

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

JOELTON DE LIMA BARATA



RIO BRANCO - AC

2020

JOELTON DE LIMA BARATA

**FILTRO DE AREIA ALTERNATIVO PARA MICROIRRIGAÇÃO**

Dissertação de Mestrado, apresentada  
como requisito obrigatório para obtenção  
do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Paula de  
Souza

RIO BRANCO – AC

2020

---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

B226f Barata, Joelton de Lima, 1985 -

Filtro de areia alternativo para microirrigação / Joelton de Lima Barata; orientador: Prof. Dr. Leonardo Paula de Souza. Rio Branco, 2020.

42 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Rio Branco, 2020.

Inclui referências e anexo.

1. Irrigação 2. Agricultura familiar 3. Areia branca de campinara I. Souza, Leonardo Paula de (orientador) II. Título

CDD: 630

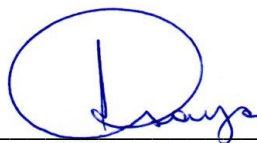
JOELTON DE LIMA BARATA

## FILTRO DE AREIA ALTERNATIVO PARA MICROIRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 13 de agosto de 2020.

### BANCA EXAMINADORA



---

Dr. Leonardo Paula de Souza (Orientador)  
Universidade Federal do Acre



---

Dr. Adjalma Campos de França Neto (Membro)  
Universidade Federal de Rondônia



---

Dr. Jorge Washington de Sousa (Membro)  
Universidade Federal do Acre

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Leonardo Paula de Souza por toda sua atenção e dedicação.

Ao Engenheiro Agrônomo Francisco Romoaldo pela coleta e envio da areia branca de Campinarana.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Acre pela concessão de auxílio financeiro para desenvolvimento da pesquisa, referente à outorga 011/2018 – Programa Primeiros Projetos, edital n. 003/2016 FAPAC/CNPq.

À minha esposa Taynan de Oliveira Sousa Barata, por todo incentivo e compreensão.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pelos conhecimentos repassados durante as disciplinas.

Ao meu colega de trabalho Guaracy Barbosa dos Santos Maia, pela solidariedade e apoio.

Muito obrigado a todos!

## RESUMO

Em sistemas de microirrigação, além do correto dimensionamento hidráulico, a remoção de sólidos em suspensão presentes na água da irrigação é essencial para impedir a obstrução dos emissores e assim, manter a perfeita distribuição da água e de fertilizantes pelo sistema de irrigação. Porém, o valor de aquisição do equipamento torna-se oneroso ao pequeno produtor que em muitos casos, deixa de adquiri-lo para reduzir os custos de implementação do sistema, favorecendo a ocorrência de obstrução dos emissores em curto espaço de tempo. Nesse sentido, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar a qualidade da areia branca de Campinarana como elemento filtrante para filtro em sistemas de microirrigação e construir um filtro alternativo para pequenos sistemas de irrigação por microirrigação. A pesquisa foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consistiu em avaliar as características granulométricas da areia branca de Campinarana da região de Mâncio Lima, Acre e a segunda etapa, foi a construção de um filtro alternativo em material PVC com materiais adquiridos na própria região e por fim, avaliar a remoção dos sólidos em suspensão pelo sistema de filtragem. Foi realizado a análise descritiva dos dados e os resultados da eficiência de remoção dos sólidos em suspensão, presentes na água da irrigação, em função do tempo de funcionamento, analisados graficamente. Diante dos parâmetros analisados, a areia branca de Campinarana com diâmetro médio das partículas de 0,5 ou 1,2 mm podem ser utilizadas como elemento filtrante e o filtro alternativo construído pode ser utilizado em sistemas de microirrigação com vazão de filtragem de até  $8,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

Palavras-chave: Areia branca de Campinara. Irrigação localizada. Agricultura familiar.

## ABSTRACT

In drip irrigation systems, in addition to the correct hydraulic dimensioning, the removal of suspended solids present in the irrigation water is essential to prevent the obstruction of the emitters and thus maintain the perfect distribution of water and fertilizers by the irrigation system. However, the purchase price of the equipment becomes costly to the small producer who, in many cases, fails to purchase it to reduce the costs of implementing the system, favoring the occurrence of obstruction of the emitters in a short time. In this sense, the general objective of the research was to evaluate the quality of the white sand of Campinarana as a filter element for filtering in microirrigation systems and to build an alternative filter for small irrigation systems by microirrigation. The research was divided into two stages. The first stage consisted of evaluating the granulometric characteristics of the White sand of Campinarana in the region of Mâncio Lima, Acre and the second stage was the construction of a handmade filter in PVC material with materials acquired in the region itself and, finally, to evaluate the removal of suspended solids by the filtration system. The descriptive analysis of the data and the results of the removal efficiency of the suspended solids, present in the irrigation water, according to the time of operation, were analyzed graphically. In view of the parameter analyzed, the White sand of Campinarana with an average particle diameter of 0.5 or 1.2 mm can be used as a filter element and the handmade media filter can be used in micro irrigation systems with filtration flow rates up to  $8,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

Keywords: White sand from Campinarana. Drip irrigation. Family farming.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores da qualidade da água que podem causar entupimento dos emissores em sistemas de irrigação.....	15
Tabela 2 - Risco potencial de entupimento pelo uso da água de irrigação.....	16
Tabela 3 - Valores recomendados da taxa de filtração em função da qualidade da água presente na propriedade.....	16
Tabela 4 - Classificação do solo de acordo com o tamanho das partículas.....	20
Tabela 5 - Resultados da análise da areia branca de Campinarana, separada para utilização como elemento filtrante para filtro de areia para irrigação.....	31



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento do sistema de retrolavagem.....	20
Figura 2 - Local de retirada das amostras de areia branca de Campinarana para o experimento, localizada na região de Mâncio Lima, Acre.....	24
Figura 3 - Imagem do filtro alternativo construído com materiais de PVC para avaliar a remoção dos sólidos em suspensão na água da irrigação. Imagem registrada durante os testes em campo.....	24
Figura 4 - Peneiras utilizadas na avaliação granulométrica da areia branca de Campinarana.....	25
Figura 5 - Fluxo da água no filtro alternativo durante os testes de remoção dos sólidos em suspensão (A) e fluxo da água durante a retrolavagem do sistema para remoção dos sólidos (B).....	29
Figura 6 - Curva granulométrica da areia branca de Campinarana da região de Mâncio Lima, Acre.....	31
Figura 7 - Quantidade de areia retida nas malhas das peneiras.....	31
Figura 8 - Curva granulométrica da areia branca de Campinarana selecionada para utilização como elemento filtrante em filtro de areia para sistemas de microirrigação.....	33
Figura 9 - Remoção de sólidos em suspensão da areia branca de Campinarana com diâmetro de 0,6 mm e coluna de 200 mm, com vazão de filtragem de 760 L h <sup>-1</sup> . A linha pontilhada representa o aumento da remoção dos sólidos em suspensão em função do aumento da quantidade de sólidos em suspensão na água da irrigação.....	34
Figura 10 - Remoção de sólidos em suspensão da areia branca de Campinarana com diâmetro de 1,2 mm e coluna de 200 mm, com vazão de filtragem de 760 L h <sup>-1</sup> . A linha pontilhada representa o aumento da remoção dos sólidos em suspensão em função do aumento da quantidade de sólidos em suspensão na água da irrigação.....	34

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
2.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA NO ESTADO DO ACRE .....	12
2.2 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO .....	13
2.3 MICROIRRIGAÇÃO: GOTEJAMENTO E MICROASPERSÃO. ....	13
2.4 DIFICULDADES NA MICROIRRIGAÇÃO.....	15
2.5 QUALIDADE DA ÁGUA NOS RIOS DO ACRE .....	16
2.6 SISTEMAS DE FILTRAÇÃO PARA A MICROIRRIGAÇÃO .....	17
2.7 FILTROS DE AREIA .....	17
<b>2.7.1 Peneiramento</b> .....	18
<b>2.7.2 Adesão</b> .....	18
<b>2.7.3 Sedimentação ou decantação</b> .....	19
2.8 RETROLAVAGEM .....	19
2.9 CARACTERÍSTICA DAS AREIAS.....	20
2.10 FILTROS ARTESANAIS.....	21
2.11 AVALIAÇÃO DOS FILTROS DE AREIA.....	21
<b>2.11.1 Esfericidade</b> .....	21
<b>2.11.2 Coeficiente de uniformidade</b> .....	22
<b>2.11.3 Diâmetro efetivo</b> .....	22
2.12 VAZÃO DO FILTRO .....	22
2.13 TAXA DE FILTRAÇÃO .....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
3.1 GRANULOMETRIA DA AREIA BRANCA DE CAMPINARANA .....	25
3.2 MASSA ESPECÍFICA.....	26
3.3 DIÂMETRO EQUIVALENTE .....	26
3.4 POROSIDADE .....	27
3.5 ESFERICIDADE .....	27
3.6 FUNCIONAMENTO DO FILTRO.....	28
3.7 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO.....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	36
<b>5 RECOMENDAÇÕES</b> .....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37
<b>ANEXO</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos no estado do Acre, têm sido observado o aumento de lavouras irrigadas por microirrigação (gotejamento e microaspersão) pelos produtores rurais em diversas regiões do estado, dentre algumas lavouras irrigadas por gotejamento estão o maracujazeiro, mamão, horticultura e café. Irrigadas por microaspersão, destacam-se o coqueiro e açazeiro cultivado em terra firme.

