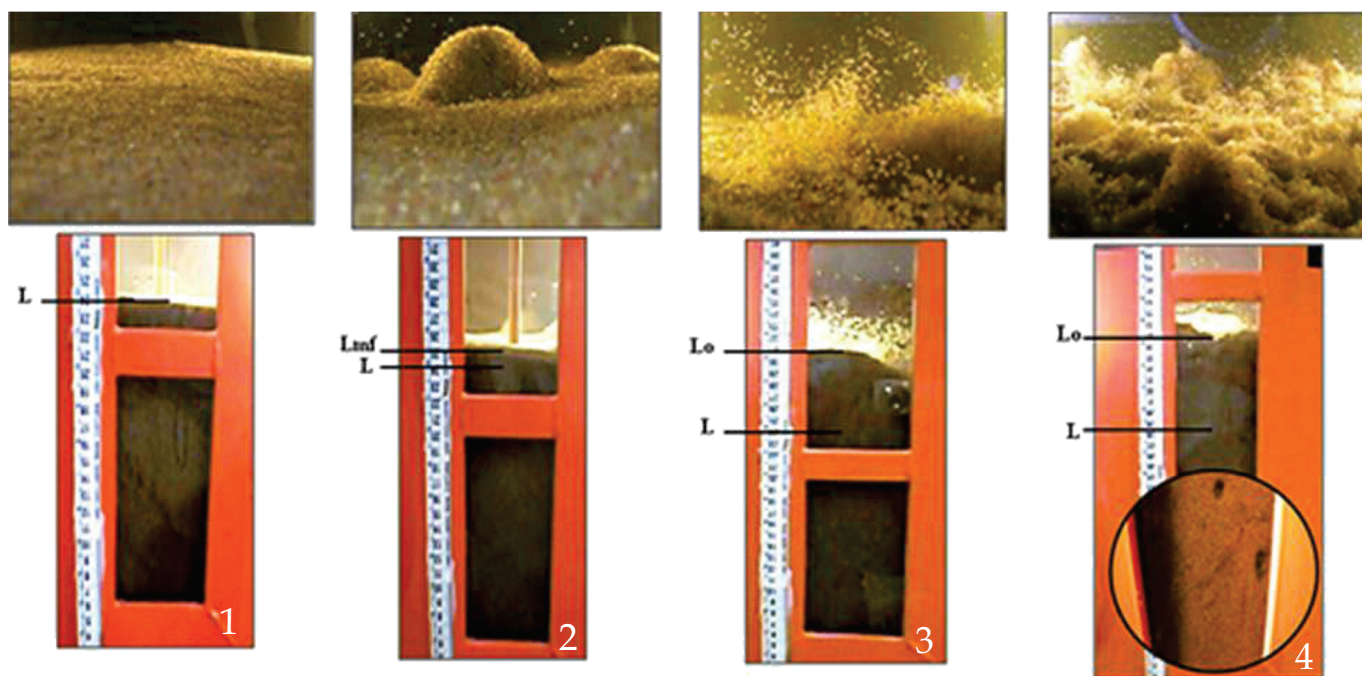


Figura 10. Visualização dos regimes de fluidização durante o processo de retrolavagem em filtros de areia. A partir da esquerda (1) camada fixa ou estática (no início do processo), (2) de velocidade mínima de fluidização, (3) fluidização particulada e (4) regime borbulhante, com o leito totalmente fluidizado. (Fonte: RAMIREZ, 2011)

Para a realização adequada do processo de retrolavagem recomenda-se o intervalo de expansão do leito filtrante na faixa de 20 a 50%, sendo o valor de 25% o valor médio utilizado (WEBER, 1979; BROUCKAERT, 2004).

A expansão da camada de areia obtida na retrolavagem está diretamente ligada ao valor da vazão que passa pelo equipamento nesse processo, devendo ser suficiente para atingir a suspensão das partículas de areia, mantendo-as dentro do filtro, e possibilitando a remoção das impurezas aderidas ao meio filtrante. Como para atingir determinado nível de expansão da camada, a vazão de retrolavagem deve aumentar com o aumento da granulometria da areia, esta relação deve ser observada para a regulação correta dos valores de vazões, sendo que regulagens incorretas podem levar às seguintes consequências:

➤ Vazões baixas resultam em limpeza insuficiente do leito filtrante, tendo consequências indesejáveis no processo de filtração, tais como: a formação de aglomerados de sujeira na camada (Figura 11), que possibilita o desprendimento de contaminantes que serão conduzidos ao sistema de irrigação; a diminuição do tempo de filtração pela rápida ocorrência do diferencial de pressão para início da retrolavagem; e por fim oscilações hidráulicas do sistema (MESQUITA, 2010; RAMIREZ, 2011).

➤ Vazões altas ou excessivas podem causar perdas significativas de material filtrante, sendo esse fato mais evidente quando a camada filtrante possui baixa uniformidade quanto ao tamanho das partículas, ou quando há a utilização de camadas duplas de material (VALERIANO, 1995; TESTEZLAF, 2008).

A principal dificuldade de determinação da vazão de retrolavagem relaciona-se às poucas informações fornecidas pelos fabricantes, devido à complexidade de se definir o seu valor em função das características da água de irrigação e do meio filtrante utilizado. Na seção de Instalação e Operação deste manual, serão fornecidos procedimentos de campo para a regulação correta da vazão de retrolavagem.

De maneira geral, a operação incorreta da filtração e da retrolavagem, devido à falta de conhecimento e de treinamento dos produtores rurais sobre esses processos, aliada à não aplicação de critérios técnico-científicos na elaboração e execução de projetos de filtros, são as principais causas dos problemas decorrentes do uso de filtros de areia em sistemas de irrigação localizada.



Figura 11. Filtro de areia com formação de camada biológica na superfície do leito filtrante.



Caracterização da Areia

A escolha correta da areia vai determinar diretamente a eficiência de remoção do filtro, e a seleção de granulometrias impróprias vai afetar tanto a operação da filtração como da retrolavagem. Para evitar os problemas que a escolha incorreta pode trazer a um sistema de irrigação, o objetivo deste texto é apresentar informações técnicas sobre classificação de areias utilizadas em filtros, visando ajudar o selecionamento adequado de sua granulometria para o sistema de irrigação. Adicionalmente, busca-se orientar as empresas fornecedoras de areias para a padronização e o fornecimento de dados técnicos essenciais para a sua comercialização na agricultura.

Definição e classificação

A maioria dos filtros de areia empregados na irrigação é preenchida por uma camada homogênea de areia, ou seja, do mesmo tipo de areia, ao contrário de filtros industriais que utilizam camadas com diferentes granulometrias, ou seja, o leito é formado por camadas que vão desde cascalho até areia fina.

A areia utilizada comercialmente no Brasil é extraída em atividades de mineração de leitos de rios, várzeas ou em cavas.

A areia é formada, principalmente por grãos de quartzo (dióxido de silício ou sílica) com formas diversas e arredondamento e esfericidade distintos, e que pode, dependendo da composição da rocha da qual é originária, agregar outros minerais óxidos e silicatos, como, feldspato, mica, zircão, magnetita, cassiterita, entre outros (Figura 12).



Figura 12. Fotografia microscópica mostrando os diferentes tamanhos de grãos e minerais constituintes da areia de sílica. (Fonte: GREENBERG, 2013)

Toda amostra de areia é composta por grãos com diferentes formatos, tamanhos ou dimensões que podem estar dentro de um intervalo entre 0,05 a 5 mm. Os padrões comerciais classificam a areia respeitando aproximadamente o intervalo do tamanho dos grãos presentes na amostra, como: areia fina (0,15 a 0,6 mm), areia média (0,6 a 2,4 mm) e areia grossa (2,4 a 4,8 mm). Não existe, até o momento, uma norma ou legislação no Brasil que definam os parâmetros necessários para seleção de areia utilizada em filtros de areia em irrigação. Dessa forma, as areias utilizadas na irrigação são comercializadas utilizando classificações qualitativas dentro de suas classes granulométricas, sem ser exigida nenhuma quantificação de suas características físicas, gerando a adoção de diferentes intervalos granulométricos pelas empresas fornecedoras de areia que vão variar de acordo com padrões próprios específicos.

A única norma existente no Brasil é a Norma ABNT EB-2097 (1990), que caracteriza as condições para recebimento e colocação de material filtrante (areia, antracito e/ou pedregulho) como camada- suporte em filtros de abastecimento público de água.

Essa norma estabelece o uso de dois parâmetros físicos na classificação da areia: diâmetro efetivo de partículas e coeficiente de uniformidade (CU). Outras duas características são indicadas pela literatura para a caracterização de areias: a friabilidade, que determina a facilidade de fragmentação (quebra) dos grãos, e a esfericidade predominante dos grãos que pode afetar maiores ou menores retenções de impurezas. Nos tópicos a seguir, serão discutidos os parâmetros que podem ser utilizados para a classificação de areia para utilização em filtros de irrigação.

Caracterização física da areia

A caracterização das propriedades físicas do meio filtrante é fator preponderante para se conhecer o comportamento hidráulico e, conseqüentemente, a eficiência de filtração e a eficácia da retrolavagem requerida nos filtros de areia. Apesar da não existência de normas que regulem a comercialização de areias para fins de irrigação, recomenda-se que as areias comerciais sejam, pelo menos, classificadas pelo diâmetro efetivo de partículas e pelo coeficiente de uniformidade.

Granulometria

A granulometria ou a distribuição de tamanhos de grãos de uma amostra de areia é obtida em ensaios de distribuição granulométrica do material granular. Essa determinação é realizada pela passagem de uma amostra seca de areia (geralmente uma massa de 100 g) por um conjunto de peneiras padronizadas acopladas a uma mesa agitadora (Figura 13).

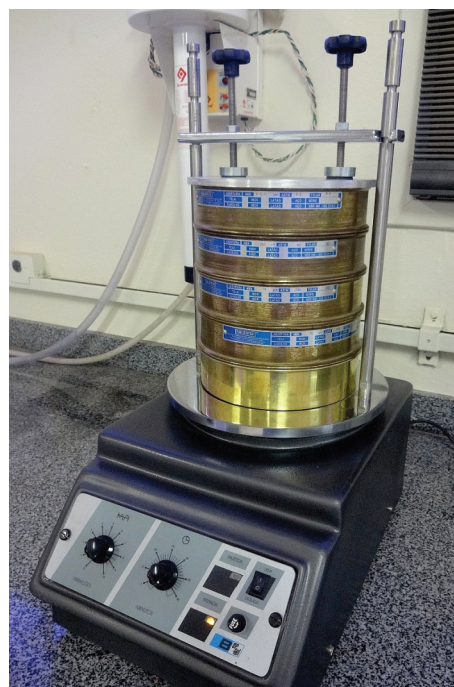


Figura 13. Fotografia de uma mesa agitadora com peneiras padronizadas. (Fonte: UDESC, 2013)

Após a agitação mecânica da amostra, que obriga sua passagem pelo conjunto de peneiras, determinam-se as massas retidas em cada peneira e calculam-se as porcentagens retidas, as retidas acumuladas e as porcentagens que passaram pelas peneiras.

Na tabela 1 verifica-se um exemplo de ensaio granulométrico de três amostras de areia diferenciadas comercialmente pelos intervalos granulométricos de 0,5 a 1,0; 0,8 a 1,2 e 1,0 a 1,5 mm, que foram designadas como G1, G2 e G3 respectivamente. Nesta tabela estão apresentados os valores médios da massa retida em cada peneira, da porcentagem de massa retida e do percentual cumulativo de massa que passou pelas malhas das peneiras nos ensaios granulométricos.

A curva granulométrica característica da amostra da areia é construída a partir dos valores acumulativos da porcentagem de areia que passam pelas peneiras e o correspondente valor da abertura da peneira (tamanho da malha) correspondente em mm.

Tabela 1. Valores médios da massa (g), do percentual retido e do percentual que passou pelas malhas das peneiras para as amostras de areia ensaiadas

Malha Peneira (mm)	G1 (0,5 - 1,0mm)			G2 (0,8 - 1,2mm)			G3 (1,0 - 1,5mm)		
	Massa retida (g)	% retido	% que passa	Massa retida (g)	% retido	% que passa	Massa retida (g)	% retido	% que passa
2,36	–	–	–	–	–	–	0,00	0,0	100
2,00	–	–	–	–	–	–	73,13	7,3	92,7
1,70	–	–	–	–	–	–	161,26	16,1	76,6
1,40	0,02	0,0	100	1,80	0,2	99,8	299,44	29,9	46,6
1,19	0,03	0,0	100	10,50	1,1	98,8	368,79	36,9	9,7
1,00	5,55	0,6	99,4	681,92	68,2	30,6	82,73	8,30	1,5
0,85	173,59	17,4	82,1	237,48	23,7	6,8	7,42	0,70	0,7
0,71	410,95	41,1	41,0	59,12	5,9	0,9	2,63	0,30	0,5
0,60	194,98	19,5	21,5	7,21	0,7	0,2	1,46	0,10	0,3
0,50	138,37	13,8	7,7	1,55	0,2	0,0	–	–	–
0,42	62,40	6,2	1,4	0,21	0,0	0,0	–	–	–
Fundo	14,11	1,4	0,0	0,19	0,0	0,0	3,14	0,30	0,0

Na figura 14 observam-se as três curvas granulométricas das amostras de areia, cujos dados estão apresentados na tabela 1. Nessa figura é possível diferenciar as três granulometrias ensaiadas pelas suas localizações no gráfico, sendo G1 a amostra com granulometria mais fina (à esquerda) e G3 a mais grossa (à direita). Adicionalmente, o formato da curva “S” de cada amostra pode auxiliar para indicar o quanto uniforme é a composição da areia ensaiada.

No caso das três amostras analisadas, a amostra G2 tem a curva mais vertical, ou menos deitada, mostrando que os diâmetros dos grãos da amostra pertencem a valores mais próximos que as outras amostras, resultando, assim, em maior uniformidade.

A partir da curva granulométrica da amostra da areia é possível estimar os

valores de diâmetros característicos que permitem descrever fisicamente dois parâmetros que devem ser utilizados nos critérios de escolha: diâmetro médio efetivo das partículas e coeficiente de uniformidade.

