**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Filtração de água com diferentes concentrações de argila e silte em filtros de discos para irrigação localizada

Cleomar Ferreira de Oliveira

**Tese apresentada para obtenção do Título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.**

**Piracicaba
2010**

Cleomar Ferreira de Oliveira
Engenheiro Agrícola

Filtração de água com diferentes concentrações de argila e silte em filtros de discos para irrigação localizada

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia.
Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

**Piracicaba
2010**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Oliveira, Cleomar Ferreira de

Filtração de água com diferentes concentrações de argila e silte em filtros de discos para irrigação localizada / Cleomar Ferreira de Oliveira. - - Piracicaba, 2010.
147 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Filtração 2. Irrigação localizada 3. Perda de carga 4. Resíduos sólidos 5. Tratamento d
água I. Título

CDD 631.7
O48f

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADEÇO:

“**Deus e Nossa Senhora Aparecida** pela fé e por me amar o suficiente e permitir que me aconteça somente aquilo com que eu consigo lidar, quando acontece. Obrigado por quem eu me tornarei através de tudo que me acontece”.

DEDICO:

À minha esposa **Lucimara Ferreira Rezende** pelo amor, carinho, incentivo, alegria, dedicação e auxílio e aos meus filhos **Iamê** e **Iale Lauro** por me proporcionar momentos de satisfação e orgulho.

OFEREÇO:

À minha esposa **Lucimara**, que me acompanha em todos os momentos e me incentiva sempre a buscar novos conhecimentos.

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto”.

A. Einstein

“Aquilo que guardamos para nós, acabamos perdendo um dia; aquilo que partilhamos, conservamos para sempre”.

J. P. Schmitt

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade oferecida para realização do curso.

Ao professor Dr. José Antônio Frizzone, pela orientação, amizade e compreensão durante os trabalhos realizados ao longo do curso.

Aos grandes amigos Osvan Otávio D. Miranda, Carlos Augusto de Paiva.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem: Carlos Alberto Vetorazzi, Décio Eugênio Cruciani, Durval Dourado Neto, Iran José Oliveira da Silva, José Paulo Molin, Marcos Vinícius Folegatti, Rubens Duarte Coelho, Sérgio Nascimento Duarte, Tarlei Arriel Botrel, Valter Barbieri.

Aos colegas da Pós-Graduação Anthonny Almeida, Antônio Clarette S. Tavares, Fábio Jordão Rocha, Francisco Valfísio, João Batista, João Alberto Lelis, Jorge Copquer, Lucas Gomes, Marconi Batista Teixeira, Priscylla Ferraz, Ralini Ferreira de Melo, Robson Armindo, Rochane Caram, Rodrigo Otávio Câmara Monteiro, Ronaldo Antônio dos Santos, Wagner de Oliveira, Yanê Gruber.

Aos funcionários: Antônio, Beatriz, Davilmar, Gilmar, Hélio, Luis, Osvaldo, Paula, Sandra, Vanda.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho e auxiliaram durante o curso, pessoal e profissionalmente.

SUMÁRIO

RESUMO	21
ABSTRACT	23
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELA	17
LISTA DE SÍMBOLOS	19
1 INTRODUÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Irrigação localizada	29
2.2 A água e sua importância	30
2.2.1 A água para a irrigação	32
2.2.2 A qualidade da água para irrigação	34
2.3 Fatores que afetam a uniformidade de irrigação em sistemas de irrigação localizada	38
2.4 Considerações sobre a natureza do entupimento de emissores em irrigação localizada	39
2.4.1 Soluções para controle de entupimento de emissores utilizados na irrigação localizada.	45
2.5 Filtração	46
2.5.1 Sistemas de filtração	48
2.5.2 Eficiência de filtração	51
2.6 Filtros de areia	53
2.7 Filtros de tela	55
2.8 Filtros de discos	57
2.9 Modelos matemáticos de filtração	60
2.10 Perda de carga	61
2.10.1 Perda de carga localizada	62
2.10.2 Estudos sobre perdas de carga localizada em filtros	62
3 MATERIAL E MÉTODOS	67
3.1 Caracterização hidráulica dos filtros	67
3.2 Filtração em filtros de discos <i>mesh</i> 120 e 155	68
3.3 Programação dos ensaios no processo de filtração	70
3.4 Análise da solução	71

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1 Perda de carga nos filtros limpos	73
4.2 Resultados do processo de filtração para filtro de discos de 1 polegada, <i>mesh</i> 120	73
4.2.1 Para vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,812 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	73
4.2.2 Para vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,893 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	77
4.2.3 Filtração com vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,812 \text{ g L}^{-1}$) <i>versus</i> vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,893 \text{ g L}^{-1}$)	80
4.2.4 Para vazão de $4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,474 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	81
4.2.5 Para vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,559 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	84
4.2.6 Filtração com vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,474 \text{ g L}^{-1}$) <i>versus</i> vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,559 \text{ g L}^{-1}$)	87
4.2.7 Para vazão de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração alta ($1,819 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	88
4.2.8 Para vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração alta ($1,946 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	91
4.2.9 Filtração com vazão de $4,05 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,819 \text{ g L}^{-1}$) <i>versus</i> vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,946 \text{ g L}^{-1}$)	94
4.3 Resultados do processo de filtração para o filtro de discos de 1 polegada, <i>mesh</i> 155	96
4.3.1 Para vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,837 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	96
4.3.2 Para vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,841 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	99
4.3.3 Filtração com vazão $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,837 \text{ g L}^{-1}$) <i>versus</i> vazão $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,841 \text{ g L}^{-1}$)	103
4.3.4 Para vazão de $3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,489 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	104

4.3.5 Para vazão de $1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,496 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	107
4.3.6 Filtração com vazão de $3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de $1,489 \text{ g L}^{-1}$) <i>versus</i> vazão de $1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de $1,496 \text{ g L}^{-1}$)	110
4.3.7 Para vazão de $3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração alta ($2,024 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	111
4.3.8 Para vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, e concentração alta ($1,951 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro	114
4.3.9 Filtração com vazão $3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de $2,024 \text{ g L}^{-1}$) <i>versus</i> vazão $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de $1,951 \text{ g L}^{-1}$)	117
5 CONCLUSÃO	119
REFERÊNCIAS	121
GLOSSÁRIO	129
ANEXOS	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Filtro de areia	55
Figura 2 – Filtro de tela	56
Figura 3 – Filtro de discos	58
Figura 4 – Arranjo das ranhuras nos discos do elemento filtrante	58
Figura 5 – Discos <i>mesh</i> 120 e 155	59
Figura 6 – Esquema da bancada experimental	68
Figura 7 – Esquema da bancada experimental para o processo de filtração	69
Figura 8 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,812 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 377 \text{ kPa}$	74
Figura 9 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,812 \text{ g L}^{-1}$	74
Figura 10 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,812 \text{ g L}^{-1}$	76
Figura 11 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,812 \text{ g L}^{-1}$	76
Figura 12 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,893 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 381 \text{ kPa}$...	78
Figura 13 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,893 \text{ g L}^{-1}$	78
Figura 14 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,893 \text{ g L}^{-1}$	79
Figura 15 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,893 \text{ g L}^{-1}$	79
Figura 16 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 378 \text{ kPa}$..	82
Figura 17 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ g L}^{-1}$	82
Figura 18 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ g L}^{-1}$	83

