



LUCAS WILLIAN CAMILO

**EFICIÊNCIA DE LIMPEZA DO PROCESSO DE
RETROLAVAGEM DE UM PROTÓTIPO DE FILTRO DE
AREIA**

LAVRAS-MG

2019

LUCAS WILLIAN CAMILO

**EFICIÊNCIA DE LIMPEZA DO PROCESSO DE RETROLAVAGEM DE UM
PROTÓTIPO DE FILTRO DE AREIA**

Monografia apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

LAVRAS – MG

2019

LUCAS WILLIAN CAMILO

**EFICIÊNCIA DE LIMPEZA DO PROCESSO DE RETROLAVAGEM DE UM
PROTÓTIPO DE FILTRO DE AREIA UTILIZADO NA IRRIGAÇÃO**

Monografia apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 14 de Novembro de 2019.

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus – UFLA

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi – UFLA

Rodrigo Cesar de Almeida – UFLA


Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS – MG

2019

Aos meus pais e ao meu irmão por todo incentivo aos estudos, pelo suporte em meio a todas as adversidades, por serem reais influenciadores da pessoa a qual me tornei.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que cada etapa da minha vida fosse superada com êxito, por toda a força que me destes durante esta caminhada.

A Universidade Federal de Lavras por oferecer conhecimentos e oportunidades para que os alunos possam desenvolver habilidades e conhecimentos pessoais e profissionais.

A todos os professores, técnicos e funcionários da universidade, a todas as pessoas no geral que fizeram parte da graduação.

A todos que participaram dos Núcleos de estudos Nepazém e Nemaport onde adquiri tanto conhecimento e tive o prazer de conviver com pessoas que muito me acrescentaram.

A Valentina por todo companheirismo durante a graduação.

Ao meu supervisor e engenheiro agrícola da empresa Lavras Irrigação, Maurício Pinheiro de Pinho Machado e aos demais funcionários, por todo ensinamento e paciência em ensinar.

A empresa Lavras Irrigação por terem sido chave na formação do meu profissional, propiciando uma oportunidade única.

Ao meu professor, orientador de pesquisa e de estágio Fábio Ponciano de Deus por toda disponibilidade, atenção e conhecimento.

MUITO OBRIGADO!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Detalhamento do sistema estrutural e componentes de um filtro de areia.....	15
Figura 2- Detalhamento do funcionamento do processo de filtração em filtro de areia	16
Figura 3- Detalhamento do funcionamento do processo de retrolavagem em filtro de areia...	17
Figura 4- Representação da distribuição granulométrica das areias utilizadas com os parâmetros D_{10} e D_{60}	19
Figura 5- Layout de instalação da bancada experimental.....	21
Figura 6- Detalhamento dos componentes do protótipo de filtro de areia, corpo montado em funcionamento (A), crepina (B) e placa difusora (C).....	22
Figura 7- Peneiras utilizado para determinação do coeficiente de uniformidade da areia utilizada como material filtrante.....	23
Figura 8- Tubo de 75 mm adaptado para coleta de material em profundidade do leito filtrante sem material (A) e com material (B).	27
Figura 9- Proveta com material antes da agitação (A); proveta com material após agitação (B).....	27
Figura 10- Bateria de amostras coletadas com o teste de inversão da proveta.....	28
Figura 11- Curvas granulométricas das amostras de areia avaliadas no experimento (GF e GM).	31
Figura 12- Ajuste de curvas de porcentagem de expansão da camada filtrante função da velocidade superficial	32
Figura 13- Eficiência de limpeza de sólidos no processo de retrolavagem para diferentes granulometrias e níveis de expansão da camada filtrante.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados médios de massa de areia retida (g), e percentuais retidos e que passam nas diferentes peneiras, para as diferentes granulometrias de areia utilizadas (GF e GM).	30
Tabela 2: Parâmetros granulométricos das amostras de areia utilizadas no experimento.....	30
Tabela 3: Valores de turbidez como indicativo de sujidade inicial do leito filtrante para as diferentes combinações experimentais.	33

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volume
A	Área
CU	Coeficiente de uniformidade
D₁₀	Diâmetro efetivo médio
D₆₀	Diâmetro que permite a passagem de 60% do material
E0	Primeira expansão da camada filtrante
E1	Segunda expansão da camada filtrante
E2	Terceira expansão da camada filtrante
E3	Quarta expansão da camada filtrante
E4	Quinta expansão da camada filtrante
E_{LI}	Eficiência de limpeza na camada
GF	Granulometria fina
GM	Granulometria média
Q	Vazão
SR	Sólidos retidos
SS	Sólidos suspensos
T	Tempo
T_{a ret i}	Turbidez retida na camada antes do processo de retrolavagem
T_{d ret i}	Turbidez retida na camada depois do processo de retrolavagem
Tf	Tempo de funcionamento
TF	Taxa de filtração
Vas	Volume de água mais sólidos que passam pelo filtro
Vs	Velocidade superficial

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1.	Sistemas de filtragem	14
2.2.	Filtros de areia	14
2.2.1.	Filtração.....	15
2.2.2.	Retrolavagem	17
2.2.3.	Material filtrante	18
2.2.4.	Avaliação da eficiência de limpeza de filtros de areia.....	19
3.	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1.	Local.....	21
3.2.	Materiais utilizados no experimento.....	21
3.2.1.	Bancada experimental.....	21
3.2.2.	Material de composição da camada filtrante	22
3.2.3.	Altura do leito filtrante avaliado.....	23
3.3.	Metodologia.....	24
3.3.1.	Simulação da sujidade do leito filtrante após o processo de filtração	24
3.3.2.	Processo de retrolavagem	25
3.3.3.	Parâmetros de avaliação	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1.	Características físicas dos meios filtrantes.....	30
4.2.	Avaliação do processo de retrolavagem	31
4.2.1.	Velocidade superficial nos ensaios de retrolavagem	31
4.2.2.	Contaminação dos leitos filtrantes antes dos processos de retrolavagem	33
4.3.	Eficiência de limpeza de sólidos pela análise da turbidez.....	34

5.	CONCLUSÃO.....	36
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMO

No que diz respeito ao uso dos filtros de areia nos sistemas de filtragem para irrigação, a sua utilização requer atenção pois com o seu uso, a contaminação da camada filtrante faz com que seu funcionamento seja afetado levando à redução da eficiência da irrigação. Dessa forma, é necessário que se faça a limpeza do mesmo por meio do processo de retrolavagem. Por ser pouco conhecida por técnicos e produtores muitas vezes a limpeza não é realizada corretamente. Nesse sentido, objetivou-se com presente trabalho avaliar as diferentes variáveis presentes nesse sistema, como: características do material filtrante e diferentes formas de operação. Para a realização do processo de retrolavagem foi utilizado um protótipo de filtro em acrílico, onde foram avaliadas duas granulometrias (fina e média), cinco taxas de expansão do leito filtrante (0; 12,5; 25; 37,5 e 50%), com duração de cinco minutos. Após o término dos ensaios foram coletadas amostras de material em profundidades da camada filtrante onde foi feito a quantificação da turbidez da água advinda do método da inversão da proveta. Os resultados entre as diferentes granulometrias não puderam ser comparados entre si devido ao estado inicial do material da camada ter apresentado valores muito discrepantes no que diz respeito à sujidade inicial, entretanto, de maneira geral, pode-se perceber que o fator expansão do leito filtrante contribui significativamente para a eficiência de limpeza.

Palavras chave: Fluidização de leito filtrante, Qualidade de água para irrigação, entupimento de emissores

1.INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda alimentícia se faz necessário o investimento em novas tecnologias nas áreas de produção. Visando suprir o déficit de água necessitado pela planta, não deixando com que o estresse hídrico prejudique seu potencial produtivo, a irrigação é vista como uma das principais ferramentas no auxílio ao aumento da produtividade dos diversos cultivos.

A irrigação localizada é um dos métodos ao qual se destaca a eficiência de aplicação, e no aumento de produtividade das culturas, fazendo com que esse método seja bem visto pela maioria dos produtores. Entretanto, são sistemas que exigem certa atenção em sua operação, uma vez que os pequenos orifícios de emissão que os compõe exigem qualidade de água superior para que não serem obstruídos, o que leva à diminuição da pressão de serviço, prejudicando assim a uniformidade de aplicação.