Nesse sentido, as águas utilizadas para irrigação possuem altas concentrações de sólidos suspensos como também presença de material biológico, fruto da decomposição vegetal florestal, o que de certa forma obriga os irrigantes a filtrar a água em seu sistema de irrigação evitando assim, obstrução prematura dos emissores que causam prejuízos financeiros ao agricultor irrigante.

Portanto, instalar filtros de areia torna-se essencial para retirada dessas impurezas presentes na água bombeada nos sistemas de microirrigação, especialmente em sistema de irrigação por gotejamento. Porém, observa-se em campo que boa parte dos sistemas de microirrigação instalados no estado do Acre não apresentam nenhum tipo de sistema de filtragem, seja por filtro de areia, tela ou disco.

Uma das razões da ausência dos filtros em determinados projetos de irrigação por microirrigação, em especial o filtro de areia, está relacionado ao seu custo de aquisição do equipamento, o que encarece o valor total do sistema de irrigação. A carência de orientação técnica ou até mesmo a idéia de que não é necessário a instalação dos filtros pelo próprio agricultor, fazendo com que em curto espaço de tempo, os emissores sejam parcialmente ou totalmente obstruídos pela presença de sólidos suspensos na água.

A existência de poucas referências bibliográficas sobre o projeto desses filtros e de informações técnicas insuficientes e dispersas sobre a sua operação, de forma apropriada para as condições brasileiras e associadas à assistência técnica limitada, determinam que as funções estabelecidas para o equipamento não sejam plenamente alcançadas, frustrando os agricultores com o baixo desempenho dos sistemas de irrigação (TESTEZLAF, 2008).

Para os pequenos produtores irrigantes, este cenário pode ser alterado, caso haja disponível no mercado, filtros alternativos eficientes e de baixo custo de aquisição, resultado da utilização de matérias primas encontrados na própria região

para construção do filtro de areia.

Nesse sentido, o objetivo geral da pesquisa foi avaliar a qualidade da areia branca de Campinarana como elemento filtrante e construção de um filtro alternativo para pequenos sistemas de irrigação por microirrigação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA NO ESTADO DO ACRE

O estado do Acre é abrangido por duas faixas climáticas segundo Alvares et al. (2013), baseado nos estudos de Köppen-Geiger (1936), define que o Estado do Acre possui dois tipos de climas que são Am e Af, onde o “A” se refere ao grupo climático tropical, caracterizado por possuir temperaturas médias mensais maior que 17°C, com inverno ausente e alta precipitação pluviométrica e a segunda letra indica o tipo de clima, sendo “Am” de monções, com precipitação pluviométrica anual variando de 1700 a 2500mm e com estação seca bem definida com duração de 1 a 3 meses contínuos no ano e com precipitação pluviométrica mensal inferior a 60 mm nesse período, o clima “Af” é caracterizado pela ausência de estação seca com precipitação pluviométrica média mensal superior a 60 mm em todos os meses do ano.

Portanto todo o Estado do Acre possui clima tropical úmido, com uma região que possui período seco concentrado nos meses de Junho a Agosto onde há necessidade de irrigação que abrange desde o município de Tarauacá até o leste do estado (MESQUITA, 1996; DUARTE, 2006; ROLIM et al., 1998). Segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2018), o acumulado desse período pode provocar sérios problemas em cultivos agrícolas anuais e perenes, afetando o desenvolvimento vegetativo e produtivo das lavouras.

Duarte (2006) observou nos últimos anos, que no Estado do Acre há uma tendência na redução das chuvas totais anuais. Essa condição pode acarretar maiores restrições ao cultivo do cafeeiro em anos de seca severa como nos municípios de Brasiléia e Rio Branco, onde nos meses de maio a setembro, há necessidade de reposição hídrica no solo (AMARAL et al, 2018; FERRAZ, 2008).

Devido a essa situação, o uso de sistemas de irrigação tem sido recomendado para o estado, já houve inclusive alguns programas de incentivo como o Programa Nacional de Irrigação (PRONI) em 1987, programas de financiamentos com juros reduzidos e doação de kits de irrigação pelo Governo do Estado, contudo a área irrigada no estado ainda é insipiente (ANA, 2017).

## 2.2 IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO

A agricultura irrigada é a atividade humana que mais consome água doce no planeta, como esse é um recurso finito, cada vez mais cresce a preocupação com o uso racional. A microirrigação (gotejamento e microaspersão) é uma alternativa que vem se destacando, pois permite repor a evapotranspiração do cultivo, apenas na área onde está concentrado o sistema radicular das plantas ao invés irrigar toda a superfície do solo (GHAEMI; CHIENEG, 1999).

A deficiência hídrica no solo pode provocar danos irreversíveis à planta cultivada, afetando o desenvolvimento vegetativo, atrasando a colheita ou reduzindo a produtividade, por esse motivo a irrigação é tão essencial, visto que ela pode suprir com mais eficiência, a demanda evapotranspirométrica da cultura (BERNARDO et al., 2008; ALVES JÚNIOR et al., 2005).

Pesquisas comprovam o alto rendimento de cultivos agrícolas quando irrigados adequadamente, como o cultivo do milho que chega a produzir até 70% a mais, já no café há incrementos tanto na produção quanto na qualidade da bebida (KARASAWA et al., 2002; FARIA et al., 2000).

No estado de Rondônia, que possui mesma classificação climática, o uso de irrigação tem mantido a produção regular de algumas culturas, bem como aumentado a produtividade e a precocidade da lavoura na região, Moline et al. (2015) relatam que foi possível obter plantas de rúculas (*Eruca sativa*) com qualidade comercial no período de estiagem quando irrigadas. Oliveira e Holanda Filho (2009) comparando a rentabilidade dos sistemas de produção de café, concluíram que a lavoura irrigada possui menor custo, o motivo está relacionado ao aumento da produtividade, o que ajuda a diluir os custos de produção.

Outro benefício dos sistemas irrigados é o uso de variedades de alta produtividade, mas que requerem alta demanda hídrica como no caso da cultivar de açaí BRS Pará (*Euterpe oleracea* Mart.) que produz duas colheitas por ano, e também o café clonal (*Coffea canephora*) com produtividade superior a 100 sacas por hectare (NOGUEIRA et al., 2005; TEIXEIRA, 2017).

## 2.3 MICROIRRIGAÇÃO: GOTEJAMENTO E MICROASPERSÃO.

A microirrigação se refere à técnica de aplicação de água a baixas vazões

diretamente na área radicular das plantas em pequenas intensidades e com maior frequência, utilizando emissores que operam em baixa pressão, que podem ser por gotejamento, microaspersão ou o tipo Bubbler, a fim de suprir a demanda de água perdida no sistema solo-planta-atmosfera em função da evapotranspiração (FRIZZONE et al., 2012; BERNARDO et al., 2006).

Os emissores são dispositivos conectados as linhas laterais de irrigação que aplicam água em forma de gotas ( $1$  a  $20 \text{ L h}^{-1}$ ) de forma contínua e podem ser encaixadas na parte externa da linha (on-line) ou no meio (in-line) e as mangueiras podem estar dispostas na superfície do solo ou enterradas, como em locais de clima árido e semi-árido a zona molhada define a forma e o tamanho da área radicular, as culturas de médio e grande porte possuem menor resistência a tombamentos, para evitar isso foi desenvolvido os microaspersores, que pulverizam a água aumentando a área molhada, com vazão que varia de  $20$  a  $300 \text{ L h}^{-1}$  e operando em pressões de  $10$  a  $45 \text{ mca}$  (FRIZZONE et al., 2012).

Os sistemas de microirrigação são compostos pelo cabeçal de controle, local onde fica a estação de bombeamento, equipamento injetor de fertilizantes, sistema de filtragem e manômetros; linhas principais e laterais que podem ser superficiais ou enterradas; emissores e válvulas, podendo haver outros acessórios como os componentes para automatização do sistema (KELLER; BLIESNER, 1990).

O método de microirrigação é versátil e preciso, e pode ser adaptado a diversos tipos de cultivos, climas, topografias e inclusive em solos com restrições como arenosos ou mal drenados, contudo, devido ao alto custo de implementação, o sistema é mais indicado para culturas de alto valor econômico (FRIZZONE et al., 2012).

Esse sistema proporciona menor consumo de água, pois irriga apenas pequenas as poções de solo na área radicular da planta, evitando as perdas por evaporação, percolação e escoamento superficial; podendo ainda realizar a aplicação de adubos químicos solúveis e defensivos com precisão, evitando perdas e reduzindo os custos com mão de obra; como as entrelinhas e a parte aérea da cultura não são molhadas, facilita o controle de ervas daninhas e permite a aplicação de defensivos sem que haja perda de eficiência (FRIZZONE et al., 2012; BERNARDO et al., 2006).

Contudo, como os emissores possuem orifícios de passagem da água pequenos ( $0,3$  a  $1,2 \text{ mm}$ ), é comum a ocorrência de entupimentos, o que afeta a

uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação, gerando a necessidade de constantes manutenções, para evitar isso, é empregado o uso de filtros o que aumenta o custo do sistema (TESTEZLAF et al., 2014; FRIZZONE et al., 2012; BERNARDO et al., 2006).