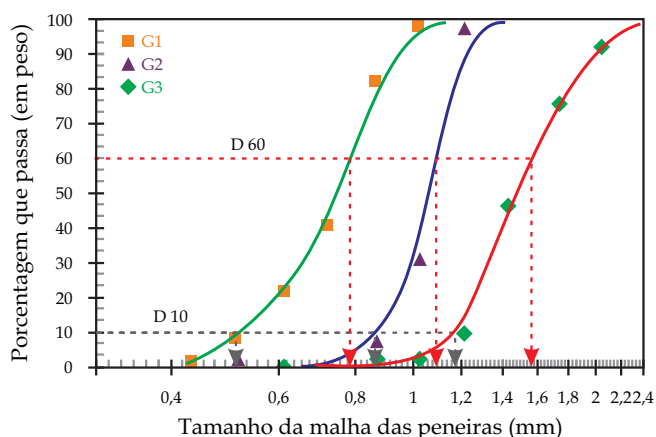


Figura 14. Exemplo de curvas da distribuição granulométrica de três amostras de areia com diferentes granulometrias.

Diâmetro médio efetivo

O diâmetro médio efetivo (D10) é definido como diâmetro da abertura da peneira que permite a passagem de 10% da amostra do material granular. Seu valor caracteriza o menor diâmetro de partícula na classificação da areia e indica o tamanho da partícula que será removida pelo meio filtrante. Quanto menor for o diâmetro efetivo (D10) da areia melhor será a qualidade do efluente, mas menor será a duração da carreira efetiva de filtração do filtro, sendo necessária a realização de um número maior de retrolavagens.

No exemplo dado das três curvas granulométricas apresentadas na figura 14, é possível identificar que os valores do diâmetro médio efetivo para G1, G2 e G3 são, respectivamente, 0,51; 0,85 e 1,15 mm.

Coeficiente de uniformidade

O coeficiente de uniformidade (CU) é outro parâmetro utilizado para caracterizar a distribuição granulométrica das amostras de areia. Esse coeficiente caracteriza o intervalo de diâmetros de partículas existentes dentro da amostra, fornecendo informações sobre a homogeneidade de diâmetros da amostra. É definido como a relação entre a abertura da peneira que permite a passagem de 60% (D60) do material poroso e a abertura da peneira que permite a passagem de 10% (D10) do mesmo material. Quanto menor o valor de CU, mais uniforme será o material, permitindo aumento na retenção das impurezas e na eficiência de remoção.

Utilizando as amostras apresentadas na Figura 14, é possível estimar os valores de

D60 e do coeficiente de uniformidade para as três amostras com diferentes granulometrias (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros granulométricos D10, D60, CU das amostras avaliadas

Amostra	D10 (mm)	D60 (mm)	CU
G1	0,51	0,77	1,51
G2	0,85	1,08	1,27
G3	1,15	1,54	1,34

No caso de filtros de irrigação, recomenda-se o uso de areias com coeficiente de uniformidade variando entre 1,4 e 1,6. Dessa forma, pelos valores apresentados na tabela 2, pode-se afirmar que os valores do coeficiente de uniformidade ficaram dentro do intervalo considerado aceitável, comprovando a homogeneidade dos materiais avaliados, com a amostra dois apresentando o menor valor, mostrando que nessa areia havia grãos com diâmetros mais uniformes que as demais amostras.

Porosidade da camada

A porosidade da camada é a razão entre o volume de vazios ou poros pelo volume total da camada, expressa por fração decimal ou porcentagem. No caso da areia de sílica, o valor da porosidade varia de 0,42-0,47. O conhecimento dessa propriedade possibilita a estimativa do valor da vazão (velocidade superficial) requerida na retrolavagem, da perda de carga da camada e da capacidade de retenção de impurezas do leito filtrante.

A literatura confirma que mudanças pequenas no valor da porosidade podem provocar mudanças significativas no

comportamento da perda de carga da camada filtrante no processo de retrolavagem. Dessa forma, dados precisos na determinação da porosidade em ensaios de filtros tornam-se essenciais para determinar corretamente o diferencial de pressão exigido durante a limpeza do leito.

O valor da porosidade de amostras de areia pode ser determinado por procedimento padrão (APHA, 1999), que estabelece a disposição de certa massa do material filtrante, com massa específica conhecida, em uma coluna transparente com diâmetro interno conhecido. A altura da camada de grãos na coluna é usada para determinar o volume da camada e o volume de grãos é estimado pela razão da massa total de grãos da camada pela massa específica do material. O volume de vazios/porosidade é então determinado pela subtração do volume de grãos do volume total da camada.

Massa específica ou densidade

A massa específica ou densidade do grão é definida como a massa do grão por unidade de volume deste grão. O conhecimento do valor desse parâmetro é importante para determinação da vazão requerida na retrolavagem e, também fundamental, no cálculo de perda de carga no processo de retrolavagem, fluidização e expansão do meio filtrante. Os valores da massa específica da areia de sílica, utilizada em filtros, variam entre 2.650 e 2.670 kg m⁻³.

Esfericidade

Dentre os critérios de escolha da granulometria adequada da areia para os filtros, recomenda-se a utilização de grãos de areia que possuam arestas afiadas e angulares

que permitam a formação de trajetórias tortuosas para o fluxo da água no seu interior, criando assim, maior percurso e, possibilitando maior retenção de sólidos suspensos e algas. Quanto mais irregular for a forma geométrica dos grãos, melhor o desempenho durante a filtração, enquanto os grãos de forma arredondada têm maior eficiência durante a retrolavagem.

A definição de esfericidade é um pouco complexa e sua definição pode se tornar subjetiva e dependente de quem a realiza. Ela é definida como relação entre a área superficial de uma esfera de mesmo volume do grão e a área superficial do grão propriamente dito. Entretanto, a dificuldade da determinação desse parâmetro limita seu uso como critério de seleção, podendo somente ser utilizado para orientar a não utilização de areias roladas, ou com superfícies arredondadas em irrigação.

Friabilidade ou dureza dos grãos

Na filtragem pressurizada utilizada na irrigação, a combinação do processo de filtragem e retrolavagem, ou seja, compressão e atrito dos grãos, determina maiores possibilidades de modificação do formato dos grãos devido à sua quebra (alteração diâmetro efetivo das partículas) ou desgaste de suas arestas (arredondamento das partículas), alterando as características físicas do material e sua eficácia no processo.

No caso de filtros de areia, existem três possíveis causas de ruptura ou quebra dos grãos: no transporte e durante a filtragem e retrolavagem. Após seu beneficiamento, a areia é transportada a granel (caçambas) ou empacotadas em sacos que pode determinar condições de atrito e a quebra dos grãos.

Durante a retrolavagem, especialmente com a combinação de ar e água, os grãos tendem ao atrito simultâneo, causando a abrasão. Por último, a pressão de operação durante o processo de filtração tende a comprimir a camada filtrante. Dessa forma, grãos mais frágeis podem se quebrar ou trincar-se modificando seu diâmetro efetivo.

Apesar da recomendação da determinação da friabilidade da areia para uso em filtros de areia, a complexidade dessa análise aliado ao fato de que, de acordo com alguns pesquisadores, esse processo pode não ocorrer de forma significativa em areias de sílica, limita o uso dessa propriedade física na

escolha da areia para irrigação. A perda da esfericidade devido à baixa dureza dos grãos pode ser um fator indicativo para a troca da areia nos filtros.

Especificações de venda

Com base nas informações disponíveis nesta seção, a tabela 3 apresenta uma proposta de rótulo padrão para embalagens de sacos de areia que deveriam ser fornecidas por empresas fornecedoras, visando à classificação da granulometria da areia e oferecer informações mínimas aos agricultores irrigantes.

Tabela 3. Modelo proposto de rótulo de identificação de areia para filtros de irrigação

Areia de sílica para filtros de irrigação	
Identificação da Empresa	Areias do Sul
Procedência ou origem	Minas de superfície (cavas)
Condição de entrega	Areia pré-lavada
Tipo	Areia granular e angular
Diâmetro efetivo (mm)	0,85
Coeficiente de uniformidade	1,5
Embalagem	Sacos de 25 kg

Esta seção tem o objetivo de apresentar orientações técnicas dos procedimentos que devem ser tomados para selecionar adequadamente o filtro de areia para um determinado sistema de irrigação localizada, assim como, fornecer informações essenciais a técnicos e/ou irrigantes na seleção da granulometria e definição da quantidade de areia a ser instalada no filtro.

O dimensionamento de um filtro de areia que atinja eficiências de remoção apropriadas para um sistema de irrigação envolve a escolha de um equipamento comercial que atenda os seguintes critérios: superfície filtrante ou diâmetro do filtro apropriado para a vazão de projeto; granulometria e volume de areia adequado para o tipo de emissor; e regulação da vazão de retrolavagem para a limpeza requerida do leito filtrante.

Especificações de filtros comerciais

Os catálogos comerciais das empresas fabricantes de filtros seguem modelos próprios de manufatura, e suas dimensões devem seguir padrões de projeto para assegurar a segurança de não ruptura do seu corpo. Na tabela 4 são relacionadas informações sobre as dimensões padrões de corpos de filtros comercializados no Brasil.

Além das dimensões dos modelos de filtros, os fabricantes devem fornecer no catálogo do equipamento a curva de perda de carga ou pressão em função da vazão ou da taxa de filtração e de retrolavagem dos modelos de filtros comercializados. Essa informação deve ser utilizada no

dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação, permitindo melhor dimensionamento do cabeçal de controle, da altura manométrica total do sistema, e no cálculo da potência da motobomba.

Tabela 4. Dimensões padrões de filtros de areia comerciais

Modelo	Diâmetro do corpo (mm)	Área Superficial (m ²)	Altura Total (mm)
A	200	0,03	1.000
B	400	0,13	1.100
C	600	0,28	1.150
D	750	0,44	1.250
E	1.000	0,79	1.350
F	1.200*	1,13	1.100
G	1.500*	1,76	1.250

*Dimensões encontradas em filtros importados.

A perda de carga ou de pressão é causada pela resistência que as partículas da camada de areia e as estruturas internas dos filtros determinam à passagem da água de irrigação pelo interior do filtro. Nos filtros comerciais, geralmente, em condições iniciais de filtração (areia limpa), ocorrem perdas de pressão na ordem de 10 a 20 kPa (1 a 2 mca), dependendo do modelo de filtro, tipo de areia selecionada e da taxa de filtração, para condição de água limpa.

A figura 15 representa um gráfico de perda de carga experimental de um filtro comercial com 400 mm de diâmetro e 600 mm de altura, nas condições de filtro vazio e com uma camada de areia com 45 cm de espessura no seu interior.

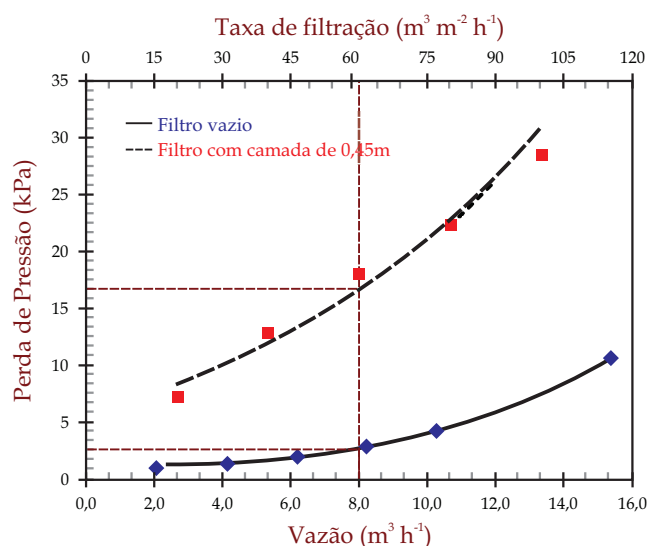


Figura 15. Variação da perda de pressão (kPa) em função da vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) e da taxa de filtração ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$) para um filtro comercial (diâmetro de 400 mm e altura de 600 mm), nas condições de filtro vazio (sem areia) e com uma camada de 45 cm de areia com granulometria variando de 0,8 a 1,2 mm. (Fonte: MESQUITA, 2010)

Pela figura, é possível verificar que para a vazão de $8 \text{ m}^3 \text{h}^{-1}$, correspondente a uma taxa de filtração de aproximadamente $61,5 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$, esse filtro tem valor de perda de pressão em torno de 16,5 kPa (1,65 mca), quando está preenchido com uma camada de areia de 45 cm (granulometria de 0,8 a 1,2 mm), enquanto na condição de filtro vazio esse valor não ultrapassa o valor de 3,0 kPa (0,3 mca). Esses valores mostram a contribuição de 13,5 kPa da presença da areia, correspondendo a 82% da perda de pressão total.

Como critérios de escolha entre diferentes marcas de fabricantes, recomendam-se avaliar os seguintes pontos:

- Quantidade e qualidade das informações disponíveis sobre o equipamento nos catálogos, principalmente referente a: especificações de fabricação, caracterização hidráulica, e orientações para instalação e treinamento no uso dos filtros;

- Qualidade do acabamento das peças internas e da parte externa do filtro, reduzindo problemas de corrosão e de soldas;

- Selecionar equipamentos energeticamente mais eficientes, ou seja, que provoquem perdas de pressão menores para a vazão de projeto. **Importante:** esse critério não determina que o sistema vá operar com a melhor eficiência de remoção, sendo necessário utilizar outros critérios que serão detalhados a seguir;

Apesar do custo de aquisição ser um fator limitante para muitos agricultores, o critério econômico deve ser o menos considerado nesse momento. Salienta-se que uma boa filtração se paga evitando outros custos, como o de manutenção, e reduzindo a preocupação e a energia gasta para se reparar um sistema danificado.

Dimensionamento do diâmetro e do número de filtros

O dimensionamento do diâmetro de filtro adequado para um determinado sistema de irrigação é realizado pela aplicação do critério da taxa de filtração máxima para a qualidade de água encontrada na propriedade. Pesquisas mostram que a utilização de taxas de filtração na faixa de 20 a $60 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ oferece os melhores resultados em termos energéticos e de menor movimentação da superfície da camada filtrante. Na figura 16 observam-se detalhes da movimentação de areia no interior de um filtro que operava em campo a uma taxa superior à recomendada. Esse fenômeno ocorre porque as placas difusoras localizadas na entrada dos filtros não são projetadas para dissipar altos valores de vazão, principalmente acima de $70 \text{ m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$.



Figura 16. Detalhe da movimentação de areia no interior de um filtro operando no campo a uma taxa de filtração elevada.

A taxa de filtração deve ser escolhida em função da qualidade da água presente na propriedade e que será tratada para ser utilizada na irrigação. O valor-limite para taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ pode ser utilizado quando a concentração de contaminantes da água for menor que 10 mg L^{-1} de material em suspensão. Valores menores de taxa devem ser aplicados quando na água o valor de concentração for igual ou maior a 100 mg L^{-1} de material em suspensão, evitando com isso retrolavagens frequentes dos equipamentos (LAWRENCE, 2003).