Segundo Ravina et al. (1992), a presença de partículas de pequenos diâmetros, agentes físicos, químicos e biológicos presentes na água de irrigação fazem com que o risco de entupimento seja eminente. Nesse sentido, o uso de sistemas de filtragem se faz necessário, principalmente para retirada de partículas suspensas na água, sejam orgânicas, como algas, insetos, gravetos, sementes e folhas, quanto partículas inorgânicas como por exemplo areia, silte e argila (TESTEZLAF ,2008; TESTEZLAF et al., 2014)

Os sistemas de filtragem são em sua maioria compostos por tratamentos e operações que visam a retirada de materiais estranhos da água e podem ser compostos pelos mais diversos equipamentos, como filtros de tela, filtros de disco, filtros de areia, filtros hidrociclones, decantadores dentre outros (TESTEZLAF et al., 2014)

Os filtros de areia são tanques, na maioria das vezes metálicos, preenchidos com areia e seu funcionamento é dividido em duas operações: sendo a filtração e a retrolavagem. O processo de filtração ocorre quando a água se desloca em sentido descendente à camada filtrante, que remove as partículas em suspensão na água. No decorrer da utilização desses filtros é possível observar um incremento na perda de carga do sistema, que ocorre devido ao acúmulo de partículas contaminantes no material filtrante, sendo necessária a limpeza dessa camada (MESQUITA, 2010). Esse processo de limpeza consiste na passagem de água no sentido inverso à operação de filtração de forma a promover a expansão da camada filtrante e assim fazer a retirada das partículas orgânicas e inorgânicas aderidas ao material (de DEUS et al., 2016; RAMIREZ et al., 2010). A incorreta operação desse processo pode acarretar

problemas como, a formação de aglomerados de sujeira dentro do filtro, aumento da frequência com que se faz a limpeza dos filtros e a diminuição da capacidade do meio filtrante em reter os contaminantes. A falta de informações de como proceder a correta limpeza dos filtros faz com que esse sistema se torne muito ineficiente, fazendo com que essas partículas não removidas passem para o sistema de irrigação, vindo a causar mais prejuízos ao produtor (de DEUS, 2015).

A avaliação da remoção do processo de retrolavagem é extremamente importante, haja visto as inúmeras variáveis que podem influenciar na eficiência de limpeza da camada de areia. Em trabalho desenvolvido por de Deus et al. (2016), observou-se que a granulometria da areia e a sujidade inicial desta são variáveis influenciadoras na remoção. Adicionalmente espera-se que o nível de expansão da camada filtrante determine remoções diferenciadas. Nesse sentido, objetivou-se com presente trabalho avaliar a influência de diferentes granulometrias e níveis de expansão do leito filtrante na eficiência de limpeza do processo de retrolavagem de um protótipo de filtro de areia utilizado na irrigação localizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sistemas de filtragem

A qualidade da água utilizada nos sistemas de irrigação localizada é um dos principais fatores que levam a problemas obstrução de tubos e emissores. As principais fontes de água para irrigação são superficiais e subterrâneas, neste contexto, Abbott (1987) diz que as águas fluviais e de reservatórios sem revestimentos, apresentam frequentemente maior concentração de sólidos em suspensão, principalmente das categorias de limos e argilas, enquanto águas de poços artesianos apresentam problemas no que diz respeito à presença de areia.

A grande possibilidade de entupimento dos emissores devido à qualidade da água utilizada é que resulta na necessidade do uso de sistemas de filtragem (BERNARDO, 2002). De acordo com Testezlaf (2017) esses sistemas têm o objetivo de remover partículas sólidas em suspensão na água com o intuito de impedir a obstrução de emissores com diâmetros de saída reduzido. Com a obstrução dos emissores a distribuição de água ao longo das linhas laterais é reduzida, fazendo com que os custos de operação e os problemas com manutenção sejam maximizados.

Segundo Bernardo et al. (2005), os filtros mais utilizados nesses sistemas são: filtros de disco, filtros de tela, filtros de areia. Lopez et al. (1997) diz que filtros de areia tem maior capacidade de filtração, principalmente no que diz respeito à remoção de material orgânico e partículas em suspensão, pois apresentam maior área superficial para filtragem.

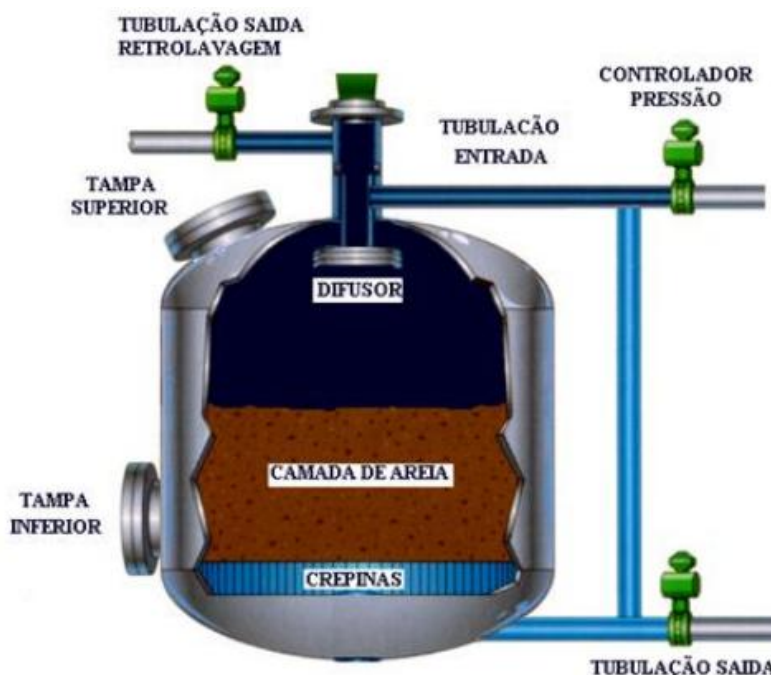
2.2. Filtros de areia

Mesquita (2010) define o filtro de areia como sendo um equipamento para tratamento físico da água, que utilizam uma camada de material granular com intuito de filtrar a água de irrigação para que ocorra a remoção de partículas orgânicas e inorgânicas. Segundo Testezlaf (2014) ao entrar em contato com o meio filtrante, as partículas em suspensão são removidas da água de irrigação.

A Figura 1 apresenta o detalhamento estrutural de um filtro de areia que são: tubulação de entrada e de saída, localizadas nas partes superior e inferior, respectivamente, responsáveis para o enchimento e esvaziamento do filtro; tampas superior e inferior, que permitem a carga e descarga de material filtrante no interior do filtro; difusor, componente com a função de distribuir a água de forma homogênea e lenta para que não ocorra incidência direta do jato

sobre o material filtrante; crepinas fazem a coleta da água filtrada e direcionam para o sistema de irrigação e promove o espalhamento e orientação da mesma no processo de limpeza do filtro.

Figura 1- Detalhamento do sistema estrutural e componentes de um filtro de areia



Fonte: Salcedo (2010).

Mesquita (2010) diz que os elementos estruturais de maior importância no filtro de areia são a placa difusora (difusor) e o sistema de drenagem (crepinas), devido ao fato de que a distribuição uniforme de água dentro do filtro promove uma maior eficiência no processo de limpeza, e a drenagem correta permite que a água saia do filtro sem que ocorra o transporte de impurezas e material filtrante.