Figura 19 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ g L}^{-1}$	83
Figura 20 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 384 \text{ kPa}$.	85
Figura 21 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$	85
Figura 22 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$	86
Figura 23 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$	86
Figura 24 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 385 \text{ kPa}$...	89
Figura 25 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$	89
Figura 26 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$	90
Figura 27 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$	90
Figura 28 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 380 \text{ kPa}$..	92
Figura 29 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$	92
Figura 30 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$	93
Figura 31 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$	93
Figura 32 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 378 \text{ kPa}$..	97
Figura 33 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$	97

Figura 34 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$	98
Figura 35 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$	98
Figura 36 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 381 \text{ kPa.}$..	100
Figura 37 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$	100
Figura 38 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$	101
Figura 39 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$	101
Figura 40 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 384 \text{ kPa.}$..	105
Figura 41 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$	105
Figura 42 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$	106
Figura 43 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$	106
Figura 44 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,496 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 384 \text{ kPa.}$	108
Figura 45 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$	108
Figura 46 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$	109
Figura 47 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$	109
Figura 48 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 2,024 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 380 \text{ kPa.}$..	112

Figura 49 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 2,024 \text{ g L}^{-1}$	112
Figura 50 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 2,024 \text{ g L}^{-1}$	113
Figura 51 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 2,024 \text{ g L}^{-1}$	113
Figura 52 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>Mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,951 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na ent. do filtro})} = 379 \text{ kPa}$.	115
Figura 53 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,951 \text{ g L}^{-1}$	115
Figura 54 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,951 \text{ g L}^{-1}$	116
Figura 55 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, <i>mesh</i> 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,951 \text{ g L}^{-1}$	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos emissores segundo a sensibilidade ao entupimento, com base no diâmetro mínimo de passagem da água	41
Tabela 2 – Causas do entupimento em sistemas de irrigação localizada	42
Tabela 3 – Classificação dos riscos de uso de águas de diferentes qualidades para irrigação localizada com relação ao entupimento	43
Tabela 4 – Classificação do solo por tamanho de partículas com correspondente <i>mesh</i> de tela	49
Tabela 5 – Linhas gerais para seleção de sistemas de filtração na irrigação localizada	50
Tabela 6 – Características de areias mais usada em filtros de areia	54
Tabela 7 – Cores dos discos em função do número de ranhuras	59
Tabela 8 – Características de fabricação dos filtros utilizados no experimento	67
Tabela 9 – Programação dos ensaios	70
Tabela 10 – Resultados finais do processo de filtração	95

LISTA DE SÍMBOLOS

- α_F – Coeficiente de permeabilidade associado a componente linear de perda de carga
- β_0 – Constante que expressa a perda de carga para vazão unitária, m
- β_1 – Constante característica do regime de fluxo, adimensional
- β_F – Coeficiente de permeabilidade associado a componente não linear de perda de carga
- $C_{ent.}$ – Concentração na entrada do filtro, g L⁻¹
- $C_{saída}$ – Concentração na saída do filtro, g L⁻¹
- E_r – Eficiência de remoção, %
- ε – Erro aleatório
- ΔH – Perda de carga no meio filtrante, L
- ΔL – Altura da camada filtrante, L
- H – Perda de carga depois de filtrado um volume “V”
- H_f – Perda de carga no filtro limpo, m
- I – Índice de filtrabilidade (função característica do filtro)
- ⁽⁴⁾ $M_{ac.}$ – Massa de sólidos suspensos retida acumulada no filtro, g
- ⁽¹⁾ $M_{ent.}$ – Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro, g
- ⁽³⁾ $M_{ret.}$ – Massa de sólidos suspensos retida, g 4,0min.⁻¹
- ⁽²⁾ $M_{saída.}$ – Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro, g
- Mat. sol. retido – Material sólido retido, g L⁻¹, %
- $P_{(média na entrada do filtro)}$ – Pressão média na entrada do filtro, kPa
- % $M_{(Ret. Acum.)}$ – Porcentagem da massa retida acumulada, %
- Q – Vazão que escoou através do filtro, m³ s⁻¹
- R^2 – Coeficiente de determinação
- S_1 – Concentração de sólidos na entrada do filtro, mg L⁻¹
- S_2 – Concentração de sólidos na saída do filtro, mg L⁻¹
- $SS_{(entrada do filtro)}$ – Sólidos suspensos na entrada do filtro, g L⁻¹
- $SS_{(saída do filtro)}$ – Sólidos suspensos na saída do filtro, g L⁻¹
- ⁽⁵⁾ $V_{acum.}$ – Volume acumulado da solução que atravessou o filtro, m³
- V – Volume filtrado, m³

RESUMO

Filtração de água com diferentes concentrações de argila e silte em filtros de discos para irrigação localizada

O uso da irrigação localizada está em pleno crescimento no Brasil, em decorrência da escassez de recursos hídricos e a necessidade de poupar água na irrigação. Isto tem requerido aplicação de conhecimentos no desenvolvimento de materiais e equipamentos que tendem a otimizar os sistemas de irrigação localizada. Os sistemas de irrigação localizada requerem obrigatoriamente sistemas de filtração para um tratamento de água. Os filtros são fundamentais à qualidade de água utilizada na agricultura irrigada, promovendo melhor desempenho dos sistemas de irrigação e seus componentes. Considerou para esta pesquisa o sistema de filtração que é fundamental em projetos de irrigação localizada, onde os emissores têm orifícios de dimensões reduzidas e ficariam obstruídos com o uso de água sem filtração adequada. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biossistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, Campus de Piracicaba - SP. O experimento foi conduzido em duas etapas: na primeira, fez-se a caracterização hidráulica das equações de perdas de carga em função da vazão circulante nos filtros de discos 1 polegada *mesh* 120 e 155, utilizando água limpa e com auxílio das equações definiu-se duas vazões para realizar os ensaios de filtração: (a) vazão denominada ideal, correspondente à recomendada pelo fabricante, e (b) metade da vazão ideal. Na segunda etapa com auxílio das equações da perda de carga em função da vazão, analisou-se o desempenho do processo de filtração em função do tempo (240 minutos), utilizando três concentrações de sólidos em suspensão de argila e silte diluída em água nas seguintes proporções (1,0, 1,5 e 2,0) g L⁻¹, mantendo-se a vazão constante durante o processo de filtração. Nesta etapa avaliou-se o processo de filtração, porcentagem de material retido, perda de carga e a quantidade de material retido. Considerando as condições em que a pesquisa foi realizada e com base nos resultados obtidos, conclui-se: o filtro de *mesh* 155 mostrou-se superior ao filtro de *mesh* 120 na remoção de sólidos em suspensão; a evolução da perda de carga nos filtros de *mesh* 155 foi mais rápida que nos filtros de *mesh* 120 devido ao maior acúmulo do material sólido em sua superfície, decorrência direta do diâmetro do orifício do elemento filtrante.