Quando não se tem uma análise física da água da propriedade, pode-se fazer uso da tabela 5, que contém uma indicação da taxa de filtração baseada em uma orientação qualitativa da água.

Tabela 5. Valores recomendados da taxa de filtração em função da qualidade da água presente na propriedade

Qualidade da água	Taxa de filtração ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
Limpa	60
Média	50
Suja	40
Residual	30

Exemplo de aplicação

A ilustração do emprego do critério para dimensionamento do diâmetro e do número de filtros a ser utilizado para uma determinada condição pode ser fornecida por um exemplo de aplicação, em que se solicita o dimensionamento de um sistema de filtros de areia para uma propriedade agrícola que tenha um sistema de irrigação por gotejamento com vazão de projeto de $100 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, e uma qualidade de água considerada média.

Solução: A partir da tabela 5 assume-se uma taxa de filtração recomendada de $50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (condição de qualidade de água média), sendo possível calcular a área de filtragem requerida pela equação 1:

$$A_{\text{filtragem}} = \frac{\text{Vazão do sistema } (\text{m}^3 \text{ h}^{-1})}{\text{Taxa de filtração requerida } (\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1})} \quad (1)$$

$$A_{\text{filtragem}} = \frac{100}{50} = 2 \text{ m}^2$$

A partir dos dados da tabela 4 (dimensões comerciais de filtros) é possível calcular as áreas superficiais para diferentes números de filtros e, assim, construir a tabela 6, em que são indicados os valores da área superficial para diferentes números de filtros em paralelo.

A partir da tabela 6 é possível escolher três configurações (sombreadas) para o conjunto de filtros idênticos que atendam a condição de projeto de ter uma área mínima de filtragem de 2 m^2 .

Após a definição das possíveis configurações de conjuntos, é possível calcular as taxas de filtração que vão ocorrer em cada uma.

➤ Cinco filtros com diâmetro de 750 mm ($A_t = 2,20 \text{ m}^2$)

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{\text{Vazão do sistema}}{\text{área total de filtragem}} \quad (2)$$

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{100}{2,20} = 45,5 < 50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

➤ Três filtros com diâmetros de 1.000 mm ($At=2,37 \text{ m}^2$)

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{100}{2,37} = 42,2 < 50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

➤ Dois filtros de 1.200 mm ($At = 2,26 \text{ m}^2$)

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{100}{2,26} = 44,3 < 50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Tabela 6. Valores de área superficial total para diferentes números de filtros com diâmetros comerciais

Modelo do Filtro	Área superficial total em função do número de filtros (m^2)				
Diâmetro do corpo (mm)	Área superficial (m^2)	2	3	4	5
200	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15
400	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65
600	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40
750	0,44	0,88	1,32	1,76	2,20
1.000	0,79	1,58	2,37	3,16	3,95
1.200*	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65
1.500*	1,76	3,52	5,28	7,04	8,80

Portanto, qualquer uma das configurações atender a condição de ter uma taxa de filtração menor ou igual a $50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Entretanto, para a finalização do processo de seleção da configuração mais adequada para o sistema de irrigação deve ser considerado, além do número de filtros presentes no conjunto, o valor requerido de vazão de retrolavagem para o funcionamento correto do sistema de irrigação durante a realização da limpeza, que será analisado nos tópicos a seguir.

Seleção da areia

A escolha da granulometria correta da areia para filtros deve considerar a retenção de partículas que podem entupir o diâmetro de saída dos emissores (gotejador ou microaspersor) instalados no sistema de irrigação da propriedade. O tamanho mínimo da partícula a ser retida na filtração é tanto função da granulometria da areia selecionada como da vazão que vai passar pelo filtro.

Areias com granulometria muito grossa podem resultar em uma filtração ineficiente, enquanto areias com granulometria muito fina, apesar da melhor eficiência de remoção, podem entupir rapidamente os poros do leito filtrante, requerendo retrolavagens frequentes, além de poder passar pelo sistema de drenagem e atingir o sistema de irrigação.

Granulometria

Como o critério de escolha da areia considera a retenção de partículas que podem entupir os emissores instalados no sistema de irrigação, o valor da dimensão mínima de saída do emissor é informação essencial para a escolha correta da sua granulometria.

Um dos critérios existentes para selecionar areia para o filtro requer que ela seja capaz de reter partículas de impurezas com tamanhos maiores que 1/10 do diâmetro do orifício do gotejador e 1/7 do diâmetro do orifício do microaspersor. Como a retenção de partículas em um leito filtrante está limitada a diâmetros correspondente a 1/10 do diâmetro efetivo da areia que a compõe, recomenda-se que a areia adequada para o gotejamento deve ter o diâmetro efetivo médio igual ao diâmetro mínimo do gotejador e a 1,4 do diâmetro mínimo do microaspersor (BURT, 1994a; PIZARRO CABELO, 1996; GILBERT e FORD, 1986; TESTEZLAF, 2008).

As equações 3 e 4 mostram como calcular o diâmetro efetivo da areia para gotejadores e microaspersores em função do diâmetro de orifício:

$$\text{Gotejadores} \quad D_{ef} = D_o \quad (3)$$

$$\text{Microaspersores} \quad D_{ef} = 1,4 \times D_o \quad (4)$$

Sendo D_{ef} , o diâmetro efetivo da areia em mm (D10) e D_o , diâmetro do orifício do emissor ou a menor dimensão da saída do emissor (mm).

Pelas equações é possível verificar que os gotejadores vão requerer areias com granulometrias mais finas, quando comparadas com microaspersores com o mesmo diâmetro de saída.

Na tabela 7 são apresentados valores recomendados do diâmetro efetivo da areia para gotejadores e microaspersores com diferentes dimensões mínimas de saída para taxas de filtração até $60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

Tabela 7. Valores de diâmetros efetivos de areia recomendados para gotejadores e microaspersores em função do diâmetro ou dimensão mínima de saída do emissor em mm, para a taxa de filtração de $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

Diâmetro ou dimensão mínima do emissor (mm)	Diâmetro efetivo da areia para gotejador (mm)	Diâmetro efetivo da areia para microaspersor (mm)
1,5	1,5	2,10
1,2	1,2	1,68
1,0	1,0	1,40
0,8	0,8	1,12
0,6	0,6	0,84
0,4	0,4	0,56

Voltando ao exemplo de aplicação e assumindo que o sistema utiliza um gotejador com dimensão mínima de saída de 0,8 mm, o filtro vai requerer areia com diâmetro efetivo próximo de 0,8 mm. Além dessa característica, é preciso que o fornecedor da areia garanta um coeficiente de uniformidade de no máximo 1,6, para assegurar a homogeneidade do tamanho dos grãos, reduzindo a existência de partículas de areia muito finas, que podem entupir os drenos ou serem expelidas para fora do filtro na retrolavagem.

Na falta de informações do fabricante do emissor sobre suas dimensões, pode-se

utilizar a regra de projetar o filtro para reter partículas superiores a $74 \mu\text{m}$ (0,074 mm), o que corresponderia à areia com diâmetro efetivo médio de 0,74 mm para gotejadores e 1,04 mm ($0,74 \times 1,4$) para microaspersores (HAMAN et al., 1994).

Volume de areia

Como a remoção das impurezas é realizada pela ação da passagem da água de irrigação ao longo da camada do leito filtrante, é preciso também definir adequadamente o volume de areia a ser colocada no interior do filtro, o qual definirá a espessura ou altura da

camada de areia, a eficiência de remoção na filtragem e a qualidade do processo de retrolavagem do filtro.

Alguns especialistas sugerem alturas máximas de leito de areia entre 0,4 e 0,6 m, afirmando que o aumento da espessura do leito filtrante melhora a qualidade do efluente até determinado valor, denominada espessura crítica. A partir dessa espessura crítica, o aumento da espessura da camada de areia não melhoraria a qualidade da água, mas aumentaria o tempo de contaminação total, requerendo retrolavagens mais frequentes. Adicionalmente, espessuras maiores que a requerida dificultam a retrolavagem, fazendo com que no interior da areia apareçam finas camadas de material contaminado que não serão limpas suficientemente (PIZARRO CABELO, 1996).

O melhor critério para definição do volume de areia é que a camada filtrante não ultrapasse 75% do corpo do filtro, permitindo a existência de um espaço vazio entre a base da placa difusora e a superfície do leito, denominado borda livre, para garantir espaço para a ocorrência da fluidização do leito durante a retrolavagem. A figura 17 representa um esquema explicando o conceito de borda livre, ou seja, a distância entre a areia e a base do difusor.

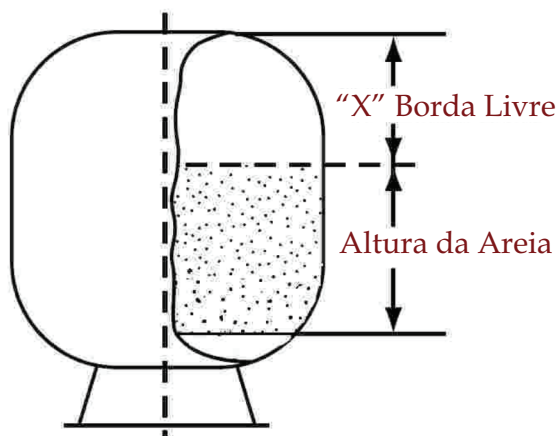


Figura 17. Esquema exemplificando a borda livre que deve existir em um filtro de areia. (Adaptado de TORO, 2014)

Como exemplo de cálculo do volume de areia a ser colocado em um filtro, pode-se assumir o filtro representado na figura 18 que tem um diâmetro do corpo de 750 mm (D), com área superficial de 0,44 m², altura total de 1.100 mm (H) e altura do corpo de 740 mm (Hc).

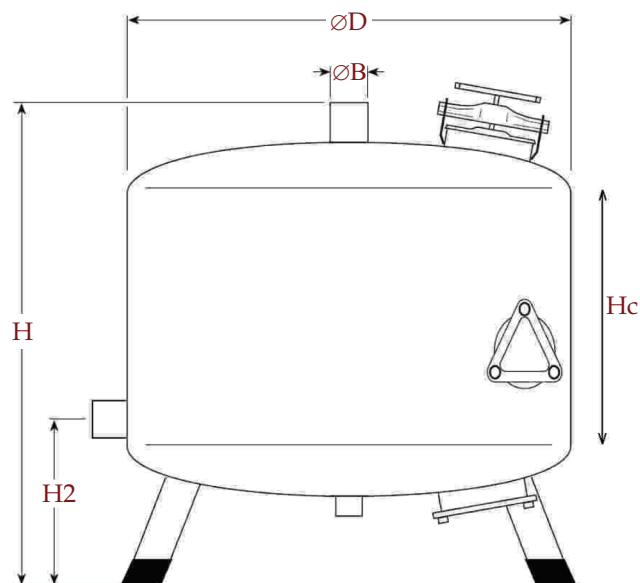


Figura 18. Esquema de um modelo de filtro de areia com dimensões características. (Adaptado de ODIS, 2013)

Assumindo o critério de se ter uma borda livre de 25%, ou seja, $740 \times 0,25 = 185$ mm, a altura da camada de areia será igual a $740 - 185 = 555$ mm. Neste contexto, o volume de areia necessário para preencher essa camada será igual a:

$$V_{\text{areia}} = h_{\text{camada}} \times \text{Área}_{\text{filtro}} \quad (5)$$

$$V_{\text{areia}} = 0,55 \text{ m} \times 0,44 \text{ m}^2 = 0,244 \text{ m}^3$$

Correspondendo a uma massa de:

$$m_{\text{areia}} = V_{\text{areia}} \times \rho \times \alpha \quad (6)$$

$$m_{\text{areia}} = 0,244 \times 2.660 \times 0,45 = 292 \text{ kg}$$

Sendo: V_{areia} , o volume ocupado pela camada de areia (m³), ρ a densidade dos grãos de areia (2.660 kg m⁻³) e α , a porosidade da areia (0,45).

Como normalmente a areia é fornecida em sacos de 25 kg, a massa de 292 kg corresponderá a aproximadamente 12 sacos de areia.

Análise da vazão de retrolavagem

A vazão requerida para a retrolavagem está relacionada com a granulometria da areia selecionada, e deve permitir uma expansão da altura do leito do filtro de, no mínimo, 25% do seu valor inicial. Para uma determinada expansão do leito, quanto maior a granulometria da areia (mais grossa), maior a vazão de retrolavagem requerida.

Um erro ao executar a limpeza da camada filtrante fará com que o leito de areia acumule sujeira gradativamente, aumentando o diferencial de pressão após cada retrolavagem, até que essa contaminação crie, consequentemente, túneis ou caminhos preferenciais compostos por sujeira, que permitem a passagem da água com impurezas, que deveriam ser retidas, reduzindo a qualidade da filtração e, consequentemente, aumentando o arraste de impurezas para o sistema de irrigação e a continuação dos problemas de entupimento dos emissores.

Os catálogos dos fabricantes brasileiros de filtros trazem pouca informação sobre recomendações de valor para a vazão de retrolavagem, devido às dificuldades de estimar esse parâmetro, e mesmo tendo disponível um valor recomendado, o agricultor ainda enfrenta o desafio de regular corretamente em campo o

valor da vazão de retrolavagem. Essa dificuldade faz com que, muitas vezes, ocorram perdas de areia junto com o refluxo, devido ao uso de vazões excessivas, ou ocasionam a falsa impressão de limpeza, pela aplicação de vazões menores que as recomendadas, causando a cimentação ou colmatação da camada filtrante (Figura 19).



Figura 19. Detalhe da superfície da areia no interior de um filtro após a retrolavagem mal realizada.

Na figura 20 há um gráfico que relaciona valores teóricos da velocidade de retrolavagem para leitos filtrantes constituídos de diferentes diâmetros efetivos de areia.

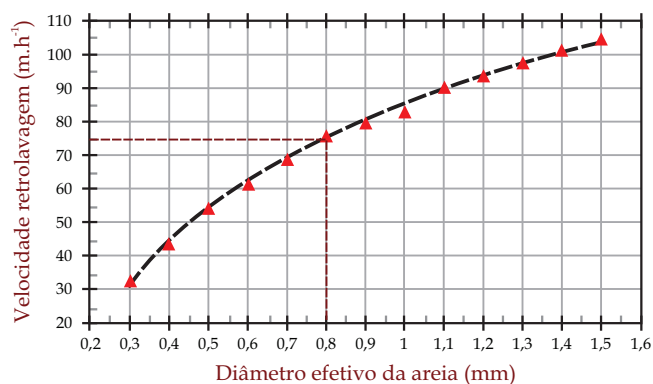


Figura 20. Representação gráfica da velocidade de retrolavagem (m h^{-1}) em função de diâmetros efetivos de areia (mm).