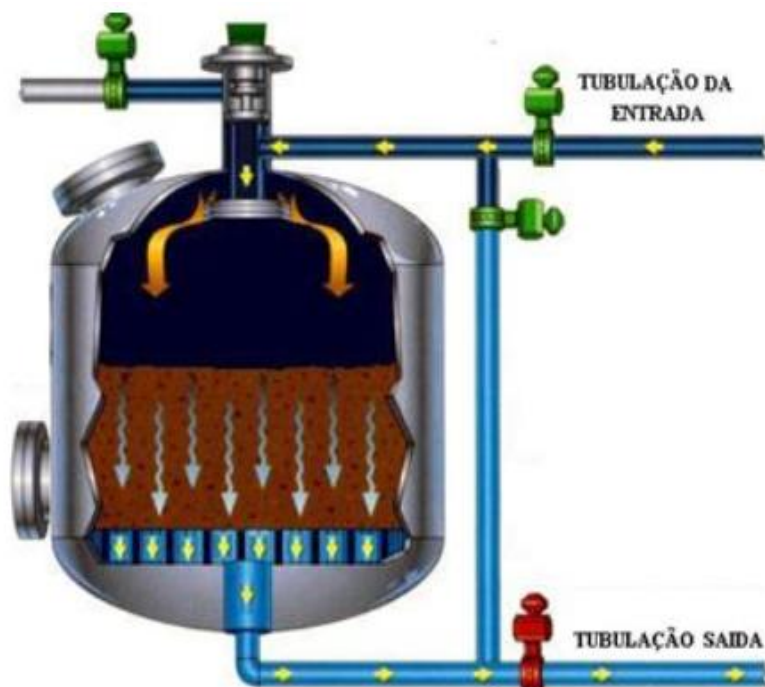
2.2.1. Filtração

São dois os principais princípios de funcionamento em filtros de areia: a filtração e a retrolavagem. Esses dois processos são complementares, uma vez que a água ao ser filtrada deixa partículas no material filtrante e a limpeza desse material faz com que o filtro possa ser utilizado novamente sem a necessidade de trocar a camada filtrante.

Segundo Mesquita (2014) os filtros de areia utilizados na irrigação, em sua maioria, possuem fluxo vertical e descendente, e ao entrar no filtro a água encontra a placa difusora,

que distribui homogeneamente por sobre a camada filtrante e fazendo com que as impurezas fiquem retidas entre ao longo do leito filtrante. A forma de ocorrência do processo dentro de um filtro de areia é mostrado na Figura 2.

Figura 2- Detalhamento do funcionamento do processo de filtração em filtro de areia



Fonte: Salcedo (2010).

De acordo com di Bernardo e Dantas (2005), os mecanismos de remoção da partícula em filtros de areia são complexos, podendo ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo área superficial, profundidade da camada filtrante, características físicas e químicas da água e do meio filtrante. Eles ainda complementam dizendo que o processo de filtração pode ser dividido em três partes, sendo elas: transporte, aderência e desprendimento.

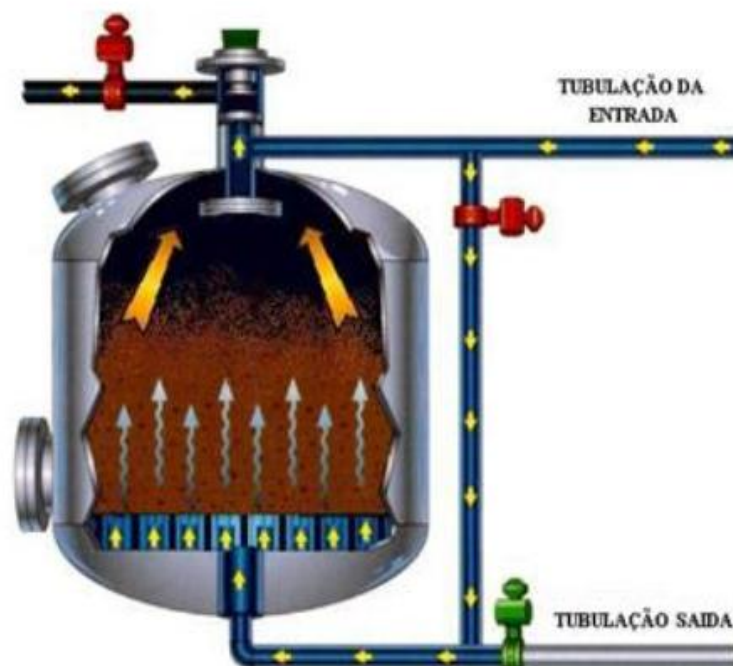
Segundo Choo e Tien (1995) a filtração pode ser considerada como um processo transitório, uma vez que os poros presentes na camada filtrante são os responsáveis tanto pelo transporte da água quanto para retenção de partículas contaminantes. Assim, no decorrer da filtração, o aumento de material depositado na camada filtrante faz com que a porosidade se reduza levando a um aumento na perda de pressão considerável fazendo com que o consumo energético aumente.

2.2.2. Retrolavagem

O uso da filtração e a deposição de partículas contaminantes no material filtrante faz com que as características hidráulicas do meio se alterem, causando aumento na perda de pressão e filtração ineficiente. Nesse sentido, a limpeza do filtro se faz necessária. Silva et al. (2003) recomendam que a limpeza do filtro deve ocorrer quando a perda de pressão está entre 10 e 20% da perda de carga que ocorre com o filtro limpo. Para Keller e Bliesner (1990) o máximo valor de perda de carga a qual pode-se obter em um filtro é de 70 kPa, sendo recomendada a retrolavagem para valores superiores.

A Figura 3 mostra como ocorre o processo de retrolavagem no interior do filtro. De acordo com ASABE (1994) o processo de limpeza, denominado retrolavagem pode ser definida pelo processo de passagem de água através do material filtrante com sentido contrário ao de filtração no intuito de remover o material contaminante do meio. Ramirez (2010) salienta que a retirada das impurezas presente do leito filtrante durante o processo de retrolavagem é feita pela diferença de densidade que existe entre as partículas contaminantes que são menos densas e, por isso, são retiradas do filtro e o material que compõe a camada de filtração, por terem maior densidade, permanecem no interior do equipamento.

Figura 3- Detalhamento do funcionamento do processo de retrolavagem em filtro de areia



Fonte: Salcedo (2011).

O processo de retrolavagem é baseado na expansão da camada filtrante e, segundo Lopez (2009), essa expansão deve ser tal que as partículas de sólidos suspensos possam ser retiradas do interior do filtro. Ainda completa dizendo que para que isso ocorra existe a necessidade de que se estabeleça alguns parâmetros, como: velocidade superficial e diferença de pressão a montante e jusante do filtro. Mesquita (2010) e Testezlaf (2008) afirmam que uma expansão insuficiente leva a uma limpeza seja inadequada, promovendo dessa forma problemas de filtração. Em contrapartida, irá promover perda de material filtrante para fora do filtro, vindo a reduzir a altura da camada, prejudicando assim a eficiência de remoção de impurezas.

2.2.3. Material filtrante

A escolha do material filtrante e altura do mesmo está diretamente ligado à eficiência do processo de remoção de impurezas. De acordo com Weber (1979), a dimensão da camada filtrante deve ser tal que promova uma retenção significativa de sólidos no processo de filtração e que facilite a limpeza do mesmo no processo de retrolavagem.

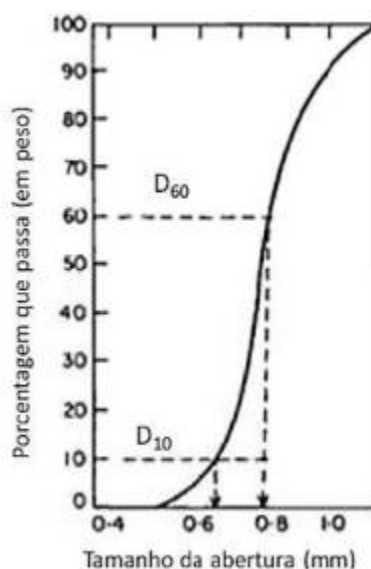
Pizarro Cabello (1996) recomenda a altura da camada de material filtrante esteja entre 0,4 e 0,6 m pois afirma que a qualidade do efluente é diretamente ligado à espessura da camada, porém, adverte que a escolha de valores acima não melhorariam a qualidade, e sim haveria um aumento no tempo de contaminação, fazendo com que sejam realizadas limpezas com maior frequência. Mesquita (2010) sugere que a altura do leito não ultrapasse 75% do corpo do filtro, pois é necessário que exista um espaço vazio para que ocorra a fluidização das camadas durante o processo de limpeza.

Outro fator determinante na eficiência de remoção de sólidos é granulometria do material; Mesquita (2010) diz que partículas grossas fazem com que o processo de filtração seja menos eficiente, uma vez que haverá um maior transpasse de partículas. Por outro lado, Haman et al. (1994) salienta que partículas muito finas, apesar de apresentarem uma maior eficiência de remoção, são responsáveis por um aumento na obstrução dos poros da camada, resultando em uma maior frequência limpezas, além uma maior perda de carga.