## 2.4 DIFICULDADES NA MICROIRRIGAÇÃO

Uma das principais dificuldades para se utilizar os sistemas de microirrigação é o custo de implantação, visto que para levar água diretamente a raiz das plantas requer maior quantidade de tubulações, conexões e emissores, tornando-o mais caro em comparação com os sistemas de irrigação por aspersão (KELLER; BLIESNER, 1990).

Outra dificuldade é a sensibilidade dos emissores a obstrução, já que o orifício de passagem é pequeno, principalmente quando se trata dos gotejadores, Bernardo et al. (2006) destacam que esse fator está diretamente relacionado a qualidade da água utilizada na irrigação, relatam ainda que o manancial de má qualidade pode reduzir a produção, aumentar a incidência de doenças tanto aos irrigantes quanto aos consumidores dos produtos. Goyal (2016) classifica os sólidos suspensos na água em químicos, físicos e biológicos (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores da qualidade da água que podem causar entupimento dos emissores em sistemas de irrigação.

<b>Físicos (sólidos suspensos)</b>	<b>Químicos (precipitados)</b>	<b>Biológicos (bactérias e algas)</b>
Partículas inorgânicas (argila, silte e areia fina)	Carbonatos de Calcio	Filamentosas
Plástico	Carbonatos de Magnésio	Lodo
Partículas orgânicas	Sulfato de cálcio	Microrganismos decompositores
Plantas aquáticas	Metais pesados	Ferro
Animais aquáticos	Óxidos e hidróxidos	Enxofre
Bactérias	Carbonatos	Manganês
	Silicatos e sulfitos	
	Óleos ou outros lubrificantes,	
	Fertilizantes	
	Fosfatos	
	Amônia aquosa	
	Ferro, cobre, zinco e manganês	

Fonte: Goyal (2016).



## 2.5 QUALIDADE DA ÁGUA NOS RIOS DO ACRE

Em alguns rios do Acre a concentração de partículas em suspensão pode chegar a  $840 \text{ mg L}^{-1}$ , que além de entupimento provoca também a corrosão por abrasão nos rotores da bomba (CARVALHO et al., 2008; SERRANO, 2018). Por esse motivo, Gilbert e Ford (1986), descreveram os principais riscos de entupimento de um sistema de irrigação (Tabela 2).

Tabela 2 - Risco potencial de entupimento pelo uso da água de irrigação.

NATUREZA DO RISCO		UNIDADE	RISCO DE ENTUPIMENTO		
			BAIXO	MÉDIO	ALTO
Físico	Sólidos em suspensão	ppm	<50	50 - 100	>100
	pH		<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
Químico	Sólidos solúveis	ppm	<500	500 - 2000	>2000
	Manganês	ppm	<0,1	0,1 - 1,5	>1,5
	Ferro	ppm	<0,1	0,1 - 1,5	>1,5
	Ácido sulfídrico	ppm	<0,5	0,5 - 2,0	>2,0
Biológico	População bacteriana	Num. Máx/L	<10000	10000 - 50000	>50000

Fonte: GILBERT & FORD (1986).

A qualidade da água está diretamente ligada à taxa de filtração, pois o valor máximo conforme Tabela 3, só poderá ser usado se a concentração de partículas em suspensão do afluente for menor que  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo que quanto maior a quantidade de sólidos suspensos, menor a taxa de filtração será (TESTEZLAF et al., 2014).

Tabela 3 - 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

Fonte: Testezlaf et al.(2014).

Keller e Bliesner (1990) relatam que em alguns casos a filtragem não é suficiente, necessitando de um pré-tratamento na água como o uso de coagulantes para controlar o excesso de silte, argila ou sólidos em suspensão e o uso de cloro para controlar as algas, e ainda fazer uso de tipos de filtros diferentes como o de areia sucedido por um filtro de tela para reter partículas de areia devido à quebra de grãos.

## 2.6 SISTEMAS DE FILTRAÇÃO PARA A MICROIRRIGAÇÃO

Os tipos de filtros utilizados na microirrigação podem ser de disco, tela ou areia, o sistema de filtração é escolhido de acordo com o tipo de emissor, qualidade da água e pela vazão do sistema, sendo recomendado que o orifício de passagem seja de 1/6 a 1/10 do diâmetro do emissor para garantir o bom funcionamento do sistema (PIZARRO CABELLO, 1996).

Filtros de tela conseguem reter até partículas muito finas de areia, contudo ao filtrar sujidades orgânicas, como algas, entopem com facilidade, os filtros de disco possuem maior eficiência e é de fácil limpeza se comparado ao de tela e possui a mesma limitação que o anterior, em ambos, o entupimento se comporta de forma logarítmica. Os filtros de areia são recomendados para tanto para materiais orgânicos quanto para cargas excessivas de areia fina, e seu entupimento se comporta de forma mais linear (BERNARDO et al., 2005; LOPEZ et al., 2007).

## 2.7 FILTROS DE AREIA

Os filtros de areia são tanques preenchidos de material particulado, que pode ser areia, cascalho ou outros materiais de acordo com a qualidade final da água que se deseja obter, servindo tanto para água potável quanto para irrigação (TEZTESLAF, 2008).

Os filtros de areia geralmente são construídos em chapa metálica para poderem resistir as altas pressões do sistema de irrigação e como ficam expostos a intempéries climáticas e ação de sais diluídos na água devido a fertirrigação, eles possuem pintura epóxi internamente e pintura resistente aos raios ultra violeta (UV) externamente, contudo há trabalhos em que o tanque foi confeccionado com fibra

de vidro ou policloreto de vinila (PVC) (TESTEZLAF et al., 2014;TESTEZLAF, 2008).

De acordo com Pizarro Cabello (1996) a adequada eficiência desses filtros se deve a ação de três fenômenos físicos que são peneiramento, adesão e coesão e decantação.

### **2.7.1 Peneiramento**

O peneiramento é a capacidade de um meio poroso de reter partículas maiores que os poros, no leito filtrante, os espaços vazios entre os grãos de areia é que constituem essa malha de peneiramento que irá reter as sujidades, e a eficiência do processo depende do tamanho, formato e resistência dos grãos de areia (TESTEZLAF et al., 2014; CRAIG, 2013).

### **2.7.2 Adesão**

Quando a água entra contato com a superfície da areia elas passam a ter a mesma carga eletrostática devido a ação de forças intermoleculares esse fenômeno é chamado de adesão, quando esses grãos entram em contato com outras superfícies sob as mesmas condições e com cargas opostas há uma atração eletrostática entre essas partículas denominada de coesão, sendo que a intensidade dessa força tende a aumentar com o grau de achatamento do grão e a diminuir quanto mais arredondado for, devido a redução da superfície de contato. Em areias a força de coesão é considerada baixa, pois essa força é insuficiente para conferir plasticidade ao material e resistência ao cisalhamento (BENARDES, 2013; VARGAS, 1977).

Quando os grânulos de areia são mais arredondados, a superfície de contato é reduzida, o que torna a ligação entre elas mais fracas e aumentando também a quantidade de espaços vazios no leito filtrante, isso reduz a eficiência, pois, permite que sujidades penetrem com mais facilidade pela camada, contudo facilita o processo de retrolavagem e aumenta a velocidade de filtração. Quanto mais achatados forem os grãos maior será a superfície de contato e que reduz a quantidade de espaços vazios entre eles, isso aumenta a eficiência de filtração pois não permite que as sujidades penetrem no leito filtrante, contudo, há um aumento de

perda de carga e entupimento além de tornar a retrolavagem menos eficiente (SALCEDO et al., 2011; TELLES, 2017).

### **2.7.3 Sedimentação ou decantação**

Devido a redução da velocidade de escoamento é gerada à perda de carga pelo leito filtrante, que fazem com que as partículas suspensas de maior densidade sejam depositadas sobre a areia do filtro, contudo, em filtros com menor área de filtração como os alternativos utilizando tubulações, esse fenômeno é reduzido por não haver placa difusora, tornando a filtragem mais turbulenta (TESTEZLAF et al., 2014).

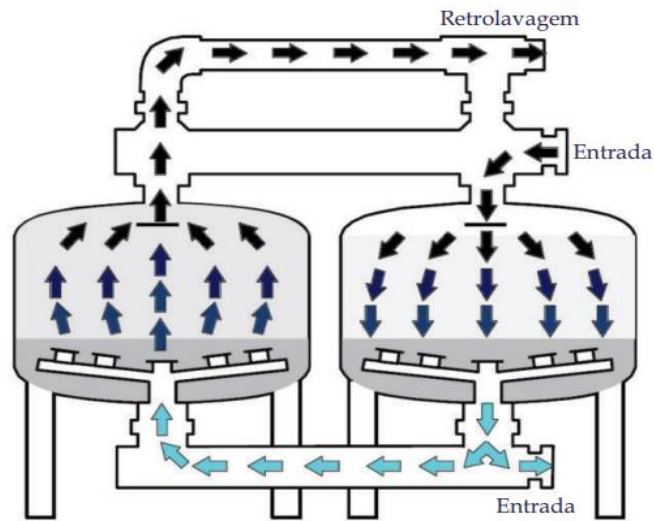
## **2.8 RETROLAVAGEM**

A retrolavagem é o processo de retirada das partículas sólidas retidas do leito filtrante durante a filtração (Figura 1), esse procedimento é realizado invertendo o fluxo da água no equipamento, portanto, para que seja possível essa operação é necessário que haja mais de um filtro em atividade, isso garante a eficiência do processo por mais tempo sem a necessidade da substituição do leito filtrante e sem as interrupções constantes para limpeza do filtro (TESTEZLAF et al., 2014).