Os valores de velocidade apresentados na figura 20 foram estimados teoricamente assumindo uma porosidade do leito expandido na retrolavagem de 70%. Entretanto, experimentos mostraram valores de velocidade de fluidização superiores aos valores teóricos apresentados na figura, como por exemplo, 75,0; 102,5; e 135,0 m h⁻¹, para os diâmetros efetivos de 0,50; 0,85 e 1,15 mm, respectivamente, ao invés de 55; 78 e 92 m h⁻¹ retirados da figura. Portanto, esses valores devem servir somente como valores iniciais para verificação do funcionamento de retrolavagem, e que precisam ser reavaliados posteriormente em campo (RAMIREZ, 2011).

Na retrolavagem sempre se recomenda utilizar conjuntos com mais de um filtro, de forma a permitir que um equipamento opere no modo de retrolavagem, enquanto os demais devem operar no modo de filtração para viabilizar a limpeza com água filtrada. A partir da figura 20 é possível analisar o exemplo de aplicação trabalhado no tópico anterior e considerando uma areia selecionada com diâmetro efetivo de 0,80 mm e as seguintes opções de configurações de filtros:

- Cinco filtros com diâmetros de 750 mm ($A_t = 2,2 \text{ m}^2$ e taxa de filtração de $45,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).
- Três filtros com diâmetros de 1.000 mm ($A_t = 2,37 \text{ m}^2$ e taxa de filtração de $42,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).
- Dois filtros de 1.200 mm ($A_t = 2,26 \text{ m}^2$ e taxa de filtração de $44,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Pela figura 20, é possível encontrar que a velocidade teórica de retrolavagem para a areia com diâmetro efetivo de 0,80 mm é de 75 m h⁻¹, sendo possível estimar para cada um dos filtros selecionados a vazão de retrolavagem pela seguinte equação:

$$Q_{\text{retro}} = A_{\text{filtro}} \times V_{\text{retro}} \quad (7)$$

Sendo, Q_{retro} , a vazão de retrolavagem por filtro (m³ h⁻¹); A_{filtro} , a área superficial de cada filtro (m²) e V_{retro} , velocidade teórica de retrolavagem (m h⁻¹), retirada na figura 20.

Na tabela 8 são apresentados os valores estimados da vazão de retrolavagem para cada diâmetro dos filtros escolhidos no exemplo de aplicação. Nessa tabela, são apresentados também os valores de vazão total requerida no sistema de irrigação no momento da retrolavagem, considerando que para realizar a limpeza e manter o sistema de irrigação em funcionamento ao mesmo tempo, é necessário ter disponível a vazão do sistema de irrigação (100 m³ h⁻¹) mais a vazão requerida na retrolavagem.

Portanto, em função do filtro escolhido, o sistema motobomba deve ser projetado para fornecer a vazão total necessária para a realização da retrolavagem e manter o sistema em operação. Como no processo de retrolavagem um dos filtros deve receber água filtrada do restante do conjunto, o aumento da vazão nesse momento gera um aumento na taxa de filtração dos filtros restantes, como pode ser observado na tabela 9.

Tabela 8. Exemplo de cálculo da vazão de retrolavagem para os filtros escolhidos no exemplo

Diâmetro do corpo (mm)	Área Superficial (m ²)	Vazão de retrolavagem (m ³ h ⁻¹)	Vazão total requerida (m ³ h ⁻¹)
750	0,44	33,0	133,0
1.000	0,79	59,3	159,3
1.200	1,13	84,8	184,8

Tabela 9. Comparação do desempenho nos processos de filtração e retrolavagem para os filtros nas diferentes configurações selecionadas

Configuração	Área por filtro (m ²)	Taxa de filtração ¹ (m ³ m ⁻² h ⁻¹)	Vazão total requerida na retrolavagem (m ³ h ⁻¹)	Área de filtração na retrolavagem (m ²)	Taxa de filtração na retrolavagem ² (m ³ m ⁻² h ⁻¹)
5 x 750	0,44	45,5	133,0	1,76	75,6
3 x 1.000	0,79	42,2	159,3	1,58	100,8
2 x 1.200	1,13	44,3	184,8	1,13	163,5

Obs.: ¹Taxa de filtração quando todos os filtros estão no modo filtragem; ²Taxa de filtração quando um dos filtros está sendo retrolavado.

Pela Tabela 9 (ultima coluna) é possível observar que todos os conjuntos irão operar a uma taxa de filtração superior ao valor recomendado de 60 m³ m⁻² h⁻¹, durante a execução da retrolavagem. A partir desses resultados, as seguintes considerações podem ser feitas:

➤ Os altos valores de vazão que passam pelos filtros no modo de filtragem durante a retrolavagem vão provocar aumento na perda de pressão desses equipamentos;

➤ No momento da retrolavagem, o sistema é aberto para a atmosfera, fazendo com que a pressão caia drasticamente, determinando aumento da vazão, da potência e no consumo de energia da bomba e uma redução significativa da pressão do sistema durante o processo de retrolavagem;

➤ Os altos valores de taxa de filtração nos filtros que estão no modo de filtragem determinará a movimentação do leito filtrante gerando caminhos preferenciais e redução na eficiência de remoção.

Uma conclusão que se pode ter, é que utilizando esse método de dimensionamento, é muito difícil manter a vazão para o sistema de

irrigação durante o processo de retrolavagem, principalmente quando se utiliza um conjunto com dois tanques, pois um filtro vai operar com o dobro da vazão do projeto.

Portanto, uma solução possível para o exemplo de aplicação seria utilizar o conjunto com cinco filtros de 750 mm de diâmetro. Essa configuração apresentaria o seguinte desempenho:

Durante a filtragem:

$$\begin{aligned} \text{Área}_{\text{total filtragem}} &= n_f \times \text{Área}_{\text{filtro}} \\ \text{Área}_{\text{total filtragem}} &= 5 \times 0,44 = 2,20 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{\text{Vazão do sistema (m}^3 \text{ h}^{-1})}{\text{Área}_{\text{total de filtragem (m}^2)}} \quad (9)$$

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{100}{2,20} = 45,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Durante a retrolavagem:

$$\begin{aligned} \text{Área}_{\text{total filtragem}} &= (n_f - 1) \times \text{Área}_{\text{filtro}} \text{ (m}^2\text{)} \\ \text{Área}_{\text{total filtragem}} &= 4 \times 0,44 = 1,76 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{\text{Vazão do sistema (m}^3 \text{ h}^{-1})}{\text{Área}_{\text{total de filtragem (m}^2)}} \quad (11)$$

$$\text{Taxa de filtração} = \frac{133,0}{1,76} = 75,6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Essa configuração exigiria um sistema motobomba que fornecesse uma vazão 33% maior na retrolavagem e com taxa de filtração adequada durante a filtração e um pouco maior na retrolavagem. Outra possibilidade para atingir a limpeza adequada do leito filtrante seria projetar a estação de bombeamento com duas bombas centrífugas em paralelo, de forma que, quando a retrolavagem terminasse, uma das bombas seria desligada, fechando uma válvula instalada na saída do filtro e evitando a entrada de água para o sistema. Também é recomendável instalar uma válvula reguladora de pressão, ou de globo ou

borboleta na saída da água de retrolavagem, com o intuito de manter o valor de vazão adequando para a fluidização e limpeza do leito (EL REGANTE, 2013).

A definição do número de filtros de areia e das suas dimensões em um conjunto de filtragem, junto com a seleção da granulometria e a determinação do volume de areia, é somente a primeira etapa para estabelecer a eficiência e a eficácia da filtragem. A correta instalação e operação para as condições de funcionamento do sistema de irrigação são essenciais para o sucesso do processo de tratamento de água, e serão abordados nas seções seguintes desse manual.



Esta seção tem o objetivo de mostrar, de forma geral, os passos requeridos para a instalação de um conjunto de filtros de areia no campo e fornecer informações básicas sobre a operação desses equipamentos, visando atingir a eficácia desejada no tratamento da água de irrigação.

Instalação

A instalação de um conjunto de filtros de areia no campo requer a montagem de componentes e acessórios dentro de uma configuração que atenda a sua operação nos processos de filtragem e retrolavagem. A figura 21 representa um esquema de montagem padrão, cujas partes estão identificadas por número e as funções dos principais componentes discutidas a seguir.

Componentes e acessórios

Os principais acessórios que devem estar presentes em um conjunto de filtragem são listados a seguir com a sua respectiva função dentro do sistema.

Tubo transparente ou visor de inspeção (6): tubo de acrílico instalado na tubulação de retrolavagem para possibilitar a inspeção visual da água de limpeza e verificar a qualidade da retrolavagem e se um excesso de areia não está saindo do filtro durante a retrolavagem. Um visor de vidro ou acrílico, como mostrado na figura 22 pode ser instalado com esse objetivo.

Válvula ou registro na tubulação de retrolavagem (7): para garantir a regulação da vazão correta de retrolavagem dos filtros de areia, é necessário instalar uma válvula ou registro-gaveta para estrangular a seção de fluxo e reduzir a vazão na saída da tubulação de retrolavagem.

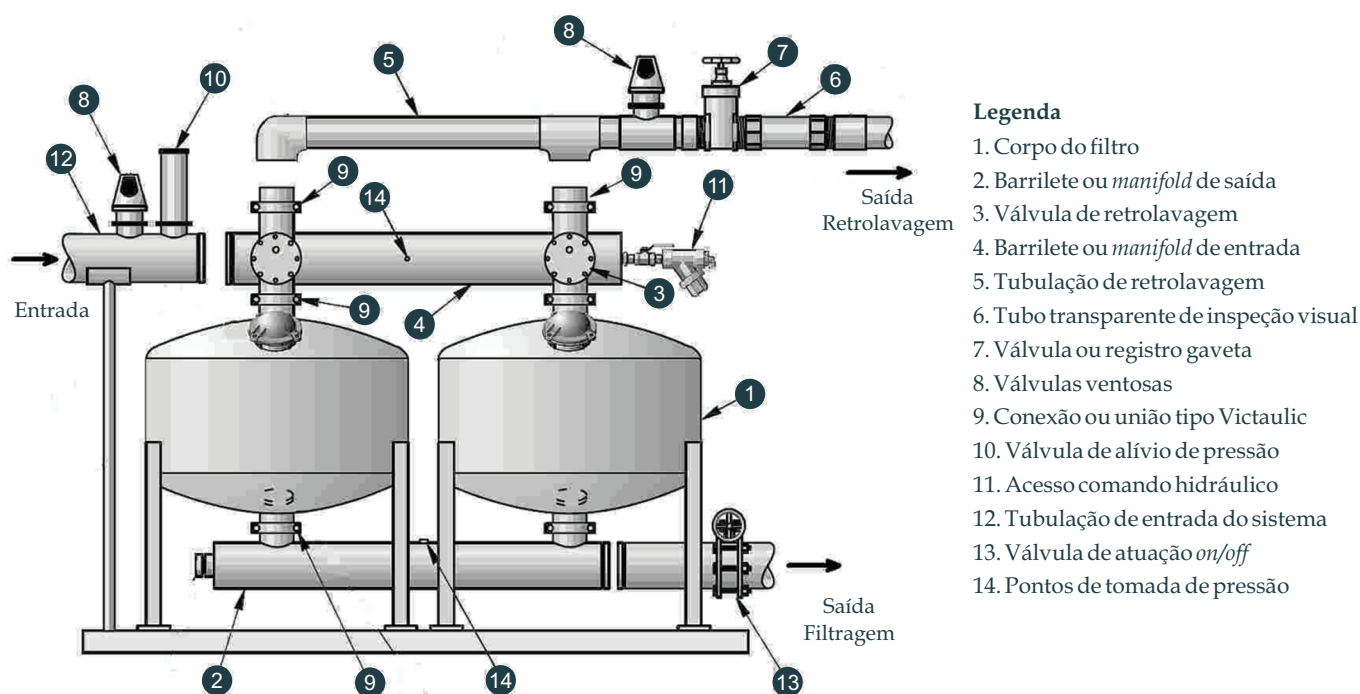


Figura 21. Esquema da montagem de um conjunto com dois filtros de areia com seus componentes e acessórios. (Adaptado de FLOW-GUARD, 2013)



Figura 22. Modelo de visor de acrílico utilizado para inspeção da água de retrolavagem. (Fonte: University of Califórnia, 2013)

Válvula ventosa na tubulação de retrolavagem (8): ventosa instalada na tubulação de retrolavagem visando à drenagem da linha e impedir o desenvolvimento de vácuo nessa tubulação.

Válvula ventosa na tubulação de entrada dos filtros (8): ventosa instalada na tubulação de entrada para retirar todo ar durante a pressurização inicial do sistema e durante sua operação.

Válvula de alívio de pressão (10): instalada na tubulação de entrada ou de recalque do sistema para proteger os filtros de excesso de pressurização ou de sobrepressão.

Válvula de atuação *on/off* (13): são válvulas ativadas hidráulica ou eletricamente que podem ser acionadas local ou remotamente para abrir ou fechar. Podem ser instaladas na tubulação de saída do filtro para limitar a vazão de saída, facilitando a retrolavagem do filtro pelo aumento da vazão de retrolavagem.

Outros acessórios presentes no cabeçal de controle de sistemas de irrigação podem ser incorporados complementarmente à instalação do conjunto de filtragem. O

primeiro seria a instalação de um medidor de vazão na tubulação de saída, que vai possibilitar o monitoramento da vazão do sistema de irrigação e do desempenho do sistema de bombeamento. Além disso, esse medidor pode auxiliar na determinação mais precisa da duração adequada do ciclo de retrolavagem, ou seja, deve-se considerar o início da retrolavagem somente quando o sistema atinge a vazão total de retrolavagem.

Outro dispositivo importante para o monitoramento da pressão do conjunto de filtros é o acoplamento de um manômetro aos pontos de tomada de pressão disponíveis, a partir de uma válvula de esfera de três vias, e que vai possibilitar o acompanhamento da pressão na entrada e saída do conjunto em um mesmo referencial de posição.

Alguns fabricantes recomendam a instalação de um filtro de tela ou disco depois do filtro de areia para reduzir o perigo de entupimento do sistema por fuga de areia devido à ruptura dos drenos ou alguma falha no sistema de filtragem. Um acessório de segurança que poderia ser instalado seria um interruptor de pressão, que permite a partir de um valor pré-definido desligar o sistema em caso de sobrepressão.

Lembrete importante: Por questões econômicas, tanto as empresas como agricultores, buscam reduzir o custo inicial de investimento do projeto retirando do orçamento do conjunto de filtragem os acessórios e componentes de maior valor. Salienta-se que esse procedimento coloca em risco tanto o desempenho dos processos de filtragem e retrolavagem como a segurança do operador do sistema, levando à redução da vida útil dos equipamentos e aumentando o custo operacional de manutenção. Nesse caso, o barato pode sair muito mais caro.