Testezlaf (2008) recomenda que a escolha da granulometria do material filtrante se baseie no diâmetro do efetivo médio, que deve ter valor superior ao valor de diâmetro mínimo do gotejador e o dobro do diâmetro do microaspersor.

Atualmente não existe nenhuma norma brasileira que indique o material que deva ser utilizado no filtro, nesse sentido, alguns autores em seus estudos recomendam metodologias para caracterização do material. Haman et al. (1994) definem dois parâmetros para essa seleção: diâmetro efetivo médio das partícula (D_{10}) e o coeficiente de uniformidade (CU). A Figura 4 mostra a representação da distribuição granulométrica com os parâmetros D_{10} e D_{60} .

Figura 4- Representação da distribuição granulométrica das areias utilizadas com os parâmetros D_{10} e D_{60} .



Fonte: de Deus (2014).

O diâmetro efetivo médio das partículas (D_{10}) consiste no diâmetro da malha das peneiras que permitem passar 10% da areia e o coeficiente de uniformidade (CU) é baseado na razão entre as diâmetro da malha da peneira que resulta na passagem de 60% e o diâmetro efetivo médio das partículas (D_{10}). Pizarro Cabello (1996) em seus estudos diz que se o valor de coeficiente de uniformidade estiver entre 1,40 e 1,60 o meio filtrante consegue reter partículas superiores a 1/10 do menor orifício do gotejador, que representa a classe de diâmetro de partículas com maior influência no entupimento de emissores.

2.2.4. Avaliação da eficiência de limpeza de filtros de areia

Para Haman et al. (1994) eficiência de remoção pode ser definida como a habilidade de um meio filtrante em remover partículas. Segundo de Deus (2014) fatores como granulometria da areia, taxa de filtração, altura da camada filtrante e a qualidade da água utilizada são os

principais responsáveis pela eficiência de remoção nos processos de filtração e retrolavagem. Afirma ainda que para o processo de retrolavagem, a expansão do meio e a velocidade superficial são os principais parâmetros influenciadores da eficiência de remoção. Haman et al. (1994) afirmam que maiores valores de eficiência são encontrados com a diminuição da granulometria, da taxa de filtração e o aumento da altura do leito.

Testezlaf et al. (2014) dizem que a avaliação da eficiência dos filtros de areia pode ser feita por meio da quantificação da sujeira presente no leito filtrante, tanto para o processo de filtração quanto para o de retrolavagem. Com as amostras de areia coletadas, antes e após o processo de retrolavagem, é possível quantificar as impurezas removidas e determinar a eficiência de limpeza em cada processo. Para a determinação do grau de contaminação do leito filtrante, Staden e Haarhoof (2004) recomendam a utilização do método da inversão da proveta.

Segundo de Deus (2014) a quantificação do grau de sujidade por meio da avaliação da profundidade do leito filtrante permite avaliar o influência da granulometria do material filtrante na remoção da sujeira e a determinação da quantidade de impurezas aderidas ao meio, o que proporciona determinação da eficiência de limpeza do filtro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

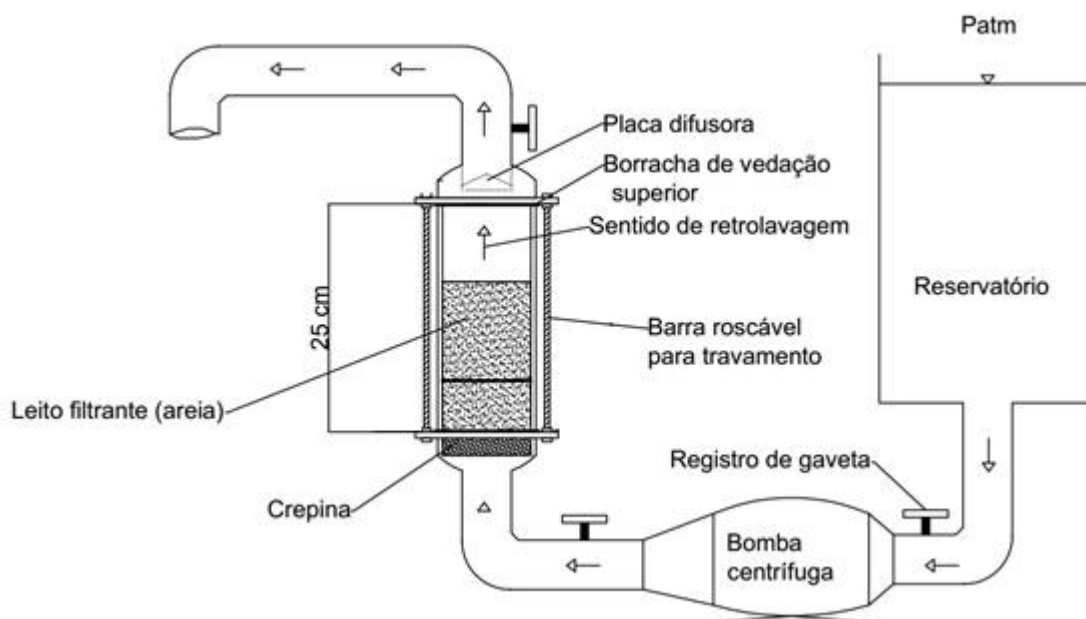
As atividades foram realizadas no laboratório de Irrigação e no laboratório de Hidrologia Ambiental do departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Lavras.

3.2. Materiais utilizados no experimento

3.2.1. Bancada experimental

A bancada experimental foi montada contendo um protótipo de filtro de areia em acrílico, bomba centrífuga monoestágio Schneider modelo BC-91 com potência de 1 cv, registros de gaveta, manômetro de Bourdon com glicerina, tubos e conexões de 50 mm e um reservatório de 250 litros a qual fornecia água proveniente da estação de tratamento da Universidade para que a turbidez presente na água não influenciasse nos resultados (Figura 5).

Figura 5- Layout de instalação da bancada experimental

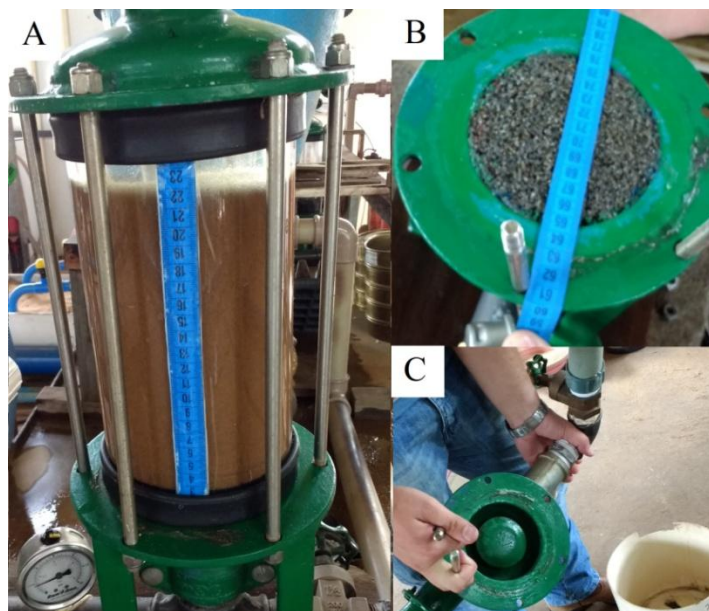


Fonte: Souza, A. H. C et al. (2019).

O protótipo de filtro de areia era constituído de corpo em acrílico e para sustentação e fechamentos superior e inferior foram usadas placas de ferro soldadas. A vedação na interface

tubo e placas foi feita com a utilização de anéis de borracha e o travamento entre as placas e o filtro foi feito com barras rosqueadas e parafusos. Internamente, o protótipo do filtro era composto por um fundo poroso (crepina), que permite que o fluxo seja uniforme durante o processo de retrolavagem e na parte superior uma placa difusora (FIGURA 6).

Figura 6- Detalhamento dos componentes do protótipo de filtro de areia, corpo montado em funcionamento (A), crepina (B) e placa difusora (C).