Para que a retrolavagem ocorra é necessário que haja a fluidização, que é uma operação unitária, onde através dessa técnica, um leito de partículas sólidas ao receber um fluido no sentido ascendente com uma velocidade que seja capaz de expandi-lo, desta forma a camada filtrante passa a se comportar como um líquido (GUPTA; SATHIYAMOORTHY, 1999).

Lopez (2009) relata que o processo de fluidização possui diferentes fases, as quais são caracterizadas pelos diferentes comportamentos da camada. Esses comportamentos foram identificados em areia por Salcedo (2010), onde observou a existência de quatro regimes de fluidização, que foram chamados de camada fixa, mínima fluidização, fluidização particulada e camada borbulhante. Para Brouckaert (2004), os valores de expansão ideais para maior eficiência de limpeza dos leitos filtrantes variam de 20 a 50%, contudo o valor mais utilizado é de 25% que seria um valor médio.

Figura 1 – Esquema de funcionamento do sistema de retrolavagem.



Fonte: Tezteslaf et al. (2014).

## 2.9 CARACTERÍSTICA DAS AREIAS

De acordo com a ABNT NBR 6502/95, as areias são classificadas de acordo com o tamanho de suas partículas, areia fina (60 a 200 $\mu\text{m}$ ), areia média (200 a 600 $\mu\text{m}$ ) e areia grossa (600 a 2000 $\mu\text{m}$ ). Tamanhos inferiores já se enquadram como silte, argila ou talco e superiores como cascalho, contudo, como as características das areias utilizada em filtros é crucial para manter a boa qualidade da água utilizada na irrigação. Keller e Bliesner (1990) propuseram uma classificação do tamanho da partícula (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação do solo de acordo com o tamanho das partículas.

Classificação do solo	Tamanho da partícula (mm)	Nº da malha de tela (mesh)
Areia muito grossa	1,00 - 2,00	18 - 10
Areia grossa	0,50 - 1,00	35 - 18
Areia média	0,25 - 0,50	60 - 35
Areia fina	0,10 - 0,25	160 - 60
Areia muito fina	0,05 - 0,10	270 - 160
Silte	0,002 - 0,05	400 - 270
Argila	<0,002	—

Fonte: (KELLER; BLIESNER, 1990). Adaptado pelo autor.

## 2.10 FILTROS ARTESANAIS

Existem poucos modelos de filtros de leito poroso artesanais descritos na literatura, geralmente destinados para filtrações lentas para remoção de contaminantes patogênicos como o descrito por Silveira et al. (2018), que conseguiu uma eficiência que variou de 80 a 99% na remoção de turbidez ao combinar dois filtros, um multicamadas combinando areia, brita, tecido e carvão ativo e outro usando apenas britas em diferentes granulometrias.

Já para o uso em irrigação, existem alguns modelos de filtros de tela, como o mostrado no vídeo “sistema automático de irrigação” postado por Dantas (2018), contudo, poucos modelos foram estudados para comprovar a eficiência de remoção.

Miranda et al. (2012), comparando dois modelos de filtros de tela artesanais com um filtro de disco, constatou que não houve diferença significativa entre os três modelos avaliados, mostrando o potencial que esses filtros possuem, aliado ao baixo custo.

## 2.11 AVALIAÇÃO DOS FILTROS DE AREIA

Os filtros de areia podem ser avaliados a partir dos seguintes parâmetros: perda de carga causada pelo filtro, porcentagem de entupimento de emissores e a eficiência de remoção de partículas (NAKAYAMA; BUCKS, 1986; SILVA, 1996). A perda de carga causada pelos filtros de areia é devido ao atrito entre a água e as partículas do meio filtrante, portanto para desenvolver um filtro é necessário estimar esses valores para areia limpa e o limite máximo que essas perdas podem chegar (CHANG et al., 1999).

Segundo Pizarro Cabelo (1996) a perda de carga admissível para um filtro de areia limpo deve ser entre 1 a 2 mca.

### 2.11.1 Esfericidade

A esfericidade é a relação entre a área superficial de uma esfera com volume equivalente do grão analisado. Na escolha de areias deve-se dar preferência para as que possuem arestas angulares e afiadas, pois aumentam a formação de trajetórias

tortuosas no fluxo de água, favorecendo a retenção das partículas suspensas, contudo, grãos arredondados, facilitam o processo de retrolavagem com redução na perda de carga entre 20 e 30% o que facilita a remoção de partículas da camada filtrante (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; PHILLIPS, 1995).

### **2.11.2 Coeficiente de uniformidade**

De acordo com a ABNT NBR 6502/95, o coeficiente de uniformidade é a relação entre o diâmetro de peneira que passa 60% da areia com a que permite a passagem de 10% desse material. O coeficiente de uniformidade avalia o quão uniforme é o material filtrante, onde quanto mais próximo de um for o valor, mais uniforme será a areia

Diversos autores recomendam que os valores do coeficiente de uniformidade não pode passar de 1,6 pois há o risco das partículas de areia se desprender do filtro e causar obstruções nos emissores (HAMAN et al., 1994; PIZARRO CABELO, 1996; LÓPEZ, 2007).

### **2.11.3 Diâmetro efetivo**

O diâmetro efetivo é o diâmetro de peneira por onde passa 10% do material filtrante ( $D_{10}$ ), esse parâmetro indica o tamanho das partículas que serão retidas pelo leito filtrante, pois estimasse que a camada retenha partículas de até 1/10 do diâmetro efetivo. A escolha do diâmetro efetivo deve ser realizada de acordo com a qualidade da água de captação, pois águas com carga de partículas muita altas entopem facilmente os poros do leito filtrante sendo necessário dar preferência por maiores diâmetros de partícula para reduzir o número de retrolavagens, contudo, se este possuir diâmetro efetivo menor, a filtração será mais eficiente, mas aumentará a perda de carga do sistema (KELLER; BLIESNER, 1990; PIZARRO CABELO, 1996).

## **2.12 VAZÃO DO FILTRO**

O valor da vazão que passa pelo leito filtrante depende da qualidade da água, tipo do meio poroso e do tamanho das partículas, contudo, se este valor for muito

alto, a quantidade de partículas não retidas aumentará, pois a vazão do filtro é inversamente proporcional a eficiência de filtração (HAMAN; ZAZUETA, 2017; KELLER; BLIESNER, 1990).

Outro aspecto importante da vazão do sistema é se conseguirá suprir a demanda de água para a cultura, caso a capacidade do filtro seja inferior pode-se aumentar o número de filtros para atingir a vazão necessária, não podendo exceder a capacidade do filtro, pois ocorre a movimentação da camada filtrante e a criação de canais preferenciais ou áreas de menor espessura de areia que permite a passagem de impurezas. para o sistema de irrigação o que reduz a eficiência do equipamento (DEUS; MESQUITA, 2013).

A altura da coluna de areia no interior do filtro é um fator importante que deve ser levado em consideração. Em uma investigação *in loco* realizada no município de Campinas/SP, mostrou que um dos principais problemas relacionados ao entupimento de emissores foi devido ao excesso de areia utilizada, tanto por aumentar a perda de carga, quanto por tornar ineficiente a retrolavagem, possibilitando a agregação do leito filtrante, resultando em compactação com fissuras, o que permite a passagem de partículas maiores (DEUS; MESQUITA, 2013).

### 2.13 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  $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$  (ABNT, 1992).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS



A pesquisa foi realizada no Laboratório de Mecanização da Universidade Federal do Acre em Rio Branco, durante o primeiro semestre do ano de 2020, dividida em duas etapas. A primeira etapa consistiu em avaliar as características granulométricas da areia branca de Campinarana - ABC (Figura 2). A segunda etapa da pesquisa foi a construção de um filtro alternativo em material PVC (Figura 3) que possibilitasse avaliar a retenção de sólidos em suspensão pela ABC.

Figura 2. Local de retirada das amostras de areia branca de Campinarana para o experimento, localizada na região de Mâncio Lima, Acre.



Fonte: Francisco Romoaldo da Silva

Figura 3. Imagem do filtro alternativo construído com materiais de PVC para avaliar a remoção dos sólidos em suspensão na água da irrigação. Imagem registrada durante os testes em campo.



Fonte: Joelton de Lima Barata

Foram coletadas duas amostras da ABC na região de Mâncio Lima, Acre, apresentada na Figura 2, a massa de cada amostra foi de aproximadamente 50 Kg, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Mecanização da Ufac para os

procedimentos necessários, peneiramento e caracterização física do material.