Palavras-chave: Elemento filtrante; Perda de carga; Sólidos em suspensão.

ABSTRACT

Filtration of water with different clay and silt's concentrations in discs filters for trickle irrigation

The use of the trickle irrigation is growing in Brazil, in consequence of the shortage of water's resources and the need to save irrigation water. This has been requesting knowledge application to development of equipments to optimize the trickle irrigation systems. Trickle irrigations systems always require filtration systems for a basic water treatment. The filters are fundamental for the water quality used in irrigated farming, providing better performance of irrigation systems and theirs components. It considered for this research the filtration system that is fundamental in project of trickle irrigation. The emitters have holes of reduced dimensions and they would be obstructed with the use of water without appropriate filtration. The trials were carried out in the Irrigation Laboratory of the Biosystems Engineering Department of the ESALQ/USP, Piracicaba SP. The experiment had two stages: the first, it was made the hydraulic characterization of the head loss equations according to the free flow in discs filter 1 inch *mesh* 120 and 155, using clean water and this head loss equations two flow was defined to accomplish the filtration's rehearsals: (a) ideal flow, is that recommended by the manufacturer, (b) half of the ideal flow. In the second way using the head loss equations according to the flow, the acting of the filtration process was analyzed according to the time (240 minutes), using clay and silt's concentrations in the proportions of 1,0; 1,5 and 2,0 g L⁻¹ diluted in water, keeping constant flow during the filtration's process. In this second stage it was evaluated the filtration process, percentage of retained material, head loss and the amount of retained material. Considering the obtained results, it follows that: the filter of *mesh* 155 was superior than to the filter of *mesh* 120 to remove of solids of water, the evolution of the head loss in the filters of *mesh* 155 was faster than the filters of *mesh* 120 due to the largest accumulation of the solid material in its surface, direct consequence of the hole's diameter of the filtration element.

Keywords: Filtration element; Head loss; Solids in suspension

1 INTRODUÇÃO

O uso da irrigação localizada está em pleno crescimento no Brasil, em decorrência da escassez de recursos hídricos e a necessidade de poupar água na irrigação. Por isso, deve-se procurar avanços tecnológicos na agricultura irrigada, selecionando-se métodos de irrigação que facilitam um manejo de água com alta eficiência, aliando-se redução nos custos variáveis da irrigação pelos menores consumos de água e energia. Isto tem requerido aplicação de conhecimentos no desenvolvimento de materiais e equipamentos que tendem a melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação localizada.

Nos sistemas de irrigação localizada a água aplicada com baixas vazões e altas frequências, muitas vezes diárias, umedecendo um volume de solo menor quando comparados aos outros sistemas, o que reduz as perdas por evaporação e permite controle da percolação. Por outro lado, com a irrigação localizada, as plantas podem se tornar mais dependentes da irrigação, fazendo com que qualquer problema no sistema afete de forma mais acentuada o desempenho da cultura. Um dos fatores que eleva os custos de operação e manutenção do sistema e, em alguns casos, pode inviabilizar a utilização desse método, pela possível obstrução de emissores por sólidos presentes na água.

Uma característica inerente aos métodos de irrigação localizada é a pequena área de passagem da água através dos emissores. Em função dos pequenos diâmetros do orifício, o entupimento dos emissores configura-se como um dos principais problemas relacionados ao método (GILBERT E FORD, 1986; KELLER E BLIESNER, 1990; BOMAN E ONTERMAA, 1994; SAGI et al., 1995; PITTS et al., 1996, CABELLO, 1996).

O conjunto de medidas adotadas visando reduzir ou evitar o entupimento de emissores varia em função da fonte causadora do entupimento. A avaliação sistemática do sistema de irrigação, leituras periódicas de hidrômetros e o monitoramento da qualidade da água utilizada são de fundamental importância na implementação das medidas de prevenção ou correção. (TEIXEIRA, 2006, MÉLO, 2007)

Na tentativa de minimização desses problemas, medidas preventivas relacionadas à melhoria da qualidade de água, ou mesmo corretivas, com o intuito de desobstrução de emissores, tem sido alvo de pesquisas com resultados altamente satisfatórios (NAKAYAMA et al., 1977, GILBERT et al., 1981, SCHAWANKL E PRICHARD, 1990) destacando-se principalmente os

processos de filtração de água, pois o entupimento físico de componentes do sistema de irrigação localizada pode ser causado por fatores como partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte, argila etc...), decomposição da matéria orgânica (principalmente resíduos: vegetal e animal), dissolução do solo, ferro e manganês (OLIVEIRA, 2005). Com base nesse cenário é que os métodos tradicionais de filtração de água foram sendo incorporados e adaptados à irrigação localizada, cuja característica principal é a realização de um procedimento de filtração essencialmente mecânico.

Os procedimentos de rotina em relação à filtração da água podem não ser efetivos na prevenção do problema, podendo até potencializá-la. Os filtros de areia, por exemplo, podem constituir um meio adequado ao crescimento de algas filamentosas reconhecidas, causadoras de entupimento de emissores. Adicionalmente, águas com alta incidência populacional de algas e bactérias podem originar cimentação da areia dentro do filtro, resultante de mucilagem, originando caminhos preferenciais e reduzindo a eficiência de filtração (RAVINA et al., 1992).

Diversos trabalhos de pesquisas e observações de campo indicam que as causas de obstrução em emissores e sistemas de filtração podem ser divididas em três categorias: material em suspensão, precipitados químicos e crescimento bacteriano.

Oliveira (2005) afirma que a instalação de filtros, em sistemas de irrigação localizada, com o objetivo de evitar o entupimento dos emissores na linha de irrigação, produz uma variação no comportamento hidráulico do sistema ao longo do tempo. À medida que a vazão fornecida ao sistema atravessa os filtros, provoca a diminuição da filtração, visto que o material sólido em suspensão se agrega ao corpo do elemento filtrante, formando uma superfície de partículas sólidas na parte superior da areia e na parede do disco ou da tela, acarretando a elevação da perda de carga e a redução da vazão disponível no filtro, influenciando na altura manométrica e na vazão do sistema.