Fonte: Souza, A. H. C et al. (2019).

3.2.2. Material de composição da camada filtrante

O material filtrante utilizado no experimento foi areia de sílica, fornecido pela empresa Moinhos Gerais, localizado no município de Ribeirão Vermelho - MG. O material foi separado em duas granulometrias distintas, denominadas como fina (GF) e média (GM) que foi caracterizada pela distribuição granulométrica determinada pela ABNT (1990), utilizando as peneiras de malhas de 1,70; 1,18; 1,00; 0,85; 0,60; 0,425 e 0,105 mm (FIGURA 7).

A caracterização granulométrica do material filtrante foi realizada em três repetições, com 100g de uma amostra de 1000g do material que seria utilizado, passando esse conteúdo pelas peneiras montadas em ordem decrescente, e agitando manualmente por aproximadamente um minuto. Após as agitações realizou-se as pesagens do material de cada peneira a fim de determinar o percentual de cada faixa e o percentual acumulado.

Figura 7- Peneiras utilizado para determinação do coeficiente de uniformidade da areia utilizada como material filtrante.



Fonte: Autor (2019).

Com os valores de massa retidos em cada peneira foi possível confeccionar a curva granulométrica para cada material utilizado nos ensaios, permitindo-se estimar o coeficiente de uniformidade, a partir dos valores de diâmetro efetivo de D_{10} e D_{60} .

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \times 100 \quad (1)$$

Onde: CU é coeficiente de uniformidade, D_{60} é o diâmetro em milímetros da abertura da malha da peneira que permite a passagem de 60% do material e D_{10} é o diâmetro em milímetros da abertura da malha da peneira que permite a passagem de 10% do material.

3.2.3. Altura do leito filtrante avaliado

Visto que a aderência das partículas de sujeira contidas na água se dá ao longo da camada filtrante, e que a expansão da mesma durante o processo de retrolavagem deveria ser tal que não houvesse perda de material, definiu-se a altura do leito filtrante como sendo 50% da altura útil do filtro (altura compreendida entre a placa difusora e a crepina). Valor médio entre as recomendações mínima e máxima.

3.3. Metodologia

O experimento foi dividido em duas partes, sendo a primeira referente à preparação do material que compôs a camada do filtro de areia (simulação de sujidade do leito filtrante após o processo de filtração), de modo que estivesse com padrões de sujidade desejados para a avaliação. A segunda parte refere-se ao ensaio de retrolavagem em si.

3.3.1. Simulação da sujidade do leito filtrante após o processo de filtração

A parte do experimento que diz respeito à filtração foi simulada. Dessa forma a sujidade do material filtrante foi realizado por meio de uma metodologia a qual teve o intuito de produzir um leito filtrante com sujidade específica.

Para produzir o leito filtrante com sujidade específica, adotaram-se as seguintes características do processo de filtração: - taxa de filtração de $60 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$, valor recomendado por Pizarro Cabello (1996) e Vermeiren e Jobling (1984); - área transversal do protótipo de filtro de areia de $0,0127 \text{ m}^2$; tempo de funcionamento de 21 horas; e uma água contendo 100 mg L^{-1} para sólidos suspensos totais, valor adotado a partir do apresentado por Nakayama e Bucks (1986), que constataram que uma água utilizada para irrigação que apresente uma quantidade superior a 100 mg L^{-1} para sólidos suspensos totais é classificada como possuidora de risco severo para obstrução de emissores da irrigação localizada.

Nesse sentido foi calculado por meio da Equação 2 a quantidade de água e sólidos que passariam pelo filtro durante a realização do processo de filtração. Entretanto, é necessário conhecer a massa de sólidos que ficaria retido no material filtrante, dessa forma a partir da Equação 3, que leva em consideração as observações de Deus (2014) de que aproximadamente 15% dos sólidos que entram no filtro durante o processo de ficam retidos no meio filtrante, o valor encontrado para a quantidade total de sólidos retidos no meio filtrante após a filtração é de 0,231 kg.

$$\text{Vas} = \text{TF} \times \text{A} \times \text{Tf} \quad (2)$$

Em que: Vas é o volume de água mais sólidos (m^3) que passam pelo filtro, TF a taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$), A representa a área do filtro (m^2) e Tf o tempo de funcionamento.

$$\text{SR} = \frac{\text{SS} \times \text{Vas}}{1000} \quad (3)$$

Onde: SR apresenta a quantidade de sólidos (kg) retidos no material filtrante; SS é a quantidade de sólidos suspensos adotado (g/m^3) e V_s o volume de água e sólidos que passam pelo filtro (m^3).

3.3.2. Processo de retrolavagem

Após determinadas as etapas do processo de produção de um leito filtrante com grau de sujidade conhecido, foi dado início ao processo de retrolavagem. Para cada granulometria e nível de expansão da camada, o processo foi executado com um tempo de duração de cinco minutos. O tempo foi escolhido afim de aproximar dos tempos praticados pelos agricultores.

A escolha das expansões foram baseadas nos estudos de Weber (1979) e Cleasby (1972) que recomendam que as expansões mínimas e máximas devem ser da ordem de 25% e 50% respectivamente. Nesse sentido foram adotadas 5 expansões baseadas da altura da camada filtrante, sendo elas: 0% (E0), 12,5% (E1), 25% (E2), 37,5% (E3) e 50% (E4). Para escolha de duas camadas de expansão abaixo do recomendado partiu-se do pressuposto que em algumas propriedades rurais, os usuários podem não ter controle da camada de fluidização no processo de retrolavagem, e dessa forma existe a possibilidade de não ocorrência ou ocorrência mínima da expansão da camada.

Com a definição das alturas de expansão da camada, primeiramente foi feito a calibração do sistema a fim de se obter a vazão (Q) e a velocidade superficial para cada uma das expansões. A calibração foi realizada pressurizando do sistema e por meio da abertura do registro, cada valor de expansão era medida com uma fita métrica e ao atingir o valor desejado, foram coletadas vazão (Q) pelo método volumétrico, e calculados os valores de velocidade superficial (V_s).

Todos os ensaios e amostras foram realizados em triplicatas, visando obter uma maior representatividade.

3.3.3. Parâmetros de avaliação

a) Velocidade superficial da água (V_s)

A análise da velocidade superficial deu-se através da coleta de um volume de água em um determinado tempo durante o processo de retrolavagem, dividido pela área transversal do filtro. Nesse sentido é possível calcular a vazão para cada uma das expansões do experimento

por meio da Equação 4, em seguida calculou-se a velocidade superficial com uso da Equação 5.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (4)$$

$$V_s = \frac{Q}{A} \times 3,6 \quad (5)$$

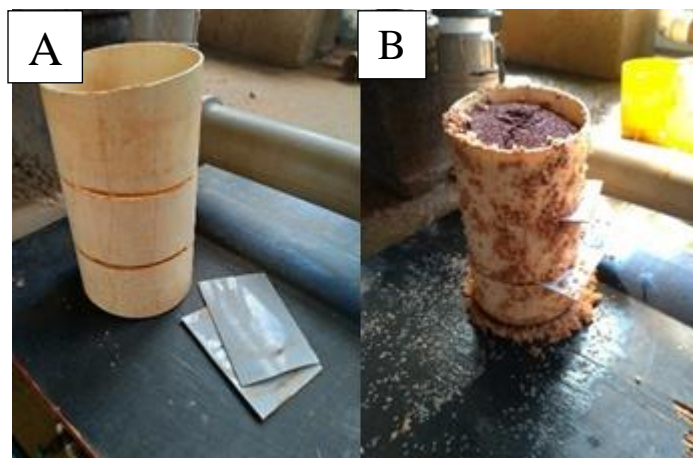
b) Turbidez

As análises de turbidez foram realizadas no laboratório de hidrologia ambiental do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Lavras. Foram analisadas a turbidez da água proveniente do material filtrante antes e depois de fazer a contaminação do material filtrante e também análises em três profundidades do material (superfície, meio e fundo).