Procedimentos para instalação

Local de instalação

É preciso selecionar um local de fácil acesso para a instalação e manutenção do filtro, porém outros fatores podem ser considerados, como: localização da fonte de energia para controle da automação, provisão para a eliminação de água de lavagem e proteção e segurança dos equipamentos e operadores. Geralmente, o conjunto de filtragem é instalado junto ao cabeçal de controle do sistema de irrigação e considerado parte dele.

Base de concreto para instalação

Uma base de concreto nivelada e relativamente lisa deve ser construída para servir de apoio às unidades de filtro. As dimensões dessa base vão depender do tipo de configuração de montagem que será utilizada na propriedade.

Etapas de montagem

A seguinte sequência pode ser adotada nas etapas de montagem do conjunto de filtros de areia:

- Posicionamento alinhado dos tanques dos filtros na base de concreto, dispondo-os na mesma posição para facilitar o acoplamento dos manifolds. A figura 23 mostra diferentes configurações de disposição linear de filtros em campo;

- Montagem e instalação do barrilete de saída ou drenagem: conectar a tubulação com as saídas inferiores dos filtros sem apertar completamente as conexões.

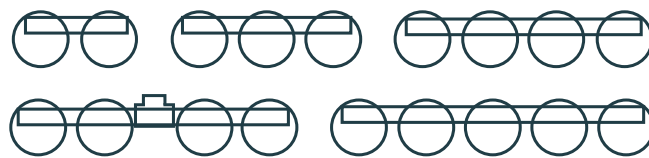


Figura 23. Modelos de configurações da disposição de filtros de areia em campo. (Fonte: FLOW-GUARD, 2013)

- Instalação das válvulas de retrolavagem: acoplar as válvulas na entrada superior dos filtros, seguindo a orientação correta de montagem e coincidindo os diâmetros de acoplamento, evitando peças de redução (Figura 24).



Figura 24. Detalhe de uma válvula de retrolavagem instalada na parte superior de um filtro.

- Montagem e instalação do barrilete de entrada: montar o barrilete com os acessórios e acoplar às válvulas de retrolavagem. Apertar as uniões parcialmente, verificando o alinhamento de manifolds e válvulas e, então, deve-se apertar os parafusos em todos os acoplamentos.

- Montagem e instalação da tubulação de retrolavagem: Montar a tubulação de retrolavagem com os acessórios (válvula ventosa e de gaveta e tubo de inspeção) e acoplar às saídas correspondentes das válvulas de retrolavagem.

- Instalação do sistema de controle automático ou semiautomático.

➤ Depositar a areia no interior dos filtros: abrir a tampa superior dos filtros e verificar a condição interna de limpeza, retirando sujeiras, se existir. Verificar se todos os drenos internos estão instalados e intactos. Carregar os filtros com o volume de areia que atenda os requisitos de filtragem da propriedade, verificando a altura da camada corresponde ao valor de projeto. Após a colocação da areia é preciso se certificar que as tampas sejam recolocadas de forma segura.

➤ Após a montagem é preciso verificar e reapertar todas as conexões e acoplamentos.

Na figura 25, verificam-se dois conjuntos de filtros de areia com a montagem completa, mostrando os detalhes da configuração de instalação, dos manifolds de entrada, saída e retrolavagem e de alguns acessórios (válvulas de retrolavagem e ventosas).



Figura 25. Dois exemplos de conjunto de filtros de areia montados e em operação.

Buscando atender culturas itinerantes, como tomate, empresas especializadas desenvolveram conjuntos de filtros de areia sobre carretas, para facilitar a sua mobilidade para diferentes áreas de produção. Na figura 26, observa-se um conjunto com dois filtros de areia montados sobre carreta, mostrando detalhes de sua instalação.



Figura 26. Montagem de um conjunto de filtros de areia sobre carreta móvel.

Operação

Após a instalação correta e dos ajustes das partes e acessórios que constituem um conjunto de filtros de areia, o agricultor terá ainda que adotar algumas ações adicionais antes de iniciar a operação do equipamento para garantir que o sistema de irrigação receba água com a qualidade requerida para evitar o entupimento dos emissores. Essas ações são discutidas a seguir.

Limpeza inicial da areia nos tanques

O desempenho dos filtros de areia é altamente dependente de duas situações que podem ocorrer no início das filtrações e que devem ser avaliadas antes do início efetivo da sua operação:

➤ No primeiro funcionamento do filtro com a areia limpa, a perda de pressão pode ficar elevada na ordem de 50 a 100 kPa (5 a 10 mca), ao invés dos valores normais em torno de 10 a 20 kPa (1 a 2 mca). Esse comportamento é causado pela obstrução das ranhuras dos drenos por partículas finas presentes na areia;

➤ Adicionalmente, pequenas partículas de sujeira, presentes na areia colocada no filtro, vão passar pelos drenos e atingir os emissores do sistema de irrigação.

A principal causa desses dois problemas é que, geralmente, a areia nova colocada no filtro não está tão limpa como deveria estar, pois as empresas fornecedoras de areia não providenciam material lavado e com coeficiente de uniformidade dentro do limite recomendado.

Esse fato ocorre por diferentes erros, mas, principalmente, pela falta de regulamentação específica para venda de areia para filtros de areia de irrigação. Muitas vezes, mesmo que a areia seja pré-lavada e fornecida em sacos, pode ser mal manuseada e transportada, chegando ao local de destino na propriedade bem suja e inadequada. Portanto, os seguintes cuidados devem ser tomados:

➤ Comprar somente areia pré-lavada de fornecedores idôneos;

➤ Lavar a areia antes de colocar nos filtros, mesmo que o fornecedor garanta que é pré-lavada;

➤ Colocar o volume recomendado de areia dentro do filtro até atingir a altura correta de filtragem;

➤ O primeiro funcionamento do filtro deve ser feito com cautela. Todo o ar aprisionado deve ser purgado de todas as linhas e filtros antes da operação. As válvulas e bombas devem ser abertas lentamente para

evitar danos aos filtros e ao sistema de irrigação devido ao ar aprisionado.

➤ Realizar a retrolavagem de todos os filtros, operando um de cada vez, não permitindo a entrada de água para o sistema de irrigação. Ou seja, toda a água de filtragem deve passar pelo filtro que está sendo retrolavado e ser descartada;

➤ Essa operação deve ser realizada de forma manual, onde a válvula de retrolavagem deve ser aberta lentamente, ao mesmo tempo em que se regula a vazão no registro presente na linha de retrolavagem, de forma a não exceder o valor da vazão máxima de retrolavagem;

➤ Essa operação deve ser realizada de modo que uma baixa vazão passe nos filtros que estão realizando a filtragem (aqueles que não estão sendo retrolavados), evitando a migração de partículas finas no filtro que pode entupir os drenos;

➤ Repetir todo o procedimento até que todos os filtros sejam lavados no mínimo três vezes, para garantir a limpeza de toda a areia e a remoção das partículas finas presentes na camada filtrante.

Durante essa limpeza inicial é normal que uma quantidade significativa de partículas finas seja removida dos filtros.

Regulagem da vazão de retrolavagem

Apesar da determinação do valor teórico da vazão de retrolavagem no procedimento de dimensionamento, é necessário que seu valor seja ajustado em campo para se atingir a limpeza efetiva da areia no interior do filtro. A vazão requerida, como já foi mostrada anteriormente, depende da granulometria da areia e do diâmetro do filtro.

Valores de vazão acima do requerido vão conduzir a areia para fora do filtro. Por outro lado, vazões baixas de retrolavagem não vão expandir e fluidizar suficientemente o leito filtrante, deixando de remover as impurezas da areia. Portanto, recomendam-se aqui os seguintes procedimentos para se chegar a um valor prático de vazão de retrolavagem:

➤ Ligar a bomba ou abrir a válvula fornecendo água pressurizada aos filtros, operando à vazão e pressão de serviço do sistema.

➤ Colocar a válvula de retrolavagem (três vias) no modo de retrolavagem no primeiro filtro para iniciar um ciclo de retrolavagem. Esse procedimento irá fechar a entrada de água para esse filtro e permitir a reversão do fluxo, a partir dos outros filtros do

conjunto de filtragem que devem estar no modo filtragem (Figura 27A), abrindo a saída superior do filtro (no modo de retrolavagem) para a tubulação de retrolavagem aberta à atmosfera (Figura 27B). A água filtrada e limpa dos outros filtros vai entrar pela abertura inferior e retrolavar o leito filtrante. Lembrando que somente um filtro é retrolavado por vez.

➤ Abrir lentamente a válvula instalada na tubulação de retrolavagem e em pequenos incrementos de abertura. Entre cada incremento de abertura da válvula, verifique visualmente a presença de areia na saída da tubulação de retrolavagem ou no tubo de inspeção (quando houver). Nunca inicie esse procedimento de ajuste com vazões altas, pois pode destruir a integridade do leito.

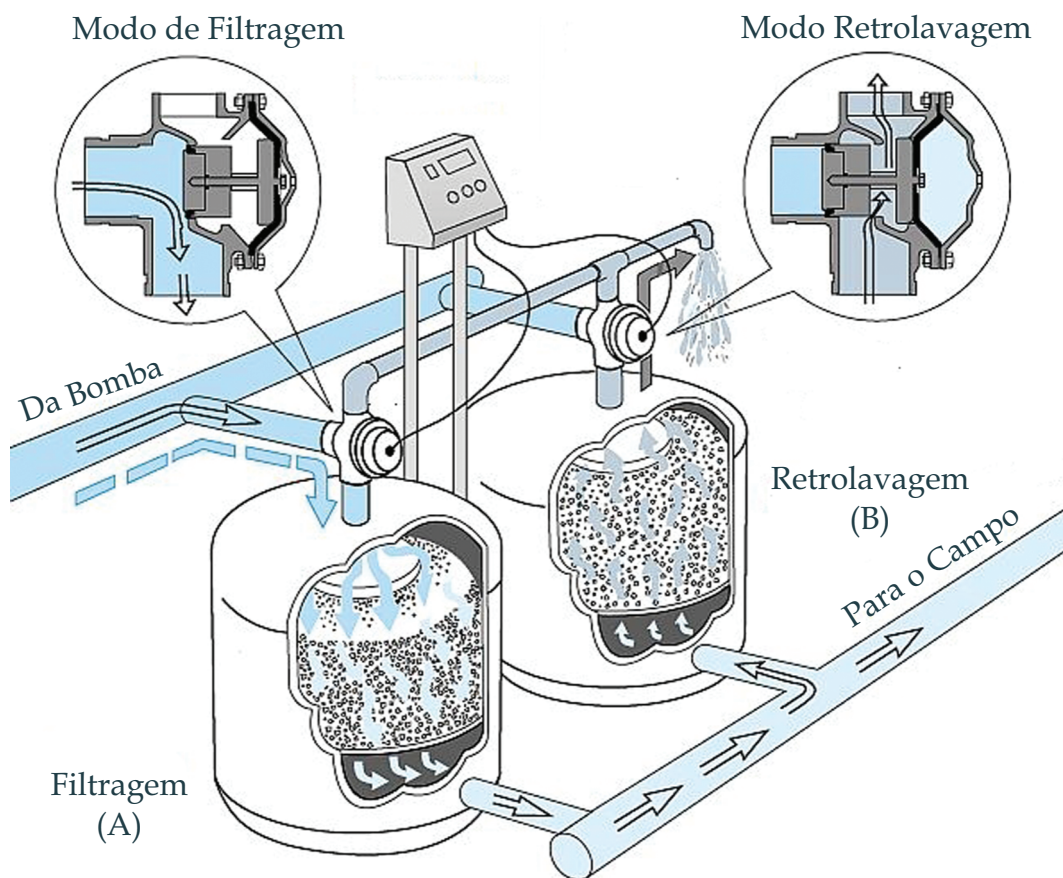


Figura 27. Esquema mostrando a reversão do fluxo pela válvula de três vias para a realização da retrolavagem, com o filtro (A) no modo de filtragem e no filtro (B) no modo de retrolavagem. (Adaptado de BERMAD, 2013).

➤ É preciso esperar um tempo entre cada ajuste ou regulagem da válvula e a verificação da saída de material filtrante, para possibilitar que a água que passa pelo filtro chegue até a saída da retrolavagem.

➤ Uma das formas para verificar a presença de areia na tubulação de saída é a instalação do tubo de inspeção ou a colocação de uma malha de filtragem com mesh 100-120 na saída.

➤ É desejável que uma pequena quantidade de areia seja perdida durante os processos de retrolavagem, sendo possível perder em torno de 5 a 8 cm de areia por safra.

Os problemas mais comuns com a regulagem da vazão de retrolavagem são:

➤ A tubulação de descarga da água de retrolavagem é muito longa ou muito curta, ou instalada em um aclave longo, impossibilitando atingir a vazão de retrolavagem;

➤ A pressão presente nos filtros pode variar ao longo do tempo, em função da operação de setores de irrigação com diferentes tamanhos dentro do sistema ou de diferentes fontes de pressão (válvulas, por exemplo). Esses fatores causam variações na vazão de retrolavagem, às vezes, mantendo-a nos valores requeridos, outros elevando ou abaixando seu valor.

➤ Insuficiente pressão para operar simultaneamente a retrolavagem e o sistema de irrigação. Nesse caso, a vazão a jusante dos filtros deve ser reduzida com um aumento de pressão, utilizando uma válvula de regulagem automática de pressão. Essa válvula monitora a pressão nesse ponto e começa a fechar a seção transversal quando a pressão cai abaixo de um valor pré-determinado.

Frequência de retrolavagem

A operação de retrolavagem pode ser realizada de forma manual ou automática. A forma manual exige menos investimento inicial, mas obriga a presença de um operador treinado que ficará responsável pela abertura e fechamento das válvulas durante o processo. A automação da retrolavagem elimina problemas relacionados à variação da qualidade de água ao longo da safra, e do desempenho do operador que pode se esquecer de executá-la ou proceder de forma incorreta, com tempo de retrolavagem menor que o requerido.

Nesses dois casos, a estratégica para se definir o momento e a frequência de retrolavagem pode ser estabelecida utilizando dois parâmetros:

➤ Diferencial de pressão (DP) gerado pelo conjunto de filtros;

➤ Tempo decorrido entre irrigações.