### 3.1 GRANULOMETRIA DA AREIA BRANCA DE CAMPINARANA

Para caracterização granulométrica da ABC, adotou-se o método descrito pela ABNT NBR 11799 (2016). A areia foi seca a 105°C em estufa por 3 horas, após esse tempo de secagem, coletou-se 100g para peneiramento por agitação. As peneiras utilizadas foram com as seguintes aberturas: 2,36 mm; 2,00 mm; 1,70 mm; 1,40 mm; 1,18 mm; 1,00 mm; 0,85 mm; 0,71 mm; 0,60 mm; 0,50 mm e 0,42 mm (Figura 4).

Figura 4. Peneiras utilizadas na avaliação granulométrica da areia branca de Campinarana.



Fonte: Joelton de Lima Barata

O peneiramento foi repetido por três vezes, para cada granulometria, obtendo-se assim o valor médio. As massas retidas foram determinadas e convertidas em valores de porcentagem e assim foi realizado o ajuste da curva granulométrica para estimativa do diâmetro efetivo dos grãos que permite a passagem de 10% e 60% do material,  $D_{10}$  e  $D_{60}$ , respectivamente para calcular o coeficiente de uniformidade conforme a equação 1 (ABNT NBR 6502,1995).

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

em que:

CU = coeficiente de uniformidade,

$D_{60}$  = diâmetro de peneira que permite a passagem de 60% do material,

$D_{10}$  = diâmetro de peneira que permite a passagem de 10% do material.

### 3.2 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica foi quantificada de acordo com a Norma ASTM C128-07a (2007), onde pesou-se 20g da amostra previamente seca e foi adicionada a um balão volumétrico de 50mL com preenchimento de etanol absoluto até cobrir a amostra com auxílio de bureta, a mistura foi homogeneizada de forma a não deixar grânulos acima do menisco da vidraria, o material permaneceu em repouso por 15 minutos, agitando novamente após esse período, e deixando em repouso novamente por 24h, após decorrido o tempo, completa-se o volume para 50mL com álcool anotando o volume total gasto. A massa específica foi calculada pela Equação 2.

$$\rho_s = \frac{m_g}{V_b - V_a} \quad (2)$$

em que:

$\rho_s$  = massa específica ( $\text{g cm}^{-3}$ ),

$m_g$  = massa dos grãos (g),

$V_b$  = volume do balão volumétrico ( $\text{cm}^3$ ),

$V_a$  = volume de álcool utilizado ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.3 DIÂMETRO EQUIVALENTE

Foi utilizado o método de Cleasby e Fan (1981), com as amostras previamente secas, foi medido a massa de 200 grãos para amostras com menos de 1,0 mm e 150 para diâmetros maiores, o diâmetro equivalente foi calculado pela Equação 3.

$$D_{eq} = \left[ \frac{6}{\pi} * \frac{m}{\rho_s} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

em que:

$D_{eq}$  = Diâmetro equivalente (mm),

$m$  = Massa média dos grãos (g),

$\rho_s$  = massa específica do material ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 3.4 POROSIDADE

Segundo o método descrito por Awwa (1999), a porosidade pode ser determinada medindo  $200 \text{ cm}^3$  de areia com massa específica conhecida em uma proveta de 1000 mL, com auxílio de um funil para garantir a mesma altura de queda mantendo a uniformidade, determinando a massa desse volume posteriormente, repetindo o procedimento cinco vezes e utilizando a Equação 4.

$$\varepsilon = \left( \frac{V_t - \frac{m_g}{\rho_s}}{V_t} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que:

$\varepsilon$  = porosidade (%),

$V_t$  = volume total ocupado pelo material ( $\text{cm}^3$ ),

$m_g$  = massa total de grãos (g),

$\rho_s$  = massa específica do material granular ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 3.5 ESFERICIDADE

A esfericidade foi determinada de acordo com o método de Di Bernardo e Dantas (2005), retirando 23 grãos de areias das amostras previamente secas, e colocando-as sobre papel milimetrado, com auxílio de microscópio estereoscópico foi realizada a classificação visual, utilizando a tabela de esfericidade de Rittenhouse conforme o Anexo I.

### 3.6 FUNCIONAMENTO DO FILTRO

O filtro de areia alternativo foi construído de material PVC, suas peças foram adquiridas no comércio regional, o filtro alternativo apresentou bom resultado durante os testes de remoção dos sólidos em suspensão, a maior dificuldade foi construir o sistema de drenagem do filtro, para isso utilizou chapa galvanizada com diâmetro de 72 mm, perfurada com diâmetro médio de 0,2 mm, instalada na base do filtro e na sequência, depositada a coluna de areia. Considerando a velocidade média da água na tubulação de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$  e diâmetro interno do tubo de PVC de 72 mm e porosidade média da areia branca de Campinarana de 37,5%, é possível filtrar até  $8,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

Para realizar os testes, foi montada uma bancada em campo, onde o filtro de areia alternativo foi conectado a tubulações em sua entrada e saída da água, utilizou-se um conjunto motor bomba de 0,5 CV, altura manométrica total de 28 mca e vazão máxima de  $1800 \text{ L h}^{-1}$ . Na saída da bomba foi instalado um registro e na sequência, um manômetro. Após a instalação, foi calculada a vazão efetiva do sistema após a saída da água pelo filtro, cronometrando o tempo gasto para encher um reservatório de 20 litros (SALCEDO, 2010). Ajustou-se uma vazão constante de  $760 \text{ L h}^{-1}$  para realização dos testes de remoção de sólidos suspensos na água.

### 3.7 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A eficiência de remoção, para o caso específico de sólidos suspensos totais, foi calculada pela equação 5 (ASABE, 1994). O monitoramento do desempenho do filtro de areia alternativo demonstra a capacidade do leito filtrante em retirar os sólidos suspensos presentes na água de irrigação, evitando sua entrada no sistema de irrigação.

$$E_r = \left(1 - \frac{SST_2}{SST_1}\right) * 100 \quad (5)$$

em que:

$E_r$  = eficiência de remoção (%),

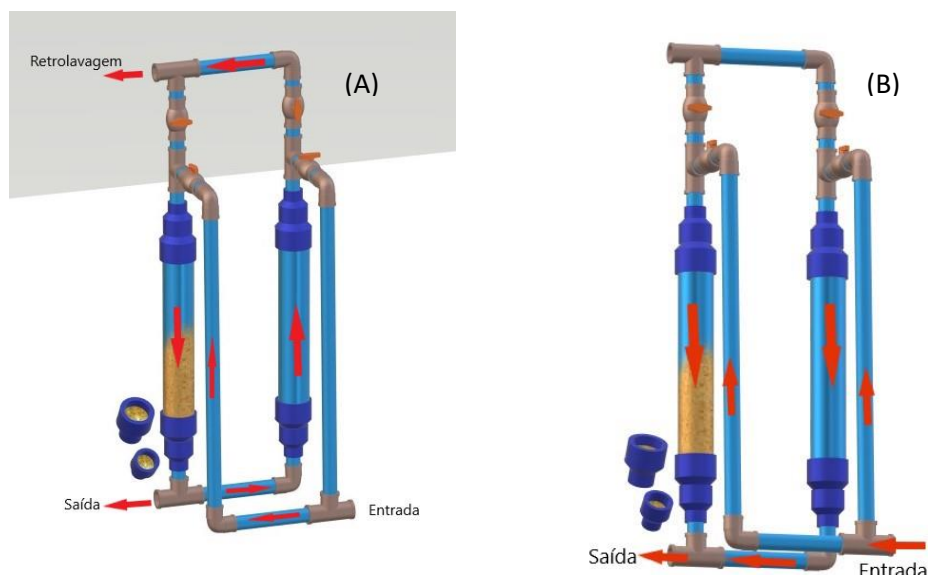
$SST_2$  = sólidos suspensos totais no afluente do filtro ( $\text{g L}^{-1}$ ),

$SST_1$  = sólidos suspensos totais na efluente do filtro (g L<sup>-1</sup>).

Durante o tempo de 60 minutos, a cada 10 minutos na vazão efluente coletava-se em recipiente plástico, 3 amostras de água. Essas amostras foram secas em estufa a 105<sup>0</sup>C conforme metodologia descrita por Baird et al. (2017).

A eficiência de remoção do sistema de filtragem foi realizada em duas granulometrias da ABC, 0,6 mm e 1,2 mm. A coluna de areia adicionada ou filtro foi de 25 cm. Para a areia com diâmetro de 0,6 mm, utilizou-se uma composição de material de suspensão de 2,5; 3,5 e 5,0 g L<sup>-1</sup> e para a areia com diâmetro de 1,2 mm a composição de 2,5; 5,0 e 10,0 g L<sup>-1</sup>. A agitação constante no tanque de água com os sedimentos foi realizada manualmente. Após cada avaliação, foi realizado a retrolavagem com água limpa no sistema de filtragem para retirada do material retido na coluna de ABC, esse processo foi realizado, invertendo o fluxo da água no interior do filtro (Figura 5).

Figura 5. Fluxo da água no filtro alternativo durante os testes de remoção dos sólidos em suspensão (A) e fluxo da água durante a retrolavagem do sistema para remoção dos sólidos (B).