Para a determinação da turbidez presente no material utilizado, Staden e Haarhoff (2004) recomendam a utilização do método denominado “inversão da proveta”, que tem como objetivo avaliar a quantidade de material remanescente na camada filtrante por meio da avaliação da água retirada durante a limpeza do mesmo. A execução desse método foi realizado da seguinte maneira:

1. Foi retirado amostra de 60 ml nas alturas desejadas. Para esse experimento utilizou-se 60 g do material, uma vez que a quantificação do material em volume não leva em consideração o nível de compactação da areia. A amostra em profundidade foi feito através da inserção de um tubo de 75 mm adaptado para fazer a separação das camadas no material (FIGURA 8).

Figura 8– Tubo de 75 mm adaptado para coleta de material em profundidade do leito filtrante sem material (A) e com material (B).

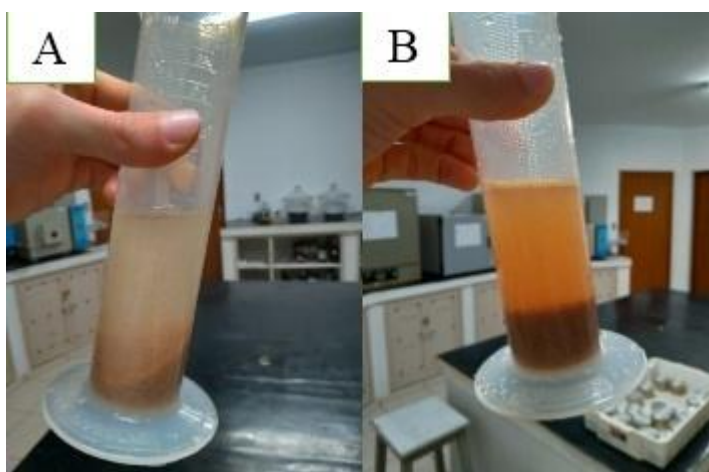


Fonte: Autor (2019).

2. Foi colocado a areia coletada e pesada em uma proveta de 250 ml e adicionado 100 ml de água limpa.

3. Foi realizado a vedação da proveta a qual foi invertida a por 20 vezes, pausando entre intervalos para permitir a deposição da areia no fundo (FIGURA 9).

Figura 9- Proveta com material antes da agitação (A); proveta com material após agitação (B).



Fonte: Autor (2019).

4. Foi drenado o líquido resultante da inversão em um recipiente limpo com volume de 500 ml.

5. Por último foram feitos novamente os passos dos itens 2 a 4 por mais quatro vezes, a fim de obter um volume de 500 ml de água com sólidos (FIGURA 10).

Figura 10- Bateria de amostras coletadas com o teste de inversão da proveta.



Fonte: Autor (2019).

Após realizados esses procedimentos foi feita a homogeneização da amostra, e colocado na cubeta aproximadamente 10 ml para realização da leitura da turbidez. que foi realizada em um turbidímetro Digimed modelo DM TU.

c) **Eficiência de limpeza no processo de retrolavagem**

A principal variável utilizada para avaliar o processo de retrolavagem é a eficiência de limpeza a partir dos valores de turbidez encontrados na água de cada tratamento.

A eficiência de limpeza por camada pode ser estimada a partir equação 6:

$$E_{LI} = \left[1 - \left(\frac{T_{d\ ret\ i}}{T_{a\ ret\ i}} \right) \right] \times 100 \quad (6)$$

Onde: E_{LI} é eficiência de limpeza para determinada profundidade avaliada na camada filtrante (%), $T_{d\ ret\ i}$ a turbidez da água (NTU) nas amostras de areia depois da limpeza da camada, para determinada profundidade no leito filtrante, $T_{a\ ret\ i}$ a turbidez da água (NTU) nas amostras de areia antes da limpeza da camada, para determinada profundidade do leito filtrante.

A análise de eficiência de remoção pode ser analisada por meio dos gráficos obtidos, já as avaliações de sujidade inicial e de simulação de contaminação foram obtidas através da Análise de Variância ($p \leq 0,05$). As análises foram feitas com auxílio do software Sigmaplot 11.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas dos meios filtrantes

Na tabela 1 são apresentadas as análises de granulometria para as duas areias utilizadas no experimento (GF e GM), com as massas, os percentuais retidos e acumulados em cada peneira.

Tabela 1: Dados médios de massa de areia retida (g), e percentuais retidos e que passam nas diferentes peneiras, para as diferentes granulometrias de areia utilizadas (GF e GM).

Malha (mm)	GF			GM		
	Massa retida (g)	% retida	% passa	Massa retida (g)	% retida	% passa
1,700	0,00	0,00	100,00	1,38	1,37	98,63
1,180	0,14	0,14	99,86	24,57	24,49	74,14
1,000	1,07	1,09	98,77	12,44	12,40	61,74
0,850	70,01	71,06	27,71	27,91	27,82	33,91
0,600	20,57	20,88	6,82	28,38	28,29	5,62
0,425	6,57	6,67	0,16	3,27	3,26	2,36
0,105	0,16	0,16	0,00	2,20	2,20	0,16
0	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00

Fonte: Autor (2019).

A tabela 2 contém os valores de diâmetros característicos D_{60} e D_{10} e coeficiente de uniformidade para cada uma das granulometrias utilizadas.

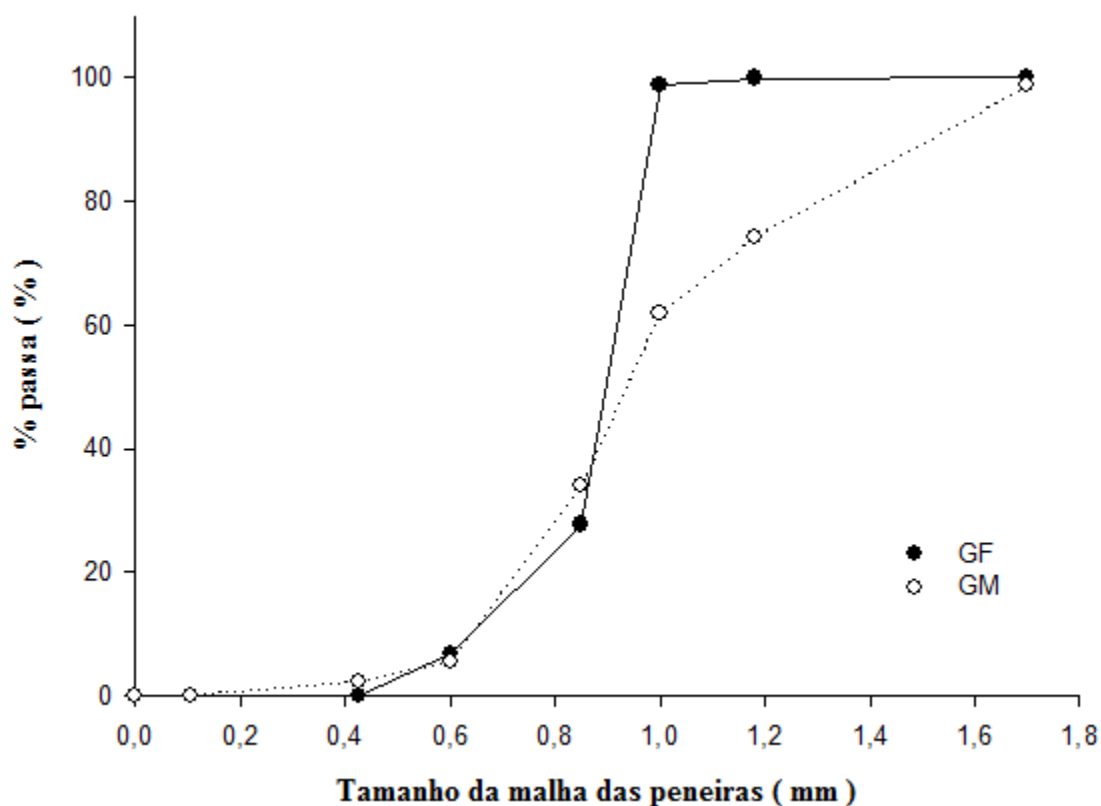
Tabela 2: Parâmetros granulométricos das amostras de areia utilizadas no experimento.

Granulometria	D_{10} (mm)	D_{60} (mm)	CU
GF	0,70	0,93	1,33
GM	0,65	0,99	1,52

Fonte: Autor (2019).