Para o emprego do DP é preciso definir o valor do aumento do diferencial de pressão entre a entrada e a saída do conjunto de filtros para que a retrolavagem seja iniciada. Recomenda-se geralmente incrementos de valores no intervalo de 30 a 50 kPa (3 a 6 mca) acima do valor de filtros limpos. Por exemplo, no caso da figura 15, verifica-se que para uma vazão de $8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o filtro possui um valor de perda de carga em torno de 17 kPa (1,7 mca.) quando está preenchido com uma camada de areia de 45 cm (granulometria de 0,8 a 1,2 mm), pode-se assumir um acréscimo de pressão na ordem de 40 kPa e iniciar a retrolavagem no momento que o DP atingir 57 kPa (5,7 mca). Alguns especialistas recomendam a utilização do valor máximo de perda de carga do equipamento de 70 kPa (7,0 mca).

Outra forma de definir o momento da retrolavagem é pelo tempo de duração das irrigações. Como a frequência de irrigação em sistemas de irrigação localizada normalmente é diária recomenda-se que seja realizada uma retrolavagem por dia, independente do DP que ocorrer. Utilizando esse método associado a baixos valores de taxa de filtração, proporcionará o entupimento lento da camada, sem haver uma variação significativa do DP. Portanto, é uma boa prática definir o relógio do controlador ou manualmente lavar os filtros uma vez por dia, no mínimo. No caso de água com concentrações mais altas de contaminantes, recomenda-se realizar a retrolavagem com uma frequência diária maior, por exemplo, a cada duas ou quatro horas.

A realização de retrolavagens diárias é principalmente recomendada quando há concentrações altas de silte na água de irrigação, que podem migrar no interior do leito filtrante, sem causar uma elevação significativa no DP, e que são difíceis de serem removidas pela retrolavagem. Outra situação idêntica são águas com quantidade elevada de algas e outros materiais orgânicos que tendem a cimentar o leito filtrante, se não forem eliminados frequentemente.

Recomenda-se adotar um valor de frequência de retrolavagem o qual permita que somente a camada superior da areia (em torno de 10 cm) seja contaminada. Esse critério permite uma limpeza mais rápida, reduzindo o tempo requerido de retrolavagem. Caso contrário, se as camadas inferiores do leito também ficarem contaminadas, o tempo de duração da retrolavagem deve aumentar para garantir sua limpeza (FLOW-GUARD, 2013).

Duração da retrolavagem

A duração da retrolavagem depende do tipo de contaminante presente na água de irrigação e da frequência de retrolavagem adotada para o sistema, devendo durar o tempo suficiente para limpar completamente todo o leito filtrante. Se a qualidade da água de irrigação é baixa, com alta concentração de partículas de pequenas dimensões, o tempo de retrolavagem deve ser maior e com frequência mais elevada quando comparada com águas de boa qualidade.

As empresas recomendam uma limpeza com duração de 90 segundos para contaminantes que tenham partículas grandes como flocos de ferrugem, sementes de plantas ou folhas, e que ficam retidas predominantemente na superfície da camada de areia. Entretanto, se os contaminantes são partículas finas, como lodo, silte ou outro material que vai ficar retido ao longo da camada de areia, a duração da retrolavagem deve ser aumentada em função da altura da camada que ficou suja, com adequação da frequência da retrolavagem para essa situação.

Por isso, o agricultor deve observar a sequência da retrolavagem e verificar se a duração é suficientemente longa para remover todos os contaminantes e limpar a camada de areia. Se a duração da retrolavagem não for suficiente ou se a vazão for menor que o requerido para esse processo, o DP do conjunto de filtração após cada retrolavagem vai aumentar gradualmente com o tempo.

Além do tempo efetivo de retrolavagem, recomenda-se que a água fique drenando por mais 20 a 30 segundos

depois de ficar limpa na saída de tubulação de drenagem, antes de a válvula ser fechada para continuar a sequência de retrolavagem.

Sistemas automáticos de retrolavagem permitem também ajustar o tempo de espera entre a retrolavagem de cada filtro, de forma a possibilitar a pressurização do sistema ao nível normal de funcionamento para que cada filtro tenha sempre a mesma pressão de retrolavagem. No caso de operação manual, é preciso ter certeza que a válvula que foi operada fechou antes de proceder a abertura da próxima. Válvulas de retrolavagem novas operando a pressões de 200 a 500 kPa (20 a 50 mca) vão abrir completamente em 10-15 segundos, enquanto válvulas antigas que operam em ambientes corrosivos ou empoeirados pode demorar mais tempo devido ao desgaste de componentes e peças. Dessa forma, pode-se afirmar que o tempo total para operacionalizar a retrolavagem de cada filtro é igual a:

$$t_{Tr} = t_{er} + t_{da} + t_{eo} \quad (12)$$

Sendo t_{Tr} , o tempo total de retrolavagem (min); t_{er} , o tempo efetivo da retrolavagem (min); t_{da} , o tempo de drenagem adicional (min) e t_{eo} , o tempo de espera operacional da retrolavagem (min).

Por exemplo, para o cálculo do tempo total de retrolavagem, pode-se assumir para o exemplo de aplicação da seção anterior, com água de média qualidade, um tempo efetivo de retrolavagem de 120 segundos, com um tempo de drenagem adicional de 30 segundos e, finalmente, um tempo de espera operacional de 30 segundos, totalizando um tempo total de

retrolavagem de 180 segundos, ou 3 minutos. Esse valor deve ser estimado para as condições de campo, avaliando-se a qualidade da limpeza do leito filtrante.

Limitação para realização da retrolavagem

Segundo BARTH (2013), quando houver um acúmulo excessivo de material no leito filtrante, proveniente da água de irrigação, haverá um incremento excessivo na perda de carga do conjunto de filtragem. Quando este fato ocorre, poderá não ser mais possível a realização da retrolavagem com a água proveniente do(s) outro(s) filtro(s) da bateria ou conjunto de filtragem, por falta de vazão/pressão (velocidade necessária para a retrolavagem).

A redução da vazão no sistema de irrigação é resultado do aumento da perda de pressão acima do previsto nos filtros, afetando o ponto de operação do sistema de bombeamento e do sistema como um todo.

Persistindo esta situação o grau de entupimento dos filtros pode atingir um valor tal que determina a erosão do leito filtrante e permitindo que a água passe diretamente pelos drenos coletores.

Essa situação pode ser solucionada com a execução da retrolavagem no momento correto por tempo ou por diferencial de pressão. É importante que no funcionamento inicial, após a instalação do sistema de irrigação, se faça a lavagem da tubulação que antecede a filtragem, sem passar pela filtragem. Também não se deve permitir a sucção de areia fina ou depósitos de materiais minerais e orgânicos próximos à válvula de pé da sucção da bomba.



(Fonte: OMAFRA, 2014)

O conteúdo desta seção tem o objetivo de fornecer informações sobre os procedimentos a serem adotados na manutenção de filtros de areia em campo e apresentar formas de avaliação da eficácia do equipamento na sua função de tratar a água de irrigação e reduzir entupimentos de emissores.

Manutenção

A realização da manutenção dos filtros de areia tem como finalidade principal manter sua capacidade de tratar fisicamente a água de irrigação para garantir sua eficiência e eficácia. Geralmente na agricultura as atividades de manutenção são vistas como coisa desnecessária devido aos custos e à necessidade de desligar o sistema. Entretanto, os custos são baixos se comparados aos custos com substituição de peças danificadas por falta de manutenção e o risco de perda de produção por necessidade de paradas obrigatórias devido à quebra de peças e acessórios. A figura 28 mostra um exemplo de drenos totalmente sujos e entupidos em razão de operação incorreta e ausência de manutenção.

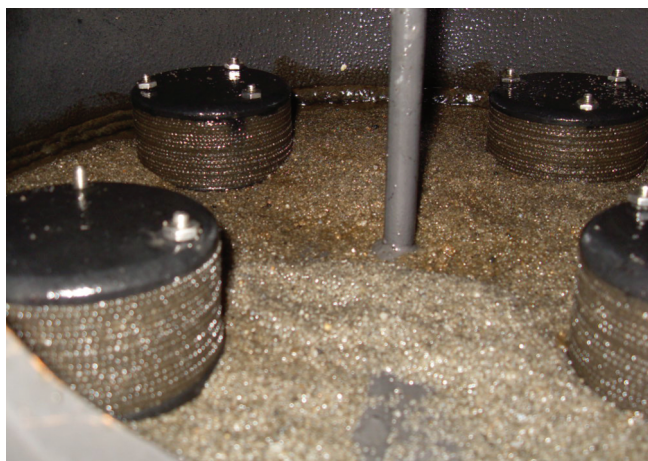


Figura 28. Exemplo da ausência de manutenção com os drenos totalmente entupidos quando utilizados em água residuária.

Os principais métodos de manutenção que podem ser empregados na irrigação são: corretiva, preventiva e preditiva.

Corretiva: É a manutenção que mais acontece na agricultura irrigada, ou seja, o conserto do equipamento somente ocorre após sua quebra ou avaria (manutenção tipo quebra/conserta). Esse tipo de manutenção leva a paradas obrigatórias sem data marcada e, muitas vezes, impróprias, como fins de semana ou momentos que você mais precisa do equipamento ou sistema.

Preventiva: Consiste na prevenção de defeitos que possam originar a parada ou baixo rendimento dos filtros em operação. Esta prevenção é geralmente baseada no estado e tempo de uso do equipamento, local de instalação e recomendações dadas pelo fabricante (condições ótimas de funcionamento, pontos e periodicidade de lubrificação, etc.). A principal vantagem do uso desse critério de manutenção é diminuir o número e o custo de ações corretivas.

Preditiva: Esse tipo de manutenção é realizado visando a modificação de parâmetros operacionais ou de desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática de avaliação. O objetivo da manutenção preditiva é prevenir falhas nos equipamentos ou sistema pelo acompanhamento ou determinação de parâmetros operacionais, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível (CÂMARA, 2013).

Cada uma das estratégias de manutenção será discutida e trabalhada nos tópicos a seguir.

Manutenção Corretiva

É praticamente impossível eliminar este tipo de manutenção, pois, na maioria das vezes, não se pode prever o momento em que vai ocorrer um defeito ou avaria que irá exigir uma manutenção corretiva de emergência. Na tabela 10 há uma série de problemas que podem ocorrer em um sistema de filtros de areia, com as suas possíveis causas e soluções. Essa tabela somente exemplifica alguns problemas e apresenta possíveis soluções, sem a pretensão de cobrir completamente todas as dificuldades que vão aparecer nem oferecer a resposta correta para elas.

Manutenção Preventiva

Na Tabela 11 há uma proposta de calendário simples para orientar os primeiros passos e a definição das etapas da manutenção preventiva em conjuntos de filtros de areia. Os fabricantes devem apresentar sempre uma proposta de manutenção preventiva para seus equipamentos. A tabela das atividades e dos momentos de realizá-las deve ser afixada em local visível e protegida, perto do sistema de filtragem e o operador responsável deve datar e assinar cada bloco após a execução da tarefa ou atividade.

Uma ação que talvez se faça necessária na manutenção preventiva dos filtros é a realização da cloração periódica da areia. A formação de camadas ou bolos biológicos pode ocorrer no filtro em função da qualidade de água disponível na propriedade, e prejudicar severamente seu desempenho. A presença dessas camadas também pode limitar a ação da vazão de retrolavagem corretamente ajustada. Além

disso, material orgânico pode crescer no interior do filtro durante a entressafra. Utilizando uma concentração de cloro de 10 a 20 ppm pode restaurar o desempenho do filtro e o cloro pode ser adicionado por injeção a montante do filtro durante uma irrigação ou pode ser adicionado no interior do filtro pela porta de acesso superior, enquanto o sistema de irrigação estiver desligado e toda a pressão da água dissipada (UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2013).

Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é realizada a partir do monitoramento ou acompanhamento de parâmetros operacionais ou de desempenho, cuja análise permitirá a modificação ou correção da operação dos filtros. As condições básicas para a execução desse tipo de manutenção exigem que:

- O conjunto de filtros esteja devidamente instrumentalizado para permitir algum tipo de monitoramento ou medição, por exemplo, vazão e/ou pressão;
- As possíveis falhas ou baixo desempenho dos filtros devem ser oriundos de causas que possam ser monitoradas e ter sua evolução acompanhada;
- O estabelecimento de um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado realizado por mão-de-obra bem treinada.

No tópico a seguir serão apresentados métodos de monitoramento de variáveis para avaliação do desempenho de filtros de areia, que podem permitir a implantação de ações relacionadas à manutenção preditiva nesse processo.

Tabela 10. Tabela orientativa de manutenção corretiva para alguns problemas em sistemas de filtros de areia. (Adaptado de RAINBIRD, 2013)

Problemas	Causas	Solução
Filtração deficiente	Altura da camada de areia muito fina permitindo a passagem de impurezas	Adicionar mais areia até a altura recomendada.
	Granulometria incorreta da areia	Trocar areia por uma granulometria correta.
	Diferencial de pressão elevado forçando a passagem de contaminantes através do filtro	Aumentar a frequência de retrolavagem.
Aumento rápido do valor do diferencial de pressão	Vazão de retrolavagem insuficiente	Regular a vazão de retrolavagem ou aumentar a pressão com o fechamento parcial da válvula do sistema.
	Selamento superficial da camada de areia restringindo a retrolavagem	Limpar a superfície da camada de areia de excessos de contaminantes e retrolavar até que o leito fique limpo.
	Vazão muito elevada	Adicionar mais filtros ou reduzir a vazão por filtro.
Filtração deficiente com formação de superfície irregular da camada de areia	Presença de ar nos filtros causando agitações no leito	Instalar ventosas.
	Mudança na qualidade da água (aumento na concentração de impurezas)	Adicionar filtros extras ou reduzir a vazão de filtração.
	Altura da camada filtrante insuficiente (muito fina) Retrolavagem insuficiente	Adicionar mais areia até a altura recomendada. Aumentar o tempo ou a vazão de retrolavagem.
Presença de areia no sistema de irrigação	Vazão de filtração muito alta	Reduzir vazão.
	Granulometria da areia muito fina	Trocar areia por uma granulometria correta.
	Drenos ou crepinas rompidas ou quebradas	Reparar ou trocar as crepinas ou drenos.
Golpe de aríete	Presença de ar nos filtros	Instalar ventosas ou dispositivos para a retirada do ar. Verificar vazamentos na sucção da bomba.
	Tubulação de drenagem ou retrolavagem muito longa causando vácuo	Instalar ventosa de dupla ação na tubulação de retrolavagem.
	Obstrução no corpo da válvula	Retirar obstrução.
Vazamento na válvula de retrolavagem	Componente interno da válvula quebrado ou desgastado	Trocar o componente.
	Anel de vedação da válvula pinçado ou desgastado	Trocar anel e lubrificar eixo.