A eficiência de diversos procedimentos e equipamentos de filtração é função da qualidade da água utilizada na irrigação, porém uma caracterização detalhada da mesma é muitas vezes de difícil realização em condições de campo, podendo também ser prejudicada pelas variações temporais na concentração de diversos materiais orgânicos e inorgânicos.

Não existe uma análise prática comum para tratar estes fatores durante o projeto de um sistema de irrigação. Portanto, este trabalho de pesquisa considerou para estudo o sistema de

filtração que é fundamental em projeto de irrigação localizada, pois os emissores têm orifícios de dimensões reduzidas e ficariam obstruídos com o uso de água sem um grau de filtração adequada.

Existe falta de informações sobre o desempenho de filtros de discos operando em condições de qualidade de água existente no Brasil, distinta daquela dos países onde essas tecnologias foram desenvolvidas. A busca por inovações na área de filtração deve ser constante para pesquisadores na área de irrigação. O objetivo deste trabalho foi estudar o processo de filtração por filtros de discos de 1 polegada, *mesh* 120 e 155, utilizados na irrigação localizada, usando três concentrações de argila e silte em suspensão na água e duas vazões. Analisou-se o desempenho desses filtros quanto á remoção desses materiais sólidos e a evolução da perda de carga ao longo do tempo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Irrigação localizada

A irrigação localizada caracteriza-se pela aplicação de pequenas quantidades de água, com alta frequência, na zona radicular, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo, atendendo às necessidades específicas da cultura. A uniformidade de aplicação de água está diretamente associada à qualidade de água aplicada. Este método de irrigação é considerado uma técnica recente quando comparada aos outros métodos.

Segundo Azevedo (1986) a irrigação localizada compreende a aplicação de água molhando apenas uma fração do sistema radicular das plantas. A área molhada não deve ser superior a 55% da área sombreada pela planta, enquanto que a área mínima molhada é de 20% nas regiões úmidas e 30% nas regiões de clima semi-árido. O laboratório de Engenharia de Irrigação da Universidade Federal da Paraíba classifica esse método de irrigação da seguinte maneira:

- Gotejamento: compreende a aplicação pontual d'água, com vazão de até 12 L h^{-1} , tendo o solo como meio de propagação da umidade.

- Subsuperficial: tem o solo como meio de propagação da água, os emissores podem ser gotejadores, potes de barro, cápsulas porosas com vazão até 24 L h^{-1} e tubos perfurados enterrados na profundidade do sistema radicular das plantas.

- Microaspersão: a água é aplicada por emissores rotativos ou fixos, tendo o ar como principal meio de propagação e a vazão varia de 12 L h^{-1} a 120 L h^{-1} .

A irrigação localizada é um método muito eficiente para suprir a necessidade de água e nutrientes para as plantas, mas isto depende de uma boa uniformidade de aplicação. Quando ocorrem problemas com a uniformidade de aplicação de água na cultura, a sua produção e produtividade ficam comprometidas, causando grandes prejuízos. O maior problema de variação de uniformidade está associado ao entupimento de emissores (TESSLER, 1986; RAVINA et al., 1992).

O entupimento dos emissores também está diretamente associado às suas seções de escoamento de dimensões milimétricas. As razões para tais entupimentos são atribuídas

principalmente á presença, na água, de impurezas sólidas em suspensão de origem físico-química e biológicas.

Nakayama e Bucks (1986) afirmam que com entupimento de 5% dos gotejadores de um sistema de irrigação localizada pode reduzir consideravelmente a uniformidade de distribuição de água, necessitando da filtração para minimizar a ocorrência de entupimento.

Os emissores são vulneráveis ao entupimento por agentes de origem física, química e biológica comumente presentes na água utilizada para a irrigação. O entupimento parcial dos mesmos é verificado com a redução da uniformidade de aplicação e alteração do comportamento hidráulico do sistema, sendo ainda possível prognosticar o problema e tentar solucioná-lo (NAKAYAMA e BUCKS, 1991).

Dasberg e Bresler (1985) e Phillips (1993) afirmam que a determinação dos tipos de filtros a serem utilizados nos projetos de sistemas de irrigação localizada depende da qualidade de água (tipo do material a ser retido), vazão do sistema e das características hidráulicas dos filtros (vazão, pressão de serviço e perda de carga).

2.2 A água e sua importância

A vida no planeta terra depende essencialmente da água. Mas, dos quase um bilhão e quatrocentos milhões de quilômetros cúbicos de água existentes, dispõe-se de menos de 1% para as atividades e o consumo humano, estando todo o restante sob a forma de água salgada, geleiras e vapor de água. De acordo com Medeiros et al. (2003), dentre os recursos naturais, a água é hoje um dos mais ameaçados quanto à escassez e também na sua qualidade pelas intensas e crescentes agressões ao meio ambiente. Uma das causas de escassez de água é a poluição dos recursos hídricos. Este provoca problemas que tendem a se agravar, como resultado do seu uso incorreto pelo homem e das atividades que são desenvolvidas nas margens dos rios e nas bacias hidrográfica como um todo. As conseqüências negativas da poluição da água podem ser de caráter sanitário, ecológico, social e econômico.

Essencial à vida, a água é uma substância necessária às diversas atividades humanas, além de constituir componente fundamental da paisagem e do meio ambiente (MEDEIROS, et al., 2003). Entre os domínios correspondentes às atividades que utilizam água, pode-se destacar: a agricultura, a produção de energia, no que se refere aos aproveitamentos hidroelétricos; a

utilização na indústria, em consequência dos elevados consumos e da grande poluição da água que algumas atividades industriais provocam; a utilização para fins domésticos, a pesca, pelas implicações do regime de utilização da água na atividade pesqueira; o turismo, pela importância das utilizações recreativas da água; e os transportes, pelos condicionamentos resultantes para a navegação interior (SETTI, et al., 2002). Entre as utilidades múltiplas de uso da água, Medeiros et al. (2003) acrescentam ainda a assimilação e condução de esgoto.

Os diversos usos da água doce modificam temporal ou espacialmente a disponibilidade da água, tanto em quantidade quanto em qualidade, gerando impactos ambientais. A captação de água e a diluição de efluentes afetam diretamente a disponibilidade hídrica, gerando grandes impactos negativos, enquanto que navegação, recreação, piscicultura, entre outros, não afetam substancialmente a qualidade e quantidade da água, mas são diretamente afetados pelos demais usos (SANTOS, 2002).