Foi realizado a análise descritiva dos dados e os resultados da eficiência de remoção dos sólidos em suspensão, presentes na água da irrigação, em função do tempo de funcionamento, analisados graficamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O filtro não foi avaliado quanto as pressões de funcionamento, perda de carga com areia em seu interior em diferentes vazões de bombeamento. No entanto, durante os testes, não foi identificado nenhum problema físico e nem tão pouco vazamentos. O mecanismo de retrolavagem funcionou adequadamente, possibilitando remover o material retido pela coluna de areia

O elemento filtrante, ABC, em sua composição, apresentou 28% de pedregulho sendo que desses apenas 3,2% são classificados como médios e o restante é fino, já a fração areia é constituída de 28,6% de areia grossa, 28,4% de areia média e 14,4% de areia fina, os 0,6% que não ficaram retidos nas peneiras são pertencentes a fração silte, conforme é apresentado na Figura 6, sendo classificado como solo de graduação aberta por não possuir a fração argila.

Dentre essas frações foi observado que os diâmetros de 0,42 mm a 4,8 mm podem ser utilizados como elemento filtrante para filtros de areia em sistemas de irrigação, o que dá um aproveitamento de 60% do perfil granulométrico, algumas frações compreendidas nesse intervalo foram quantificadas conforme Figura 7, que mostra que com exceção dos diâmetros 2,4 e 4,8 mm, todas as outras frações possuem baixo coeficiente de variação, o que revela que esse material está distribuído uniformemente.

Esse perfil granulométrico apresentou coeficiente de uniformidade de 7,22, classificado pela ABNT NBR 6502/95 como medianamente uniforme, não sendo adequado para uso em filtros, por isso foi necessário separar a amostra em duas faixas granulométricas, a primeira faixa foi definida como os grãos que passam pela peneira de 1,2 mm e ficam retidos na de 0,6mm, a outra faixa foi dos grãos que passaram na peneira de 2,4 mm e ficaram retidos na peneira de 1,2 mm, sendo nomeadas como “areia 0,6” e “areia 1,2”, as quais foram analisadas conforme consta na Tabela 5.

Com essa separação, as amostras se tornaram uniformes, estando inclusive de acordo com o que preconiza Testezlaf et al. (2014), onde consta que o resultado do coeficiente de uniformidade deve estar entre 1,4 e 1,6 para que o material possa ser usado em filtros, esses valores melhoram a permeabilidade da água, pois reduzem a compactação do leito filtrante.

Figura 6 - Curva granulométrica da areia branca de Campinarana da região de Mâncio Lima, Acre.

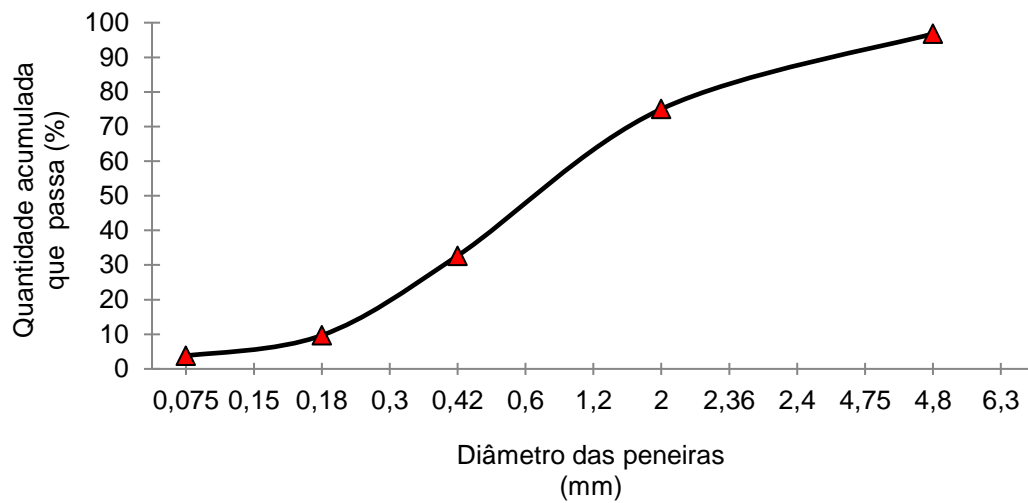


Figura 7 - Quantidade de areia retida nas malhas das peneiras.

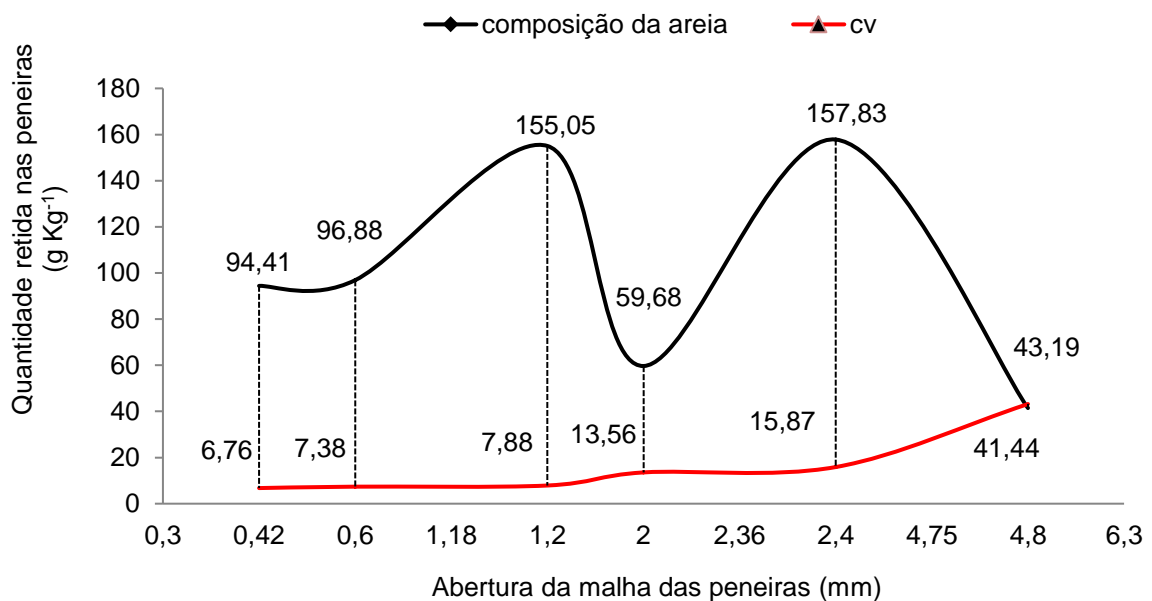


Tabela 5 - Resultados da análise da areia branca de Campinarana, separada para utilização como elemento filtrante para filtro de areia para irrigação.

Parâmetros	Areia 0,6	Areia 1,2
Coefficiente de uniformidade	1,43	1,44
Massa específica (g cm <sup>-3</sup> )	2,60	2,60
Diâmetro equivalente	0,53	0,84
Porosidade (%)	37	38
Esféricidade	0,85	0,85



A massa específica manteve-se a mesma para as duas granulometrias da areia. O fato de os valores terem sido iguais foi devido as amostras possuírem a mesma origem geológica e terem sofrido desgastes semelhantes por estarem depositados em locais próximos, sofrendo assim, processos idênticos de formação e possuindo concentrações idênticas dos minerais formadores (MESQUITA, 2014).

A porosidade média das areias 0,6 e 1,2 foi de 37% e 38% respectivamente, esse valor difere dos resultados obtidos por CHANG et al., (1999), em seus estudos que avaliaram areia entre 0,5 e 1,5 mm, encontraram valores de porosidade entre 40% a 43%. Essa baixa da porosidade é devido as partículas de areia apresentarem pontos de arredondamento, o que permite melhor encaixe entre os grãos reduzindo os espaços vazios (MESQUITA, 2014).

O valor médio da esfericidade das duas granulometrias da ABC foi de 0,85, esse resultado corrobora com o resultado obtido por Mesquita (2014) que obteve uma esfericidade 0,82, segundo o autor, o valor encontrado está em conformidade com os valores encontrados para areia de sílica utilizada na filtragem para irrigação. Diante desse resultado, areias com essa esfericidade são caracterizadas de formato esférico (FAIR et al., 1968; RITTENHOUSE, 1943), segundo Phillips (1995), são areias adequadas para utilização em filtros de irrigação por possuírem arestas, contudo não são afiadas e angulares, apesar de reduzir a eficiência de filtração, essa característica favorece a retrolavagem, pois as partículas de sujeira se desprendem com mais facilidade, aumentando a eficiência da limpeza.

Diante dos parâmetros analisados, a ABC da região de Mâncio Lima, Acre, Amazônia ocidental brasileira, atende aos requisitos necessários que a credencia como elemento filtrante para filtros de areia em sistemas de irrigação.