Tabela 11. Proposta de calendário de atividades para manutenção preventiva de sistemas de filtros de areia

Atividade/Tarefa	Frequência/Periodicidade					
	Início da Safra	Diária	Semanal	Mensal	Bimestral	Trimestral
Verificar altura da camada de areia	Data: Ass.:			Data: Ass.:		
Coletar e checar água de drenagem	Data: Ass.:			Data: Ass.:		
Inspeccionar todas as conexões hidráulicas	Data: Ass.:				Data: Ass.:	
Inspeccionar conexões elétricas e caixa de controle	Data: Ass.:				Data: Ass.:	
Lubrificar válvula de retrolavagem	Data: Ass.:				Data: Ass.:	
Checar diferencial de pressão nos filtros		Data: Ass.:				
Regular vazão de retrolavagem	Data: Ass.:					Data: Ass.:
Monitorar duração do ciclo de retrolavagem	Data: Ass.:				Data: Ass.:	
Avaliar a variação da qualidade de água					Data: Ass.:	
Checar hidrômetro e vazão do sistema	Data: Ass.:		Data: Ass.:			
Inspeccionar todos os componentes internos das válvulas						Data: Ass.:
Inspeccionar gaxetas das conexões para vazamentos	Data: Ass.:		Data: Ass.:			
Limpar filtro de tela a jusante				Data: Ass.:		Data: Ass.:
Tratamento de cloração	Data: Ass.:					Data: Ass.:

Avaliação e diagnóstico

O desempenho de um conjunto de filtros de areia em um sistema de irrigação localizada pode ser avaliado pelas seguintes variáveis ou parâmetros:

- Variação da vazão do sistema de irrigação;
- Aumento da perda de carga ou diferencial de pressão causada pelo equipamento;
- Eficiência de remoção dos filtros;
- Grau de sujidade da areia no interior dos filtros
- Percentagem de entupimento dos emissores;

Monitoramento da vazão e da pressão

A presença de medidores de vazão ou válvulas volumétricas (Figura 29) e de manômetros de pressão (Figura 30) em conjuntos de filtragem permite o monitoramento dessas variáveis (vazão e pressão) pela coleta frequente de suas leituras e avaliar se o sistema está operando corretamente.

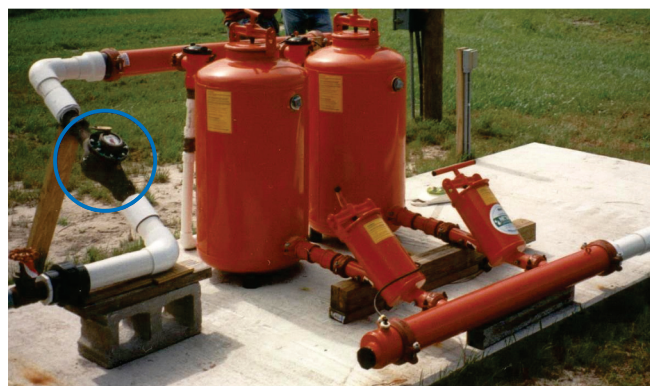


Figura 29. Conjunto com dois filtros de areia, monitorados por uma válvula volumétrica.



Figura 30. Detalhe de um conjunto de quatro filtros com manômetro.

O comportamento irregular da variação de vazão e do diferencial de pressão nos filtros pode mostrar mudanças no desempenho dos filtros e indicar início de problemas. A partir da identificação de algum problema, medidas corretivas podem ser tomadas para reduzir seu impacto, como por exemplo, a injeção de produtos químicos (incluindo tratamentos com cloro), retrolavagem mais frequentes e com maior duração, troca da areia, ou outras ações a serem determinadas pelos responsáveis.

Um filtro com a areia limpa tem um diferencial de pressão na faixa de 10 a 20 kPa (1 a 2 mca), e após uma carreira de filtragem pode adquirir incrementos de valores no intervalo de 30 a 50 kPa (3 a 6 mca), atingindo valores na ordem de 40 a 70 kPa (4 a 7 mca). O incremento no diferencial de pressão resultante do processo de filtração depende da qualidade de água a ser tratada, pois águas consideradas limpas e com baixos valores de sólidos suspensos totais podem não atingir o incremento indicado anteriormente.

Quando a diferença de pressão entre a entrada e a saída dos filtros se torna elevada, ou seja, acima desses valores, pode significar que houve mudanças na qualidade da água do afluente ao longo da safra, resultando em baixa eficiência de remoção e redução no desempenho do sistema de irrigação. Outra situação que pode ser identificada por valores excessivos de perda de carga, principalmente, após a realização da retrolavagem, situação em que o filtro deveria retornar à sua condição inicial de perda de carga (10 a 20 kPa), pode ser o entupimento dos drenos por partículas que passaram pelo leito filtrante. Se o filtro não retornar para o diferencial de pressão inicial, existe a possibilidade de contaminação dos drenos.

Como consequência da elevação do diferencial de pressão, a vazão do sistema diminui devido à mudança na altura manométrica total da bomba. Portanto, o monitoramento da vazão do sistema permite também identificar mudanças internas no processo de filtração.

Eficiência de remoção

Outra forma de monitorar o desempenho de filtros de areia é pela determinação da sua eficiência de remoção, que mostra a capacidade do leito filtrante em retirar os sólidos suspensos presentes na água de irrigação, com determinado tamanho, evitando sua entrada no sistema. A eficiência de remoção, para o caso específico de sólidos suspensos totais, pode ser calculada pela equação 13 (ASABE, 1994):

$$E_r = \left[1 - \frac{SST_2}{SST_1} \right] \cdot 100 \quad (13)$$

Sendo, E_r – eficiência de remoção (%); SST_1 – sólidos suspensos totais no afluente do filtro ($g L^{-1}$); e SST_2 – sólidos suspensos totais na efluente do filtro ($g L^{-1}$).

Para a estimativa da eficiência de remoção é preciso coletar amostras de água antes (afluente) e após o filtro de areia (efluente) no processo de filtração, o que vai permitir a determinação dos sólidos suspensos totais.

O valor encontrado possibilita avaliar se as condições operacionais dos filtros de areia, como areia selecionada e vazão de operação da filtração, estão atingindo os objetivos de tratar adequadamente a água de irrigação.

A determinação dos sólidos suspensos totais das amostras é realizada pela sua filtração em filtros específicos de fibra de vidro recomendados para essa determinação, que são inicialmente secos em estufa a $105^\circ C$, esfriados em dessecador, e pesados. Posteriormente, uma determinada quantidade de água das amostras será passada por esses filtros, que com as impurezas retidas serão secos em estufa a $105^\circ C$ por 2 horas, resfriados em dessecador, e por fim pesados.

A determinação da quantidade de sólidos suspensos totais em cada amostra de água pode ser determinada pela equação 14:

$$SST = \left(\frac{P_2 - P_1}{V_{amostra}} \right) \quad (14)$$

Sendo: SST – sólidos suspensos totais da amostra ($g L^{-1}$); P_2 – massa do filtro mais sólidos (g); P_1 – massa do filtro (g); $V_{amostra}$ – volume de amostra (L).

A determinação da eficiência de remoção pode ser utilizada tanto para avaliar a filtragem, assim como para verificar se os processos de retrolavagem estão sendo eficazes, ou seja, melhorando a eficiência de remoção dos filtros após a realização da lavagem das camadas filtrantes. MESQUITA (2010), avaliando três sistemas de filtragem em propriedades distintas, encontrou valores próximos a 56% para duas propriedades, e 50% para a terceira, antes da realização da retrolavagem. Após sua realização, esses valores aumentaram respectivamente para 57%, 69% e 75%, mostrando os problemas da condução incorreta desse processo no primeiro filtro, devido à baixa eficácia da retrolavagem em aumentar a eficiência de remoção após a limpeza do leito filtrante.

Grau de sujidade da areia

A avaliação da eficácia dos filtros de areia pode também ser realizada pelas determinações da quantidade de sujeira ou partículas que é retida na filtração, e do remanescente no leito filtrante depois da realização da retrolavagem. Se a filtragem suja o leito com as partículas retidas, a retrolavagem deve retirar toda a sujeira, e deixar o leito limpo para iniciar outra filtragem.

O grau de sujidade da camada filtrante caracteriza a presença de agregados no espaço poroso da areia que ocorre devido à retenção acumulativa de partículas no processo de filtração. No início da filtração, o meio filtrante retém partículas cujo acúmulo vai formar a chamada torta de impurezas, que vai aumentando de espessura com o tempo, se aprofundando no leito e passando a ser responsável pela retenção de partículas, e de desprendimento de algumas devido à

modificação das variáveis hidrodinâmicas no poro do meio filtrante (FRANÇA e MASSARANI, 2004; KAU e LAWLER, 1995).

A análise dos resíduos filtrados e acumulados presentes na camada da areia, antes e após a retrolavagem, permite a determinação da porcentagem de resíduo presente no leito filtrante para a vazão e tempo de filtragem e retrolavagem utilizados. De posse das amostras de areia antes e após os processos de filtração e retrolavagem, é possível quantificar as impurezas removidas, e determinar a eficiência de limpeza em cada processo. A estimativa desses valores permite avaliar se os processos estão sendo corretamente operacionalizados.

Um dos métodos para determinação do grau de sujidade da camada filtrante, com base no método denominado de inversão da proveta, é considerado um dos padrões nesse tipo de análise (STADEN e HAARHOFF, 2004). Esse método apresenta as seguintes etapas de execução:

1. Obter uma amostra homogeneizada de aproximadamente 60 mL de meio filtrante, a partir da coleta de quatro amostras (duas perto do centro e duas nas laterais do tanque), para cada profundidade de amostragem;
2. Colocar a amostra em uma proveta de 250 mL;
3. Adicionar à amostra 100 mL de água limpa;
4. Lacrar a boca da proveta e inverter o material por vinte vezes, pausando entre os intervalos para permitir que a areia se acomode no fundo. A figura 31 indica duas etapas do processo da inversão da proveta em execução.
5. Drenar a suspensão resultante em um recipiente limpo, tipo erlenmeyer de 500 mL;



Figura31. Metodo de inversão da proveta em execução.

6. Repetir os itens 3, 4 e 5 quatro vezes até obter 500 mL de suspensão;

7. Agitar para homogeneizar a amostra presente no erlenmeyer e realizar a determinação dos sólidos suspensos totais para cada amostra;

8. Com os valores dos sólidos suspensos, pode-se estimar a respectiva eficiência de limpeza do processo avaliado (filtração ou retrolavagem), pela equação 15:

$$E_L = \left[\frac{SST_A - SST_D}{SST_A} \right] \cdot 100 \quad (15)$$

Sendo, E_L - eficiência de limpeza (%); SST_A - sólidos suspensos totais do leito filtrante antes da execução da retrolavagem ($g L^{-1}$); e SST_D - sólidos suspensos totais depois do processo ($g L^{-1}$).

Como exemplo de avaliação do grau de sujidade, pode se considerar uma amostra de areia retirada antes e após o processo de retrolavagem de determinado modelo de filtro de areia utilizando granulometria denominada fina. Após a realização do processo de extração dos sólidos retidos nas amostras, pelo método de inversão da proveta, os valores de sólidos suspensos totais foram de $616 mg L^{-1}$ e $301 mg L^{-1}$ antes e depois da retrolavagem respectivamente.

Dessa forma, a eficiência de limpeza da retrolavagem pode ser determinada pelo seguinte equacionamento:

$$E_L = \left[\frac{616 - 301}{616} \right] \cdot 100 = 51,14\%$$

O resultado de 51,14% significa que aproximadamente 50% dos contaminantes presentes antes da retrolavagem foram removidos pelo processo de retrolavagem.

Grau de entupimento dos emissores

Os entupimentos físicos na irrigação localizada são causados por partículas que a água leva em suspensão e que obstruem ou fecham os emissores (gotejadores ou microaspersores) ou as próprias tubulações.

Estas partículas podem ser de origem inorgânica (areia, silte, argila e restos de plástico) ou de origem orgânica (algas, pequenos animais aquáticos junto com seus ovos e larvas e bactérias).

O desempenho da filtragem durante uma safra pode ser estimado pela avaliação do grau do entupimento dos emissores ou redução da vazão causada por sólidos suspensos que vão passar pelos filtros de areia durante esse período. Essa avaliação consiste basicamente na determinação, no início e no fim da safra, da vazão de emissores previamente selecionados, a partir de uma amostragem representativa de um dos setores irrigados.

Para estimar a vazão de um emissor em campo é preciso, basicamente, de um recipiente calibrado e um cronômetro. O Grau de Entupimento (GE) pode ser determinado em campo por meio dos seguintes procedimentos:

1. Selecionar um setor de irrigação representativo da área irrigada com condições médias de operação do sistema;
2. Selecionar quatro linhas laterais ao longo da linha de distribuição ou ramal do setor, sendo:
 - Uma lateral próxima à entrada do ramal,
 - Uma próxima do fim do ramal,
 - Duas linhas laterais igualmente espaçadas no meio do ramal;
3. Em cada lateral, selecionar um ponto de medida em quatro posições diferentes de cada linha lateral, sendo:
 - Um no início da linha;
 - Dois pontos a 1/3 e 2/3 da entrada da linha;
 - Um no fim da lateral.

A figura 32 mostra um esquema representativo da seleção dos pontos a serem amostrados nessa avaliação.

4. Medir nas condições normais de operação, as pressões na entrada e na saída de

cada lateral, para ter a certeza das condições de operação dessas linhas;

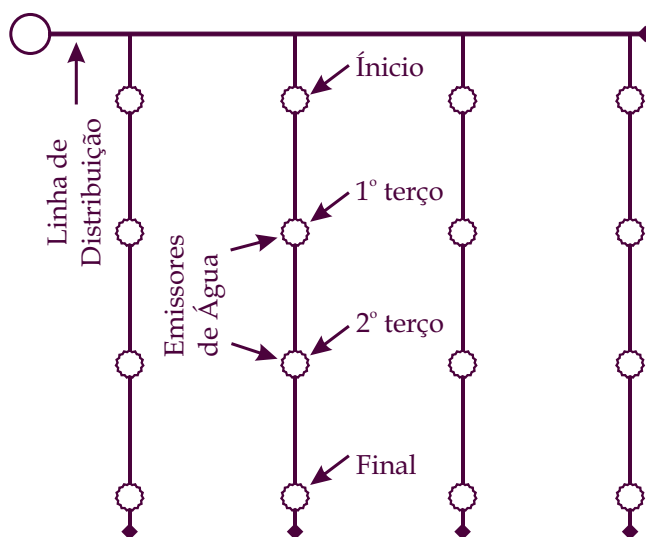


Figura 32. Esquema representativo dos pontos a serem amostrados em um setor irrigado. (Adaptado de SILVA et al., 2002)

5. Medir a vazão de pelo menos três emissores subsequentes nos pontos selecionados, coletando o volume aplicado por cada emissor durante certo tempo (duração de 1 a 3 minutos) de forma a obter um volume mínimo entre 100 e 250 mL para cada emissor.