Trinidad et al. (2001) comenta que os recursos de água doce estão irregularmente distribuídos e a qualidade da água está deteriorando-se em muitas regiões do mundo. Para os autores, o mundo está sofrendo uma deficiência de água. Figueiredo (1997) afirma que escassez de água é causada pela combinação de vários fatores, ou seja, crescimento populacional exagerado, diminuição da cobertura vegetal e o comprometimento das reservas hídricas pela degradação ambiental. A escassez da água pode ocorrer em função da precipitação e do aumento da demanda pelos setores agrícola, urbano e industrial, embora a maioria da água disponível globalmente seja utilizada na irrigação de culturas (TRINIDAD et al., 2001). O mesmo é descrito por Medeiros et al. (2003), ressaltando que a quantidade de água de boa qualidade existente na natureza é finita e sua disponibilidade vem diminuindo gradativamente, em razão do crescimento populacional, da expansão das fronteiras agrícolas e da degradação do meio ambiente.

À medida que a água não está prontamente disponível ou o seu custo de produção é aumentado, ela torna-se um fator crítico para o desenvolvimento e, até mesmo, para a sobrevivência da sociedade (FIGUEIREDO, 1997). O objetivo maior da preservação da água é garantir sua qualidade e disponibilidade em todos os níveis de consumo. No que se refere ao uso de água na agricultura, a irrigação só passa a ser fator de risco para as reservas de água quando não incluem nas práticas de manejo, os cuidados necessários para a conservação do solo e da vegetação e, quando não são adotadas medidas preventivas para evitar a contaminação da água por agrotóxicos e fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2002).

Mediante as colocações dispostas nos parágrafos anteriores, verifica-se que embora a água seja um recurso natural renovável, a consciência de sua escassez como fonte de manutenção da vida, seja nas atividades produtivas, agropastoris e até mesmo para o abastecimento público das populações, tem levado os países a tratarem seus recursos hídricos como se fossem renováveis, institucionalizando e sistematizando políticas para sua utilização e descarte (FINK E SANTOS, 2003).

O uso inadequado da água é uma forma primária de impacto ambiental, uma vez que se trata de um recurso natural, que demanda grande quantidade de energia e infra-estrutura apropriada para sua captação, tratamento e distribuição. Além disso, no caso de uso doméstico, proporciona o aumento do volume de esgotos gerados, que são efluentes de elevado potencial poluidor para o ambiente (COSTA E MATOS, 1997).

Ayers e Westcot (1991) comentam que determinada água pode ser boa para a irrigação, mas inaceitável para uso urbano. Mesmo para irrigação uma água poderá ser boa para determinada situação e cultura e não para outra. A água com elevado teor salino é imprópria para uso agrícola, não havendo, no entanto restrições para seu uso na geração de energia ou mesmo navegação. Elevadas concentrações de ferro podem comprometer seu uso na geração de energia (disposição em energia), mas não afeta sua utilização em navegação ou recreação. Observa-se que determinados usos da água exigem um padrão de qualidade mais elevado, ao passo que outros não apresentam restrições neste sentido. Assim, é possível estabelecer de forma aproximada uma graduação de usos, em função da qualidade da água, abrangendo desde as utilizações mais nobres (abastecimento, irrigação) até aqueles menos exigentes (navegação, controle de cheias) (SPERLING, 1997). Os autores propõem diretrizes técnicas para avaliação das águas, mas com limitações impostas pela variabilidade das condições de campo. Apenas a experiência acumulada pode melhorar a eficácia dessas diretrizes. A qualidade da água para a irrigação define-se principalmente por suas características físicas, químicas e biológicas.

2.2.1 A água para irrigação

A agricultura irrigada, em muitas situações, é a única maneira de se garantir a produção de alimentos, em bases sustentáveis e com segurança, mesmo em períodos de escassez de chuvas. Apesar de representar apenas 18% das terras cultivadas, as áreas irrigadas respondem por mais de

40% da produção mundial de alimentos. Fato este que torna o uso da irrigação imperativo no mundo todo.

A grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo da energia necessária à suas aplicações têm aumentado o interesse pela racionalização desse recurso, de forma a minimizar as suas perdas (AZEVEDO et al., 1999). Pelo exposto, é necessário minimizar a quantidade da água aplicada via irrigação sem, contudo, comprometer a produção final. Nos dias atuais, o emprego da irrigação localizada vem sendo muito aplicado com esse objetivo.

Embora ostentando uma posição privilegiada perante a maioria dos países, com 8% da água doce disponível no mundo, O Brasil por muito tempo permaneceu sem dar a devida importância ao uso e à preservação de seus recursos hídricos, conseqüentemente, muitas providências deixaram de ser tomadas. Busca-se agora recuperar as perdas e aproveitar de forma racional as enormes potencialidades hídricas de que o país dispõe.

A interrelação entre o uso da água e a qualidade requerida para a mesma é direta. Pode-se considerar que o uso mais nobre seja representado pelo abastecimento de água doméstico, o qual requer a satisfação de diversos critérios de qualidade. De forma oposta, o uso menos nobre é o de simples diluição de despejos, o qual não possui nenhum requisito especial em termos de qualidade. No entanto, deve-se lembrar que diversos corpos d'água têm usos múltiplos previstos para os mesmos, decorrendo daí a necessidade da satisfação simultânea de diversos critérios de qualidade. Tal é o caso, por exemplo, de represas construídas com finalidade de abastecimento de água, geração de energia, recreação, irrigação e outros.

Rocha (2001) descreve que aproximadamente 70% de toda a água doce consumida no mundo destinam-se a agricultura, 23% são utilizadas pela indústria e apenas 7% destina-se para o abastecimento humano. Esta informação demonstra o quanto é importante que os agricultores irrigantes utilizem o recurso água com maior eficiência possível. No Brasil, as reservas de água utilizável estão cada vez mais escassas, especialmente nas regiões onde são mal distribuídas temporalmente, como na região semi-árida do Nordeste brasileiro.

Segundo Tundisi (2003) o consumo de água nas atividades humanas varia muito entre diversas regiões e países. Com as permanentes necessidades de água para fazer frente ao crescimento populacional e às demandas industriais e agrícolas, tem-se gerado crescente pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. O autor acrescenta que o desenvolvimento

agrícola depende da disponibilidade de água e de seu uso adequado. Além da água para irrigação, o uso para abastecimento rural apresenta desafio relevante, pois nessa área estão concentrados muitos problemas de saúde pública relacionadas ao abastecimento e ao saneamento. Com o uso de novas tecnologias para irrigação, pode-se reduzir o consumo de água entre 30% e 70%. A zona rural nordestina, por exemplo, depende da água para o desenvolvimento econômico.