Ao se observar as curvas granulométricas apresentadas na Figura 11 percebe-se que para a GF no intervalo de malha de tamanhos entre 0,8 e 1,0 mm houve inclinação muito baixa para a curva, indicando que a maior parte dos grânulos dessa amostra se encontram nessa faixa, que por sua vez indica uma menor variação no tamanho dos grãos, garantindo uma maior uniformidade. O que não acontece para GM, uma vez que tem sua inclinação maior.

Figura 11- Curvas granulométricas das amostras de areia avaliadas no experimento (GF e GM).



Fonte: Autor (2019).

Os valores de coeficiente de uniformidade obtidos para ambas as granulometrias utilizadas apresentaram-se próximos aos recomendados por Burt (1994) e Ramirez (2010) que asseguram uma menor quantidade de partículas finas no meio, de forma que a maior parte do material filtrante tende a permanecer dentro do filtro durante o processo.

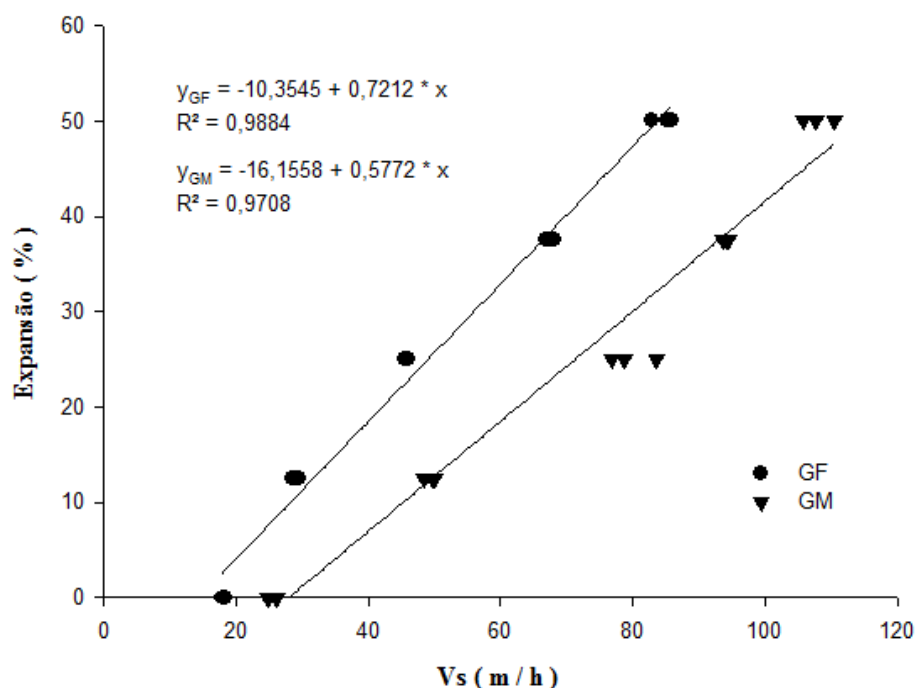
4.2. Avaliação do processo de retrolavagem

4.2.1. Velocidade superficial nos ensaios de retrolavagem

São apresentados na figura 12 as curvas de velocidade superficial obtidas para cada nível de expansão da camada filtrante para as duas granulometrias utilizadas. Percebe-se que o aumento da velocidade superficial (V_s) influencia diretamente no nível de expansão da camada filtrante, de forma diferenciada para cada granulometria de areia. De maneira geral observou-se diferenças significativas ($p \leq 0,05$) da expansão da camada com o aumento da

velocidade superficial. Pode-se notar também que maiores granulometrias demandam maiores valores de V_s para mesmo percentual de expansão.

Figura 12- Ajuste de curvas de porcentagem de expansão da camada filtrante função da velocidade superficial



Fonte: Autor (2019).

Souza, A. H. C et al. (2019) estudando os processos de retrolavagem em protótipo de filtro de areia também apresentou resultados semelhantes para a inclinação da curva de V_s e expansão para diferentes granulometrias. Resultados similares foram encontradas por Ramirez 2010.

Ramirez (2010) com um experimento utilizando de uma altura da camada filtrante de 11 cm para expansão de 25% da altura do leito filtrante encontra uma V_s de 77,4 m h⁻¹, resultado similar ao encontrado nesse trabalho que apresentou valor de 83,6 m h⁻¹ com uma altura de leito filtrante de 12,5 cm. Neste mesmo experimento Ramirez testou diferentes alturas de camada filtrante e constatou que a altura inicial não apresenta grande influência sobre a velocidade superficial em um intervalo de 36 a 108 m h⁻¹. Dando dessa forma suporte ao resultados encontrados no experimento.

4.2.2. Contaminação dos leitos filtrantes antes dos processos de retrolavagem

Os valores de turbidez encontrados para GF e GM antes da simulação do processo de filtração foram de 655,33 NTU ($\pm 19,68$ NTU) e 291,67 NTU ($\pm 89,11$ NTU) respectivamente.

Após o processo de contaminação do leito filtrante os valores encontrados para sujidade inicial foram de 1084,33 NTU ($\pm 203,84$ NTU) para granulometria média e 1206,33 NTU ($\pm 180,13$ NTU) para granulometria fina. De posse da ANOVA admitindo $P < 0,05$ as amostras utilizadas para o experimento não apresentaram diferenças significativas nos valores apresentados na avaliação da turbidez como parâmetros de caracterização da contaminação inicial do leito filtrante como forma de simulação do processo de filtração, podendo dessa forma admitir que todas as amostras apresentavam sujidade inicial iguais. A tabela 3 apresenta os valores de turbidez como indicativo de contaminação inicial do leito filtrante para todas as combinações experimentais.

Os resultados apresentados inviabilizam a possibilidade de comparação de limpeza de no processo de retrolavagem entre as granulometrias de areia, devido à diferença significativa entre os valores de turbidez encontrados para ambas. Nesse sentido a comparação da eficiência de limpeza foi realizada para a mesma granulometria.

Tabela 3: Valores de turbidez como indicativo de sujidade inicial do leito filtrante para as diferentes combinações experimentais.

Repetições	Expansão (%)	Sujidade (NTU)	
		GM	GF
1	0	690	1515
	12,5	1265	1120
	25	1020	1395
	37,5	1095	1530
	50	1285	865
2	0	1260	1095
	12,5	650	1310
	25	975	1280
	37,5	1215	1045
	50	1075	990
3	0	1245	1275
	12,5	1295	1195
	25	885	1245
	37,5	1260	1160
	50	1050	1075

4.3. Eficiência de limpeza de sólidos pela análise da turbidez

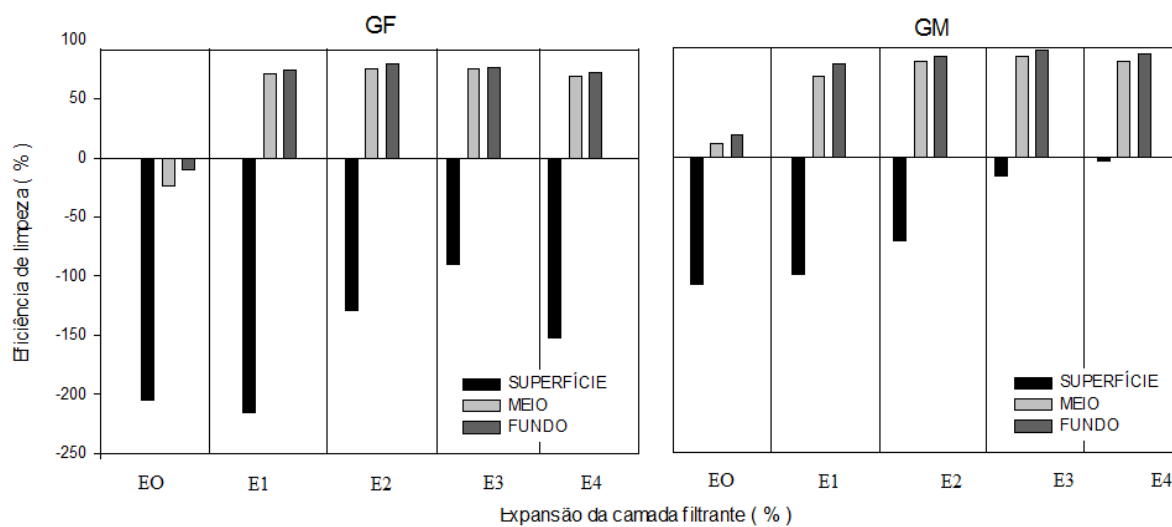
Ao observar a Figura 13 e fazer a análise em profundidade do leito pode-se perceber que a Eli na camada superficial foi considerada negativa, isso significa que a sujeira aumentou após o processo de retrolavagem, esse fato se dá pelo fato de que durante o processo, toda a sujeira presente nas camadas inferiores são transportadas para a camada superior seguindo o sentido ascendente do processo e se o tempo de limpeza não for o suficiente para que essa sujeira saia ela ficará ali acumulada.