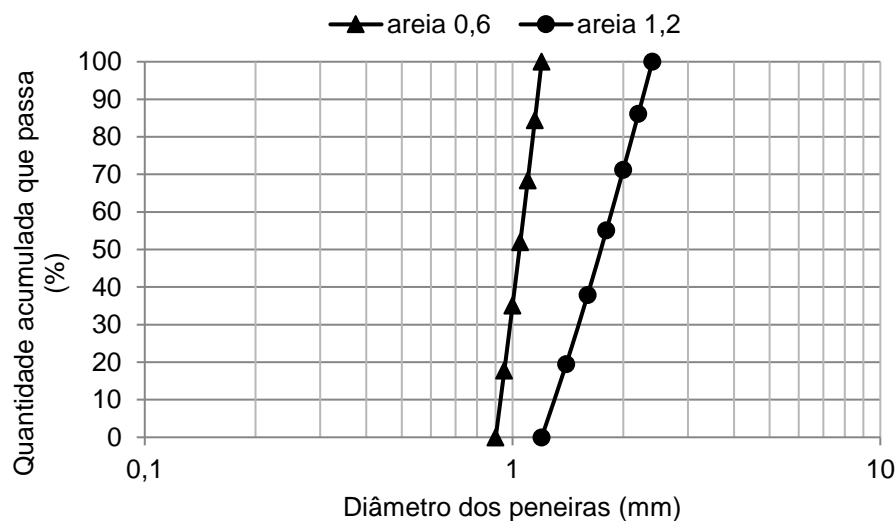
Contudo ao se traçar a curva granulométrica das amostras (Figura 8), constatou-se que não apresentaram a curva em “S” característico em decorrência da redução da variabilidade de tamanho de grãos, porém manteve a posição levemente inclinado atestando novamente a uniformidade das amostras.

Após a caracterização e separação da granulometria da ABC, foram realizados testes de remoção de sólidos em suspensão para a areia com diâmetro de suas partículas de 0,6 mm e 1,2 mm, apresentados nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

Observa-se (Figura 9) que a eficiência de remoção de sólidos em suspensão foi aumentando gradativamente à medida que o afluente se apresentou maior

quantidade de material. Importante destacar que o material que passou pelo filtro não representa risco à obstrução de emissores e tão pouco a microaspersores. Bucks et al., (1979) informam que o teor de sólidos solúveis totais  $< 50 \text{ mg L}^{-1}$  oferece baixo risco ao entupimento de gotejadores. É possível constatar ainda que há um aumento da retenção dos sólidos em suspensão na ordem de 3,21% para cada  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  da carga sólida em suspensão presente na água.

Figura 8 – Curva granulométrica da areia branca de Campinarana selecionada para utilização como elemento filtrante em filtro de areia para sistemas de microirrigação.



Analisando os resultados na Figura 10, observa-se que o percentual de remoção dos sólidos em suspensão foi em média de 56,5% para as dosagens de 2,5 e  $5 \text{ g L}^{-1}$  presentes na água da irrigação. Na medida em que a presença de material em suspensão aumentou para  $10 \text{ g L}^{-1}$ , aumentou também o percentual de material retido no elemento de filtragem. Para esses três testes, após uma hora de funcionamento, não foi observado aumento de pressão pelo manômetro instalado no filtro.

O menor percentual de remoção da areia de 1,2 mm para a de 0,6 mm é atribuído a sua maior porosidade (Tabela 5), permitindo assim uma passagem média dos sólidos em suspensão da ordem de 40% presentes na água bombeada. Mesmo assim, os sólidos não removidos foram identificados como do tipo argila, menor que  $0,002 \text{ mm}$  de diâmetro. Instalando final de linha com válvulas de descarga nas linhas laterais de irrigação e limpeza frequente do sistema, não haverá risco de entupimento dos emissores.

Figura 9. Remoção de sólidos em suspensão da areia branca de Campinarana com diâmetro de 0,6 mm e coluna de 200 mm, com vazão de filtragem de 760 L h<sup>-1</sup>. A linha pontilhada representa o aumento da remoção dos sólidos em suspensão em função do aumento da quantidade de sólidos em suspensão na água da irrigação.

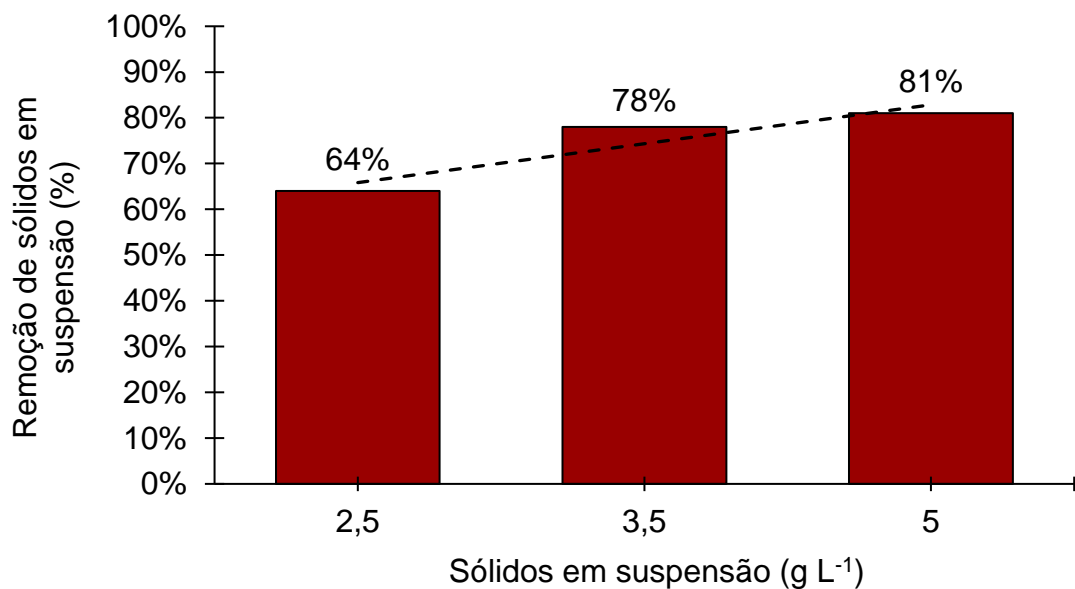
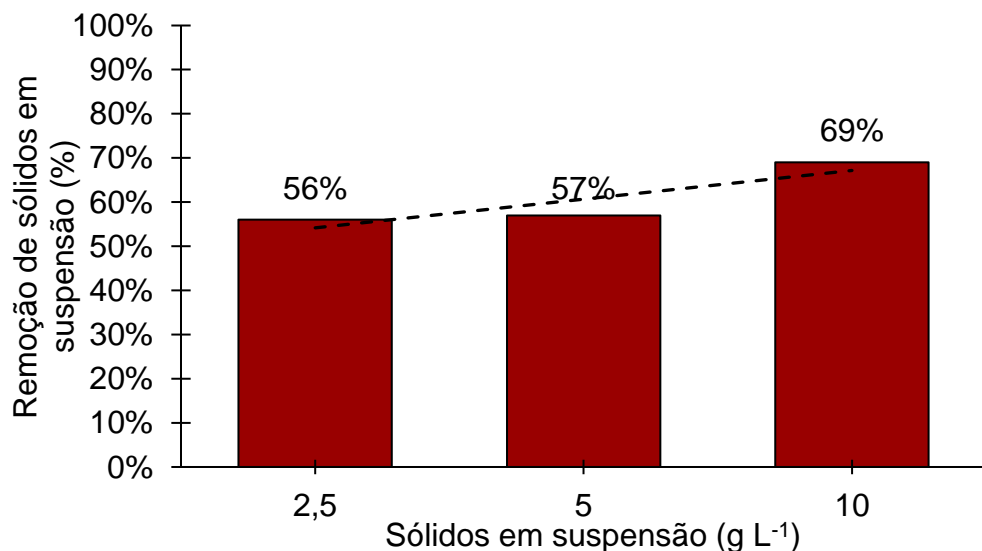


Figura 10. Remoção de sólidos em suspensão da areia branca de Campinarana com diâmetro de 1,2 mm e coluna de 200 mm, com vazão de filtragem de 760 L h<sup>-1</sup>. A linha pontilhada representa o aumento da remoção dos sólidos em suspensão em função do aumento da quantidade de sólidos em suspensão na água da irrigação.



Considerando os resultados obtidos (Figura 9 e 10) os maiores valores de remoção dos sólidos em suspensão foram obtidos para a areia branca de Campinarana com diâmetro médio das partículas de 0,6 mm, chegando a reter 81%

do material após 1 hora de funcionamento do sistema de filtragem. O aumento na taxa de filtração, associado à diminuição da granulometria de areia, aumenta a eficiência de remoção, mas acentua a perda de pressão com o tempo, o que diminui a remoção das partículas menores ao longo dos ciclos de filtração (DEUS et al., 2015).

No entanto, poderá ser adotada qualquer uma das duas granulometrias (0,6 ou 1,2 mm) da ABC pelo irrigante, uma vez que o material não retido, não acarretará risco de entupimento dos emissores. Destaca-se ainda que, não ocorreu aumento de pressão em nenhum dos testes em função da vazão de filtragem e tempo estudado, isso indica que a retrolavagem do elemento filtrante pode ser executada após um período maior de funcionamento.

## **4 CONCLUSÃO**

A areia branca de Campinarana com diâmetro médio das partículas de 0,6 ou 1,2 mm podem ser utilizadas como elemento filtrante para filtros em sistemas de microirrigação.

O filtro alternativo pode ser utilizado em sistemas de microirrigação com vazão de filtragem de até  $8,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

## **5 RECOMENDAÇÕES**

Avaliar a filtração da água pela areia branca de Campinarana com maiores vazões de bombeamento e tempo de funcionamento. Submeter um módulo experimental de irrigação por gotejamento ao longo do tempo com a água filtrada pelo filtro alternativo e areia branca de Campinarana e verificar a ocorrência de obstrução dos emissores.