Segundo Bernardo (1997), a crise de disponibilidade de água afetará bastante a irrigação no mundo. No Brasil, existem dois grupos de problemas envolvendo a disputa pelo uso da água: um governamental, compreendendo o uso para a irrigação, hidroelétrico e consumo urbano (humano e industrial); e o outro relacionado ao uso múltiplo da água pelos usuários de um rio.

2.2.2 A qualidade da água para a irrigação.

A qualidade da água envolve os aspectos físicos, químicos e biológicos. Os aspectos físicos são determinados por partículas inorgânicas suspensas e materiais orgânicos. Sua remoção é simples, mas quando se encontram associados a lodos bacterianos, os problemas é mais sério. Os aspectos químicos envolvem sólidos dissolvidos e pH, e os aspectos biológicos estão relacionados com microorganismos. Preferências pessoais, como sabor, podem também constituir simples avaliação de aceitabilidade, porém na avaliação da qualidade da água para irrigação, levam-se em consideração, principalmente, as características físicas e químicas e poucas são às vezes em que outros fatores são considerados importantes (AYERS e WESTCOT, 1991).

A avaliação da qualidade da fonte de água é essencial para o projeto, operação e manutenção do sistema de irrigação localizada. A água a ser usada nesse sistema deve ser cuidadosamente analisada para avaliar qualquer problema potencial de entupimento. As análises de laboratório propiciam as informações necessárias para a avaliação apropriada, devendo ser realizadas anualmente. Testes futuros irão alertar sobre possíveis mudanças na qualidade da água. Negligenciando a análise da água e deixando de aplicar os tratamentos necessários, pode-se resultar no funcionamento inadequado do sistema de irrigação localizada.

Para Ayers (1977) e Ayers e Westcot (1991), a qualidade da água para irrigação está relacionada a seus efeitos prejudiciais aos solos e a cultura, requerendo muitas vezes técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados a sua utilização. Assim a conveniência de uma água para irrigação deve ser avaliada conjuntamente

com o estudo das condições locais de uso, tomando como base fatores relacionados com a água, o solo e a planta.

De fato, a não observância de determinados princípios básicos; como a escolha de uma água de qualidade conveniente e do método de irrigação mais adequado conduz, quase sempre, à deterioração das propriedades físicas e químicas do solo, limitando o potencial produtivo das culturas sob condições irrigadas. A salinização do solo tem-se constituído num dos mais sérios fatores limitantes à exploração de culturas agrícolas, especialmente em áreas sob condições de aridez, onde o problema pode se agravar ainda mais pelo uso de águas de qualidade inferior para a irrigação.

A qualidade da água de irrigação é definida, principalmente pela quantidade total de sais dissolvidos e sua composição iônica (RICHARDS, 1954; SHALHEVET E OSTER, (1978). Segundo Doneen (1975) e Ayres e Westcot (1991), na maioria das vezes, a água tem na sua composição os íons de sódio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato e bicarbonato, além de potássio e carbonato.

A quantidade da água de irrigação, segundo o tipo e quantidade de sais dissolvidos, pode variar significativamente de um lugar para outro, como também com o tempo. Os sais são encontrados em quantidades relativamente pequenas, porém, significativas, tendo sua origem na intemperização das rochas e dissolução lenta do gesso, calcário e de outros minerais. Os sais são transportados pelas águas superficiais e subterrâneas e depositados no solo irrigado ou inundado, onde se acumulam na medida em que é evaporada ou consumida pelas plantas (CABELLO, 1996; AYRES E WESTCOT, 1991).

English (1985) descreveu os vários problemas de qualidade da água encontrados em sistemas de irrigação localizada. Em algumas situações, dois ou mais destes problemas podem estar presentes, aumentando a necessidade de procedimentos mais complexos para o tratamento. Dentre os principais encontram-se:

- a- Presença de grandes partículas no suprimento de água;
- b- Presença de grandes carregamentos de silte e argila, transportados no suprimento de água;
- c- Crescimento de limo bacteriano no sistema;
- d- Crescimento de algas dentro do suprimento de água ou do sistema e;
- e- Precipitação de ferro, sulfato ou carbonato de cálcio.

O mesmo autor afirma em seu trabalho que as bactérias podem produzir um lodo orgânico sulfuroso quando a água contém mais do que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de total de “sulfitos”. Estas bactérias produzem massas de lodo branco os quais podem bloquear completamente os emissores.

Para Ayers e Westcot (1991), para a utilização de água no sistema de irrigação por gotejamento, deve-se fazer análises dos seguintes elementos: sais inorgânicos, dureza, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), matéria orgânica, microrganismos, ferro, oxigênio dissolvido (OD), ácido sulfídrico, ferro-bactéria e bactéria redutora de sulfatos. Esses autores afirmam também que os métodos de remoção de ferro das águas (cloração e oxidação por aeração) são difíceis e caros, devendo-se avaliar com cuidado a viabilidade de seus usos.

Águas ricas em nitrogênio podem causar crescimento vegetativo excessivo, maturação tardia, acamamento, má qualidade dos frutos. Altos teores de bicarbonato, gesso, ferro podem causar manchas em folhas e frutos quando a água é aplicada por aspersão (AYRES e WESTCOT, 1991).

O problema sanitário deverá ser levado em consideração quando for aplicada água residuárias, ou quando houver problemas de infiltração ou drenagem ineficiente (AYRES e WESTCOT, 1991). Deverá ser dada atenção se a água contiver sedimentos ou constituintes químicos que podem provocar entupimento dos equipamentos ou obstrução dos poros do solo (AYRES e WESTCOT, 1991), embora esta obstrução fosse desejável em canais não revestidos (FAO/UNESCO, 1973). Para tais problemas, recomenda-se tratamento de água (aspectos sanitários e de entupimento) ou substituição de água em determinada fase da cultura.

O fluxo de água carrega partículas inorgânicas bem como partículas orgânicas. Essas partículas podem impedir o fluxo normal ao se depositarem nas linhas laterais ou filtros. Para Nakayama e Bucks (1986) independentemente da fonte de água, os sistemas de gotejamento requerem algum tipo de filtração para remover a carga de materiais suspensos. Entretanto, isso não é suficiente para remover todas as partículas problemáticas.

Thompson e Krider (1983) afirmam que as características da água disponível nas propriedades agrícolas têm significado efeito na seleção do sistema de irrigação. Muitos fatores como: local, a quantidade disponível, a quantidade no tempo e a qualidade da água têm efeito sobre as considerações para definir e avaliar a aplicabilidade do sistema de irrigação na propriedade. A quantidade de sedimentos carregados pela água pode influenciar o

dimensionamento para um adequado desempenho do sistema de irrigação quando altas cargas de sedimentos são encontradas, a irrigação localizada requer um sistema de filtração que assegure um desempenho confiável.