Outro fato é observado por de Deus (2014) avaliando os processos de filtração e retrolavagem que em seus resultados encontram maiores eficiências para camadas superficiais uma vez que essas apresentam menor resistência ao fluxo d'água durante o processo de retrolavagem, porém, complementa que isso ocorre pois durante o processo de filtração a maior parte da sujeira é retida também na camada superficial (peneiramento ou coamento), fazendo com que essa seja retirada mais facilmente do filtro durante o processo de retrolavagem.

Nesse sentido o fato de se ter encontrado valores de eficiência de limpeza negativos para camada superficial tem como principal suporte a premissa de que durante a contaminação do leito filtrante produzido, todas as camadas foram consideradas com mesmo grau de contaminação.

Para ambas as granulometrias pode-se notar que os valores de eficiência de limpeza da camada superficial aumentam em maiores velocidades superficiais. Ao observar o comportamento das duas granulometrias, GF apresentou uma maior uniformidade para Eli em diferentes níveis de expansão e com relação a análise em profundidade, enquanto GM apresentou uma maior variação entre esses níveis. Esses resultados também são apresentados por de Deus (2014).

Figura 13- Eficiência de limpeza de sólidos no processo de retrolavagem para diferentes granulometrias e níveis de expansão da camada filtrante.



5. CONCLUSÃO

- Foi constatado que para ambas as granulometrias utilizadas no experimento os melhores valores para eficiência de limpeza foram encontrados para maiores níveis de expansão da camada filtrante.
- No que diz respeito a influência das diferentes granulometrias utilizadas não foi possível chegar a uma conclusão plausível uma vez que ambas não apresentaram valores iniciais de sujidade que viabilizasse a comparação.
- Embora não comparadas quantitativamente entre si, as diferentes granulometrias apresentaram comportamentos diferentes para eficiência de limpeza entre os diferentes níveis de expansão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto que o presente trabalho propiciou alguns questionamentos, para trabalhos futuros pode ser levado em consideração:

- A possibilidade de fazer uma curva de calibração para a relação sólidos suspensos e turbidez uma vez que a avaliação de sólidos suspensos é vista como um processo caro de ser realizado.
- Realizar o processo de confecção do leito contaminado para diferentes taxas de filtração e tempo de funcionamento afim de se avaliar a eficiente de limpeza.
- Utilizar material filtrante com diferentes coeficientes de uniformidade dentro de uma mesma granulometria afim de comparar qual o efeito de maior peso na eficiência de remoção, granulometria ou coeficiente de uniformidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J.S. **La obstruccion de los emisores de goteo. Sus causas y medidas preventivas. Artículos tecnicos.** Revista Riegos y Drenajes. Barcelona, 1987. 23-32p.

AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL - **ASABE ANSI/ASAE S539 Media filters for irrigation** —Testing and performance reporting, march 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS– **ABNT. EB 2097: Material filtrante: Areia, antracito e pedregulho** – Especificação 1990.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 665 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação.** 7 ed Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Ed UFV. 2005. Cap 9, p.483-548.

BROUCKAERT, M.B. **Hydrodynamic detachment of deposited particles in fluidized bed filter backwashing.** 383p. 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*, p. 15 - 17, 1994.

CHAGAS, D.S. **Relação de concentração de sólidos suspensos e turbidez na água medida com sensor de retroespalhamento óptico.** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015. (Tese de mestrado)

CHOO, C.U.; TIEN, C. **Analysis of the transient behavior of deep-bed filtration.** *J. Colloid Interface Sci.*, v.169, p.13–33, 1995.

CLEASBY. J.L. **Filtration. In Physico-chemical processes for Water Quality Control.** New York. Wiley-Interscience. 1972. p 139

De ALMEIDA, O.A. **Entupimento de emissores em irrigação localizada**. Embrapa mandioca e fruticultura tropical, Cruz das Almas, BA, 2009.

DE DEUS F.P. et al. **Eficiência de filtros de areia pressurizados na remoção de diferentes tamanhos de partículas da água de irrigação**.

DE DEUS F.P. et al. **Assessment methodology of backwash in pressurized sand filters**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, n.7,2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7pxx-xx/>>.

DE DEUS F.P. et al. **Eficiência de remoção nos processos de filtração e retrolavagem em filtros de areia pressurizados**. Campinas, SP: 2014. (Dissertação de doutorado)

Di BERNARDO, L.; DANTAS, A.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rima Editora, 2ª edição, 2005, 1565 p.

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

HAARHOFF, J.; VAN STADEN, S. **What simple media tests can tell you about filter problems and rehabilitation**, 08 August 2014.

HAMAN, D.; ZAZUETA, F.S. **Media filters for trickle irrigation in Florida**. Department of Agricultural and Biological Engineering. Gainesville: University of Florida, 1994. 5 p. (Fact Sheet AE-57)

LIMA JUNIOR, J.A.; SILVA, A.L.P. **Diâmetro efetivo e coeficiente de uniformidade de areia utilizada em filtros empregados no sistema de irrigação**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010 Pág. 6.

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

LOPES, R.J.; ABREU, J.M.H.; REGALADO, A.P.; HERNANDEZ, J.F.G. **Riego localizado**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa,. 1997. 405 p

LÓPEZ, L.P. **Simulación numérica de un lecho fluido bidimensional para la determinación de la Velocidad de mínima fluidización**. 2009, 82f. Monografía - Escuela politécnica superior, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2009

MESQUITA, M. **Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação**. Campinas, SP: 2010. (Dissertação de mestrado)

MESQUITA, M. **Desenvolvimento de um filtro de areia para irrigação localizada**. Campinas, SP: 2014. (Tese de doutorado)

MESQUITA, M. **Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada**. Campinas, SP: 2014. (Dissertação de Doutorado)

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigations for crop productions: design, operation and management**. Elsevier Science Publishers.1986, p.383.

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

RAMIREZ, J.C.S. **Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia**. Campinas, SP: 2010. (Dissertação de mestrado)

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. **Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater**. *Irrigation Science*, v. 13, p. 129 - 139,1992.

RIBEIRO et al. **O efeito da qualidade da água no entupimento de emissores e no desempenho de filtros de areia utilizados na irrigação por gotejamento.** Irriga, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 136-149, maio-agosto, 2004.

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

SALCEDO, J.C.R.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. **Processo da retrolavagem em filtros de areia usados na irrigação localizada.** Engenharia Agrícola, v.31, n.6, p.1226-1237, 2011

SILVA, L.G.F.; MANTOVANI, E.C; RAMOS, M.M. **Irrigação Localizada.** In: MIRANDA, J. H. & PIRES. R. C. M.. Irrigação: Serie Engenharia Agrícola. Vol 2. Piracicaba, FUNEP. 2003. Cap. 12. p.259-309

SOUZA A. H. C et al. **Backwash process in a sand filter prototype used in irrigation.** April, 2019 Vol. 21, No. 1 109. Disponível em: <<http://www.cigrjournal.org> >.

TESTEZLAF, R.; de DEUS, F.P.; MESQUITA, M. **Filtros de areia na irrigação localizada.** Campinas (SP): Unicamp, 2014. 66p

TESTEZLAF, R. **Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e pratica.** Eng. Agric., Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, jul./set. 2008.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações.** Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017

VERMEREIN, L.; JOBLING, G.A. **Localized Irrigation. Irrigation and Drainage Paper 36.**Rome,Italy:FAO.1984.203p.

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