## REFERÊNCIAS

- ACRE (Estado). Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Recursos naturais e meio ambiente**: documento final – 1ª fase. Rio Branco, AC: SECTMA, 2000. v. 1, 116 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- AMARAL, E.; MARTORANO, L.; BERGO, C.; MORAES, J.; LUNZ, A.; SOUZA, L. P.; ARAÚJO, E.; B RDALES, N.; LIMA, M. Condições Agroclimáticas para Subsidiar Cultivos do Café Canéfora no Acre *In*:BERGO, C. L.; BARDALES N. G. **Zoneamento edafoclimático para o cultivo do café Canéfora (*Coffea canephora*) no Acre**. 1. ed. Brasília DF: Embrapa, 2018. p. 49-90.
- AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE ANSI/ASAE S539. **Media filters for irrigation**: testing and performance reporting. Mar. 1994.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas de irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Agência nacional de águas: Brasília, ANA, p. 86, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - Procedimento. ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos. ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11799**: Material Filtrante: Areia, antracito e pedregulho - Especificação. ABNT, 2016.
- ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, C. R.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V. Crescimento de plantas jovens de limeira ácida “Tahiti” sob lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, vol. 25, n.1 Jaboticabal, Jan./Apr. 2005.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL. **C128-07a**. Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. ASTM, 2007.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water quality and treatment**: Handbook of community water supplies. 5. ed. USA: McGraw Hill Inc. AWWA, 1999.
- BAIRD, R. B; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 23 ed. Washinton, DC: American Public Health Association, 2017.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. E. **Manual de irrigação**. 7 ed., Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Editora UFV, 2006.

BROUCKAERT, M.B. **Hydrodynamic detachment of deposited particles in fluidized bed filter backwashing**. 2004. 383 f. These (Doctor of Philosophy in Civil and Environmental Engineering) Georgia Institute of Technology, Georgia, 2004.

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, v.2, p.149-162, 1979.

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

CARVALHO, T.; COSTA, M. L.; ALMEIDA, H. D. F. Os Sedimentos em suspensão dos rios Purus e Juruá no Estado do Acre. **Revista Científica da UUFPA**, Belém, PA, 8p, 2008. Disponível em: <<http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica/cabecalhophp?Conteudo=5.1>>. Acesso em: Ago., 2018.

CHANG, M.; TRUSSELL, R.; GUZMAN, V.; MARTINEZ, J.; DELANEY, C. Laboratory studies on the clean bed headloss of filter media. **Journal of Water Supply: Research and Technology - aqua**, v. 48, p.137-145, 1999.

CLEASBY, J.L.; FAN, K.S.; Predicting Fluidization and Expansion of the Filter Media. **Journal environment engineering**, Vol. 107, p. 455, Jun. 1981.

CRAIG, R. F. **Mecânica dos Solos**. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

DEUS, F. P.; MESQUITA, M. Filtros de areia: erros e falhas. **Irrigazine**, Votuporanga, SP, ano 9, n.34, p. 28-30, dez. 2013.

DEUS, F. P.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. Eficiência de filtros de areia pressurizados na remoção de diferentes tamanhos de partículas da água de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, n.10, p.939-948, out. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001000010.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3. Ed. São Carlos: LDiBe editora, 2005.

DUARTE, A. F. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971-2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 308-317, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnóstico e propriedades de pesquisa em agricultura irrigada**: Região Norte. Brasília - DF, p. 80, 1987. (Embrapa – DEP. Documentos, 31).

FAIR, G.M.; GEYER, J.C.; OKUN, D. A. **Water and Wastewater Engineering**. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1968.

FARIA, M. A. ; GUIMARÃES, R. J.; SILVA, E. L.; ALVES, M. E. B.; SILVA, M. L. O.; VILELLA, W. M. C.; OLIVEIRA, L. A. M.; COSTA, H. S. C. Influência das lâminas de irrigação na

maturação e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) – 1ª colheita. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DE CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ/MINASPLAN, 2000. p. 924-927.

FERRAZ, P. A. **Estimativa de evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) para região de Rio Branco – Acre**. Dissertação (Mestrado produção vegetal), Universidade Federal do Acre. Rio Branco – Acre, 2008.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012.

GOYAL, M. R.; CHAVAN, V. K.; TRIPATHI, V. K. **Principles and Management of Clogging in Micro Irrigation**. 1 ed. Apple Academic Press, 296 p., 2015.

GHAEMI, A.; CHIENG, S. Emitter clogging and hydraulics in micro-irrigation lines. In: Annual International Meeting, **ASAE/CSAE-SCGR**, Toronto, p. 8. 1999.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, p. 142-63. 1986.

GUPTA, C. K.; SATHIYAMOORTHY, D. **Fluidbed technology in materials processing**. New York: CRC Press, 1999. p.1-125.

HAMAN, D. Z.; ZAZUETA, F.S. **Media filters for trickle irrigation in Florida**. FactSheet AE-57. IFAS. University of Florida, 5p. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/mapa.php>. Acesso em: Ago. 2018.

KARASAWA, S.; FARIA, M. A.; GUIMARÃES, R. J. Resposta do cafeeiro cv. Topázio MG-1190 submetido a diferentes épocas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.28-34, 2002.

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

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**. Gebrüder Bornträger, Berlin, part C, vol. 1, p. 1-44, 1936.

LÓPEZ, T. M. **Riego localizado: diseño de instalaciones**. 2 ed. Vicente J. Montesinos. Valencia, p. 255, 2007.

MESQUITA, C. C. **O clima do Estado do Acre**. Rio Branco, AC: SECTMA, 1996. 57p.

MESQUITA, M. **Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola com ênfase em água e solo), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.



MIRANDA, E. P.; OLIVEIRA, E. V.; SILVA, J. L. B.; SILVA, M. G.; LAVOR, J. M. P.; GOMES, F. E. F. Eficiência de filtragem utilizando dois filtros artesanais de tela. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 133 - 144, 2012.

MOLINE, E. F. V.; BARBOZA, E.; STRAZEIO, S. C.; BLIND, A. D.; FARIAS, E. A. P. Diferentes lâminas de irrigação na cultura da rúcula no sul de Rondônia. **Nucleus**, v.12, n.1, abr. 2015.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. **Trickle Irrigation for Crop Production: design, operation and management**. Elsevier Science, 1 ed. V. 9, p.383, jan.1986.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIRÊDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. **Açaí**. Belém, PA:Embrapa Amazônia Oriental, p. 137, 2005.

OLIVEIRA, S. J. M.; HOLANDA FILHO, Z. F. **Aspectos econômicos, ambientais e sociais da produção cafeeira em diferentes sistemas em Rondônia**. Porto Velho, RO: Embrapa, p.6, out. 2009.

PHILLIPS, K.P. Long-term operation of microirrigation filtration systems: successes, failures and operational solutions. *In*: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS 15, Orlando, 1995. **Microirrigation for a changing World**: Conserving resources/preserving the environment. Orlando: ASAE. 1995. p. 579-585.

RITTENHOUSE, G. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. **Journal Sedimentary Petrology**. v.13, n. 02, p. 79 - 81, ago. 1943

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n.1, p 133-137, 1998.

SISTEMA automático de irrigação. Produção de Nilson Dantas., 2018. 1 vídeo Publicado pelo canal Plantio e irrigação. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=68YP3zK9GDU>. Acesso em: 10 jul. 2020.

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

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

SERRANO, R. O. P.; SANTOS, L. P.; VIANA, E. M. F.; PINTO, M. A.; MARTINEZ, C. B. Case study: Effects of sediment concentration on the wear of fluvial water pump impeller on Brazil's Acre River. **Elsevier Wear**, 408-409, p. 131-137, maio, 2018.

SILVEIRA, L. R.; COUTINHO, M. M.; VELOSO, R. W. Tratamento de água por filtros

de baixo custo com dupla filtração. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 11., 2018, Porto Alegre. **Meio ambiente, política & economia**, Porto Alegre: ABES-RS, 2018.

SILVA, L. B. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração sob pressão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas, 1996.

TEIXEIRA, A. L. Melhoramento genético: trabalhando o que Rondônia tem de melhor. *In*: **Cafés de Rondônia: o mundo do café na Amazônia**. Porto velho, RO: Embrapa, Ed. 2, p. 57-60, Set. 2017.

TELLES, A. C. M. **Análise do comportamento de um rejeito de minério de ferro no estado de regime permanente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.






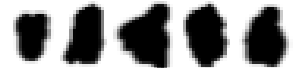
















TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, jul./set. 2008

TESTEZLAF, R.; DEUS, F. P.; MESQUITA, M. **Filtros de areia na irrigação localizada**. Campinas,SP:UNICAMP/Faculdade de Engenharia Agrícola, 56 p. 2014.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

## ANEXO

ANEXO I: Escala de comparação visual da forma geométrica e valores de coeficiente de esfericidade segundo Rittenhouse (1943).

0,97			0,73
0,95			0,71
0,93			0,69
0,91			0,67
0,89			0,65
0,87			0,63
0,85			0,61
0,83			0,59
0,81			0,57
0,79			0,55
0,77			
0,75	