Para López (1998) a água de irrigação utilizada na agricultura pode conter contaminantes indesejáveis, tais como, sais dissolvidos, sedimentos suspensos elementos tóxicos de ocorrência naturais, nematóides e outros agentes infecciosos. Contaminantes físicos e partículas orgânicas podem causar efeitos adversos aos sistemas de irrigação. Quando presente faz-se necessária a prevenção com filtros adequados para sua eficaz remoção. Sedimentos carregados pela água reduzem a vida útil dos componentes dos sistemas de irrigação, tais como, os rotores das bombas, os bocais de aspersores, os emissores e as tubulações dos sistemas de irrigação localizada e, em casos extremos, chega-se a necessidade de troca dos mesmos a cada ano. Diferentes tipos de filtros são necessários para evitar este tipo de problema. Material suspenso na água de irrigação pode causar o mau funcionamento de medidores de vazão, válvulas, engates de tubos, comportas, entre outros. O bom manejo da água de irrigação requer um completo controle da água derivada.

De acordo com Gilbert e Ford (1986), o tipo e quantidade de impurezas presentes na água de irrigação irão ditar o tipo de tratamento necessário para a prevenção do entupimento. O entupimento físico pode ser causado por fatores como, partículas inorgânicas em suspensão (areia, silte e argila), material orgânico (fragmentos de plantas, resíduos de animais, peixes, caracóis, etc.). A areia e o silte podem ser levados com a água de irrigação pela abertura de canais ou bombeamento de poços. Entupimentos por fatores físicos podem ser controlados com adequada filtração e periódico esvaziamento das linhas laterais. Estudos estatísticos mostram que o entupimento dos emissores tem sido a maior causa de variação de vazão nos sistemas de irrigação localizada. A manutenção preventiva e constante tem sido a melhor solução para reduzir ou eliminar o entupimento dos emissores. A manutenção preventiva inclui a filtração, inspeção de campo, esvaziamento das linhas laterais e tratamento químico. A filtração da água e a inspeção no campo são essenciais.

Segundo Cuenca (1989), critérios de julgamento dos materiais com potencial de entupimento dos emissores têm sido desenvolvidos possibilitando aos engenheiros tomarem decisões que habilitem a água ao uso para a irrigação. Estes critérios têm ajudado, juntamente com outros, os engenheiros projetistas a decidir sobre a escolha do sistema de irrigação ou o tipo de sistema de filtração adequado à severidade do problema.

Além das características físico-químicas, no entanto, outros fatores devem ser considerados quando de sua adequação e recomendação para o uso na irrigação. São eles: as características do solo, a tolerância das culturas aos sais, as condições climáticas locais e o manejo da irrigação e drenagem.

2.3 Fatores que afetam a uniformidade de irrigação em sistemas de irrigação localizada

Para que tenha sucesso, um projeto de irrigação por gotejamento deve ser planejado como um todo, de modo a fornecer a quantidade necessária de água às plantas, segundo o esquema da irrigação localizada. Contudo, estes sistemas não aplicam a água com uma uniformidade constante ao longo das linhas das plantas irrigadas.

Para Bucks e Meyers (1972) a uniformidade na distribuição de água é um fator básico para avaliar a qualidade da irrigação, influenciando diretamente na produção da cultura e nos gastos de água; sendo a uniformidade de aplicação afetada principalmente pelas imperfeições de fabricação dos emissores e mudanças na pressão que ocorre ao longo da linha lateral. Os mesmos autores tentaram compensar a mudança na pressão variando os bocais dos emissores, mas não obtiveram sucesso. Wu e Gitlin (1973) com o mesmo objetivo usaram comprimentos diferentes de microtubos e verificaram que este método apresentou diversas desvantagens.

A desuniformidade é devida também, entre outros fatores, à imperfeição na fabricação de gotejadores e ao entupimento que poderá ocorrer durante o tempo de uso dos emissores. Esses problemas podem ser solucionados com o aperfeiçoamento dos processos de fabricação e pela filtração da água para remoção de partículas grosseiras em suspensão e de materiais orgânicos contidos na água de irrigação, além de técnicas de controle (manejo) para evitar precipitação de sais quando for usada água de má qualidade.

Os fatores que acarretam variação na vazão, afetando por conseqüência a uniformidade de emissão de um sistema de irrigação por gotejamento, foram citados por Solomon e Keller (1978), Solomon (1979) e Deniculi (1979), e podem ser listados como:

- Características de projeto do emissor – importantes para determinar como a taxa de emissão responde em relação às outras variáveis que estão influenciando.

- Variabilidade na fabricação de emissores – nenhum processo de fabricação é tão exato que possa produzir unidades iguais, tempo após tempo. Portanto, mesmo em condições idênticas, taxas de emissão podem variar de um gotejador para outro.
- Perda de energia por atrito em toda a rede de distribuição de água afeta a taxa de emissão.
- Diferenças de cotas por toda a parcela do sistema de irrigação afetam as taxas de emissão.
- O caminho de passagem do fluxo nos gotejadores é muito pequeno e, sem filtração e tratamentos adequados da água de irrigação, ocorrerão entupimentos inevitáveis.
- Número e grau de gotejadores parcialmente entupidos afetam a uniformidade de emissão; mesmo com bons sistemas de filtração, alguns gotejadores sofrerão este problema. Se há partículas finas de silte e argila na água, bem como sais solúveis, estes poderiam depositar e/ou precipitar nas passagens de fluxo de gotejadores, pois a velocidade da água nestes locais é baixa. Isto reduz o diâmetro de passagem, causando um decréscimo gradual na taxa de emissão.
- A temperatura da água nas linhas plástica pode influenciar as vazões se as linhas são colocadas na superfície do terreno e, estando sujeitas à radiação solar e a outras condições atmosféricas, a temperatura da água variará dependendo da hora do dia ou da noite. A taxa da emissão de alguns gotejadores modificará, dependendo da viscosidade da água, a qual por sua vez depende da temperatura. A temperatura da água pode influenciar as taxas de emissão de alguns gotejadores, porque afeta também as dimensões ou as características do polietileno.

A eficiência dos sistemas de irrigação por gotejamento depende diretamente da uniformidade com qual a água é descarregada dos dispositivos de emissão através de todo o sistema. Segundo Nakayama e Bucks (1981) informações referentes à vazão dos emissores e sua uniformidade são essenciais para o desenvolvimento e manejo adequado dos sistemas de irrigação localizada.