6. Entrar com os dados coletados em uma planilha e calcular a vazão média em $L h^{-1}$ para cada ponto de medida na linha (média dos três emissores), dividindo o volume coletado pelo tempo de coleta de cada emissor.

7. Calcular o Grau de Entupimento de cada ponto e linha do setor pela equação:

$$GE = \left(1 - \frac{q_f}{q_i}\right) * 100 \quad (16)$$

Sendo, GE - Grau de entupimento da linha (%), q_f - vazão do emissor no final da safra ($L h^{-1}$) e q_i - vazão do emissor no início da safra ($L h^{-1}$).

Como exemplo de estimativa do GE, podem-se considerar os valores apresentados na Tabela 12 para uma linha lateral de gotejamento avaliada antes e após o término de uma safra.

Tabela 12. Exemplo de cálculo do Grau de Entupimento em uma linha lateral

Avaliação	Posição na linha lateral			
	Início	1/3	2/3	Final
Início da safra (L h ⁻¹)	2,4	2,2	2,0	2,0
Final da safra (L h ⁻¹)	2,3	2,1	1,8	1,6
GE (%)	4,2	4,5	10,0	20,0

Pela tabela 12 é possível observar que os dois primeiros gotejadores indicaram GE de 4%, enquanto o terceiro teve 10% e o quarto 20%, mostrando que durante a safra ocorreram problemas de entupimento, principalmente no fim da linha de irrigação. Como critério de avaliação, pode-se assumir que um emissor com grau de entupimento de 25% representa entupimento grave, enquanto emissores com redução de vazão de 50% podem ser considerados entupidos (NIU et al., 2013).

Troca ou substituição da areia

A areia utilizada em filtros na irrigação pode perder sua eficiência com o passar do tempo. A dinâmica dos processos de filtração e retrolavagem provocam a compressão e o atrito dos grãos, que podem determinar alterações nas características físicas do material, como sua quebra ou fragmentação (alteração diâmetro efetivo), ou arredondamento das arestas das partículas, reduzindo sua eficácia na operação do equipamento.

A realização de ações de manutenção vai auxiliar na definição da necessidade da troca da areia original colocada no filtro. Quando as inspeções periódicas mostrarem que houve desgastes no material filtrante, ou que sujeiras persistentes não são retiradas pela

retrolavagem, ou que as retrolavagens estão ocorrendo com maior frequência, é preciso avaliar seriamente a realização da sua troca.

De acordo com BARTH (2013), o agricultor deve garantir que a substituição de areia seja feita por outra da mesma granulometria e isenta de impurezas, respeitando a capacidade de retenção para a taxa de filtração definida para o sistema de irrigação. Areia de menor granulometria deve operar em menores taxas de filtração, requerendo assim maior área de filtração, e exigindo a instalação de mais filtros para a mesma vazão do sistema. A troca por areia de menor granulometria sem aumentar o número de filtros, no momento da manutenção, é um erro muito comum no campo para melhorar a qualidade da água de filtração. Em geral, os fabricantes especificam no projeto a relação vazão/diâmetro do filtro, sem apontar a granulometria do leito filtrante ou o grau de filtração, e fazendo a opção por areia de maior granulometria (mais grossa), que vai exigir menor área de filtração e menor número de filtros, tornando o projeto mais econômico.

Outro erro que se pode cometer na troca de areia no campo é sua reposição com um volume excessivo de areia, enchendo o filtro e deixando a superfície do leito filtrante próxima à placa difusora ou da entrada de água.

Esse fato ocorre porque existe a falsa ideia que a qualidade da água filtrada melhora com o aumento da camada de areia, o que é verdade até determinada altura ou volume de areia. O aumento da espessura da camada de areia além do necessário não melhora a qualidade da água, mas prejudica o processo de limpeza da camada no processo de retrolavagem.

FLOW-GUARD (2013) recomenda que a inspeção da areia em conjuntos novos de filtração seja realizada mensalmente durante o primeiro ano de uso (ou safra), passando posteriormente para duas vezes ao ano (ou safra).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EB 2097: Material Filtrante: Areia, antracito e pedregulho - Especificação. 1990.

AMIAD - Water Systems. Media Filters. Disponível em: <http://www.amiad.com/files/Media_Product%20Page_NP.00950_EN_11-2011%281%29.pdf>. Acesso em 23 de abril de 2013.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20.ed. Washington: American Public Health Association; AWWA; WPCF, 1999. 1569 p.

ASABE - AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANSI/ASAE S539 Media filters for irrigation -Testing and performance reporting. March 1994.

BARTH, C. Manual de Filtros de Areia [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por (bob@feagri.unicamp.br) em 2 dez. 2013.

BERMAD - Válvulas de Controle - Série 350 Válvulas de Retrolavagem de Filtro. Disponível em: <<http://www.bermad.com.br/downloads/>>. Acesso em 05 de março de 2013.

BROUCKAERT, M.B. Hydrodynamic detachment of deposited particles in fluidized bed filter backwashing. 383 pag. Dissertation Degree Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering. Georgia Institute of Technology, Georgia. 2004.

BURT, C. M. Media tanks for filtration. Part I: Tank sizing and media selection. Irrigation Journal, Urbana, p.14-17, July-Aug, 1994a.

BURT, C. M. Media tanks for filtration. Part II: Underdrains, installations and adjustments.

Irrigation Journal, Urbana, p.17-20, Sept-Oct, 1994b.

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: <www.itrc.org/reports/mediafilters.htm>. Acesso em: setembro de 2010.

BURT, C.M.; S.W. STYLES. 2000. Drip and micro irrigation for trees, vines, and row crops. Irrigation Training and Research Center (ITRC), BioResource and Agricultural Engineering Dept., California Polytechnic State University, San Luis Obispo. 292 p.

CÂMARA, J. M. Manutenção elétrica industrial. Depto. Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://www.dee.ufrn.br/downloads.html>>. Acesso em 27 de junho de 2013.

CIVL 1101 - Civil Engineering - University of Memphis - Introduction to filtration. Disponível em: <http://www.ce.memphis.edu/1101/notes/filtration/filtration_introduction.pdf>. Acesso em 06 de maio de 2013.

DEUS, F.P., TESTEZLAF, R., MESQUITA, M. Efeito das dimensões da placa difusora no comportamento hidráulico de um modelo comercial de filtro de areia. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.3, p.560-568, 2013.

DIBERNARDO, L., DANTAS, A. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rima, 2005.

EL REGANTE. Filtros de arena. Disponível em: <<http://www.arena.elregante.com/>>. Acesso em 29 de março de 2013.

FLOW-GUARD FILTRATION. Vertical sand media filters: installation and operation

manual. Disponível em :
<<http://www.fresnovalves.com/pdf/Media%20Book%20English.pdf>>. Acesso em 05 de abril de 2013.

FRANÇA, S. C. A.; MASSARANI, G. Separação sólido-líquido. In: Tratamento de minérios. 4.ed. CETEM, 2004. cap. 14, p. 573-609.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. chap. 3, p. 148-163.

GREENBERG, G. Microscope photograph of sand grains. Disponível em :
<<http://www.sandgrains.com/artist.html>>. Acesso em 16 de julho de 2013.

GUPTA, C. K.; SATHIYAMOORTHY, D. Fluid bed technology in materials processing. New York: Library of Congress, 1999. Cap 1, p. 1-125.

HALL, D.; FITZPATRICK, C.S.B. A mathematical filter backwash model. Water Science and Technology, Amsterdam, v.37, n.12, p.371-9, 1998.

HAMAN, D.Z.; SMAJSTRLA, A.G.; ZAZUETA, F. S. Media filters for trickle irrigation in Florida. Gainesville: University of Florida, 1994. 5 p. (Fact Sheet AE-57)

KAU, S. M.; LAWLER, D. F. Dynamics of depp-bed filtration: velocity, depth, and media. Journal of Environmental Engineering, v. 121, n.12, p. 850-859, 1995.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

LAWRENCE. J.S. Filtration and Particulate Removal. Encyclopedia of Water Science. 2.ed. University of California, 2003. p. 289-293.

MESQUITA, M. Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MESQUITA, M.; TESTEZLAF, R.; RAMIREZ, J. C. S.; BIZARI, D. R. Contribuição da estrutura interna na perda de carga de filtros de areia utilizados na irrigação. Engenharia Agrícola (Online), v. 32, p. 121-130, 2012.

MESQUITA, M.; TESTEZLAF, R.; RAMIREZ, J.C.S. The effect of media bed characteristics and internal auxiliary elements on sand filter head loss. Agricultural Water Management (Print), v. 115, p. 178-185, 2012.

NAKAYAMA. F.S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. Transactions of the ASAE, St Joseph, 1998. v. 24, n.1, p.77-80.

NIU, W.; LIU, L.; CHEN, X. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. Irrigation Science. v. 31, n. 4, p. 545-555, 2013.

ODIS - Irrigation equipment. Gravel sand filters applications: series 4000. Disponível em: <<http://www.odis.com/>>. Acesso em 30 de abril de 2013.

OMAFRA. Ontario Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs. Drip Irrigation for high density orchards. Disponível em :
<<http://www.omafr.gov.on.ca/neworchard/english/apples/15trickle.html>>. Acesso em 20 de março de 2014.

PITTS. D. J.; HAMAN. D. Z.; SMAJSTRLA. A. G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. Institute of Food and Agricultural Sciences, (IFAS). Gainesville: University of Florida, 1990. 13 p.

PIZARRO CABELLO, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 3.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

RAINBIRD. Sand Media Filter Installation Manual. Disponível em: <http://www.rainbird.com/documents/turf/man_sandmediafilter.pdf> Acesso em 04 de abril de 2013.

RAMIREZ, J. C. S. Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia. 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

RAMIREZ, J. C. S.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. Processo da retrolavagem em filtros de areia usados na irrigação localizada. Engenharia Agrícola (Impresso), v. 31, p. 1226-1237, 2011.

SANTOS, M. B.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. Aplicação de túnel de vento na avaliação de linhas fluxo geradas por crepinas de filtros de areia. Engenharia Agrícola (Online), v. 3, p. 548-559, 2013.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A.; LIMA, J. E. F. W. Análise de desempenho da irrigação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 84p.

STADEN, S. J. V.; HAARHOFF, J. A standard test for filter media cleanliness. Water SA, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2004.

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

TORO. Toro Micro-Irrigation Owner's Manual. Disponível em: <[http://www.toro.com/en-us/agriculture/pages/drip-irrigation-](http://www.toro.com/en-us/agriculture/pages/drip-irrigation-education/manuals/drip-irrigation-owners-manual.aspx)

[education/manuals/drip-irrigation-owners-manual.aspx](http://www.toro.com/en-us/agriculture/pages/drip-irrigation-owners-manual.aspx)>. Acesso em 20 de março de 2013.

TORO. Toro Aqua-Clear Fiberglass Sand Filters - Installation & User's Guide. Disponível em <https://media.toro.com/CatalogDocuments/Product%20Literature/Aqua-Clear%20Filter%20Manual_FINAL.pdf>. Acesso em 24 de março de 2014.

UDESC. Joinville. Departamento de Engenharia Civil - Laboratório de Geotecnia e Pavimentação. Disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmes/equipamentos.php>>. Acesso em 05 de maio de 2013.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA. Maintenance of micro irrigation system: sand media filters. Disponível em: <http://micromaintain.ucanr.edu/Solutions/know/Particulate_problems/III-2A/Sand_Media_Filters_136/>. Acesso em 13 de junho de 2013.

VALERIANO, E. E. Optimization of the removal process during filters backwashing. Final Report. Delft. Holland. November, 1995. p. 67-68.

VERMEREIN, L.; JOBLING, G. A. Localized Irrigation. Irrigation and Drainage Paper 36. Rome: FAO, 1984. 203p.

WEBER. JR.W.J. Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos. Ed. Reverte. Versión Español. Barcelona, 1979.

Roberto Testezlaf

Formado em Engenharia Agrícola pela Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 1979, onde também obteve o título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de Água e Solo em 1982. Em 1985, obteve o título de Ph.D. por Oklahoma State University. Participou em 1992 do Advanced International Course on Irrigation and Soil Management, realizado no Institute of Soils and Water, em Israel, e desenvolveu treinamento de Pós-Doutorado na University of Flórida, em 1995 e 1996. É Professor Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp desde 1999, sendo responsável por disciplinas de graduação e de pós-graduação na área de Engenharia de Irrigação.

Fábio Ponciano de Deus

Formou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2009, obtendo, nesta mesma universidade, o título de Mestre em Engenharia Agrícola em 2010, na área de concentração em engenharia de água e solo. Atualmente, é discente de doutorado da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), atuando na linha de pesquisa em Tecnologia de Irrigação.

Marcio Mesquista

Formado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) em 2007. Obteve em 2010, o título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de Água e Solo pela Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), obtendo por essa mesma escola o título de Doutor em Engenharia Agrícola em 2014. Atualmente é Professor Assistente da Universidade Federal de Pelotas no curso de Engenharia Hídrica. Tem experiência na área de Engenharia de Irrigação, Fluidodinâmica Computacional (CFD), Filtros de Areia, Agricultura Irrigada e Ambiente Protegido.

Patrocínio



A associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos foi fundada em 1975, com o objetivo de atuar em favor do fortalecimento da Indústria Nacional, mobilizando o setor, realizando ações junto às instâncias políticas e econômicas, estimulando o comércio e a cooperação internacionais e contribuindo para aprimorar seu desempenho em termos de tecnologia, capacitação de recursos humanos e modernização gerencial.

ABIMAQ representa atualmente cerca de 6.500 empresas dos mais diferentes segmentos fabricantes de bens de capital mecânicos, cujo desempenho tem impacto direto sobre os demais setores produtivos nacionais.



Criada em 1994, a CSEI é uma das 28 Câmaras Setoriais da ABIMAQ que congrega indústrias que detém tecnologia na fabricação de equipamentos destinados à irrigação convencional, localizada e mecanizada. Tem por objetivo divulgar as boas práticas da irrigação e propor ações e ferramentas que permitam o acesso do agricultor às modernas tecnologias de apoio à produção.

A CSEI atua em diversos fóruns para o desenvolvimento de políticas e ações que promovam e fomentem o desenvolvimento da agricultura irrigada.

Empresas associadas à CSEI apoiadoras da obra