2.4 Considerações sobre a natureza do entupimento de emissores em irrigação localizada

López et al. (1997) afirmam que o problema mais grave e freqüente nas instalações de irrigação localizada, em particular no gotejamento, é o entupimento, e que, dependendo do tipo

de sólidos em suspensão ou impurezas da água, os sistemas devem ser providos de algum tipo de equipamento de filtração. Segundo os autores, se forem consideradas a natureza das obstruções, as mesmas podem ser causadas por partículas orgânicas ou inorgânicas ou, por precipitações e/ou proliferação de bactérias. Quanto ao fator tempo, podem classificar-se em atuais ou imediatas e, em potenciais e lentas. De modo geral, as obstruções atuais e imediatas se identificam com as causadas por partículas orgânicas e inorgânicas, da mesma maneira; as potenciais ou lentas são associadas às produzidas por precipitações ou bactérias.

Segundo Nakayama e Bucks (1991), são diversas as causas que podem provocar o entupimento parcial ou total de emissores e de tubulações, prejudicando o fluxo de água e sua distribuição ao longo das linhas de irrigação, principalmente nas laterais, reduzindo a eficiência do sistema.

Nas águas fluviais que geralmente constituem o principal manancial de água utilizado para a irrigação localizada, detecta-se que os principais elementos causadores de obstrução são os sólidos em suspensão tais como as frações de areia, silte e argila (KELLER E KARMELI, 1975; NAKAYAMA E BUCKS, 1991).

O entupimento pode ocorrer por diversas causas: areia, silte, argila, fitoplâncton (incluindo algas), zooplâncton, larvas e ovos de lesmas, bactérias, plástico (oriundo do corte de tubulações durante instalação e manutenção do sistema), raízes (para gotejamento subsuperficial), resíduos lubrificantes (oriundos por falta de manutenção adequada no conjunto moto-bomba), ação de bactérias (oxidando ferro, manganês e enxofre), precipitados (carbonato, fosfato, hidróxidos, ferro), uso de fertilizantes que aumentam a alcalinidade da água de irrigação e precipitação direta de substâncias químicas devido à mistura incompatível de fertilizantes (NAKAYAMA E BUCKS, 1991; LOPES et al., 1997).

O entupimento dos orifícios dos emissores utilizados na aplicação de água pode ser considerado como um dos problemas mais sérios na utilização e manejo dos sistemas de irrigação localizada. Pois o risco de obstrução de um emissor depende do diâmetro mínimo do orifício de saída e da velocidade da água. Nos emissores de baixa vazão, o diâmetro de saída pode variar entre 0,3 mm até 1,0 mm. Entretanto, nos emissores de alta vazão, como microaspersores e difusores, os diâmetros podem chegar a mais de 2,0 mm, nos quais o risco de obstrução é muito menor. A Tabela 1 apresenta a classificação dos emissores segundo a sensibilidade ao entupimento, de acordo com o diâmetro mínimo de saída do emissor. Os elementos potenciais

possíveis de causar obstrução são normalmente divididos em componente físicos na forma de sólidos totais (sólidos suspensos ou mesmo dissolvidos) capazes de promoverem precipitações químicas além de material produzido principalmente por bactérias e algas.(CABELLO, 1996).

Tabela 1 – Classificação dos emissores segundo a sensibilidade ao entupimento, com base no diâmetro mínimo de passagem da água

Diâmetro mínimo (mm)	Sensibilidade à obstrução
$\leq 0,7$	Alta
0,7 – 1,5	Média
1,5	Baixa

Fonte: Cabello (1996)

Os componentes físicos são os que apresentam maior potencialidade em termos de obstruções, nessa classe, inúmeros componentes das mais diversas modalidades são registrados. Gilbert et al. (1981), em experiência realizada com águas do rio Colorado, verificou que as partículas de plástico do próprio sistema eram uma das causas mais comuns de obstrução, sendo responsáveis por 26% dos entupimentos observados, seguidos de partículas de areia, 17%, e germes microbianos com 11%. Apesar de ser uma situação característica do local analisado, observa-se a grande porcentagem representada por material suspenso.

Howell et al. (1983) e Keller e Bliesner (1990) afirmam que o projeto dos emissores tem sido concebido para ter pequenas aberturas, proporcionando vazões mais próximas das taxas de infiltração da água no solo, mas resultando em maior probabilidade de entupimento quando comparados aos bocais dos aspersores. Alguns dos materiais que causam entupimento dos emissores são facilmente identificados nas fontes de água, como as suspensões de areia, silte e argila, necessitando-se de um sistema de filtração para sua remoção, conforme pode ser visto na Tabela 2 citada por Cabello (1996) a qual apresenta as causas do entupimento em sistemas de irrigação localizada.

Em um estudo realizado com a utilização de efluentes domésticos aplicados em sistema de irrigação localizada, em Santo André, Portugal, Taylor et al. (1989) verificaram que a principal causa de entupimento de emissores foi o acúmulo de partículas de areia, sendo que também foi verificado o desenvolvimento nos emissores de massas de algas, principalmente as filamentosas verdes e azuis-verdes. Verificou-se que o nível de desenvolvimento desse material biológico não

foi suficiente para alterar a vazão dos emissores, sendo controlado com a utilização do polietileno de cor negra, material adequado para o controle da atividade de algas. Neste aspecto é válida a proposta apresentada por Ford et al. (1987), que destaca a viabilidade do controle de entupimento de tubos plásticos de drenagem com a incorporação de compostos anti-microbianos na resina quando da fabricação do dreno. Os autores comentam que, utilizando-se um biocida, o controle é limitado apenas à superfície do tubo, uma vez que esse procedimento facilita a limpeza através de processo de retrolavagem. Essa proposta pode constituir em um interessante procedimento preventivo contra a contaminação microbiana e desenvolvimento de colônias de bactérias.

Tabela 2 - Causas do entupimento em sistemas de irrigação localizada

Partículas Minerais	Areia Limo Argila Outros
Partículas Orgânicas	Algas Bactérias Restos vegetais ou animais
Precipitados Químicos	Sais da água Deposição de Fe, S e Mn Fertilizantes

Fonte: Cabello (1996)

Adin e Alon (1986) estudando diferentes parâmetros de filtração observaram uma situação na qual a maiorias das partículas em suspensão eram menores do que a abertura da tela dos filtros e mesmo assim verificaram o entupimento dos mesmos. Os autores comentam que o fenômeno de entupimento do filtro é devido ao mecanismo de ponte e de cimentação das partículas.

Os sólidos voláteis, sob certas condições específicas de pH e temperatura podem também ser responsáveis por outro processo de entupimento freqüentemente observado: as precipitações químicas, denominado de fenômeno da coprecipitação química.

As obstruções químicas ocorrem com maior freqüência nos sistemas de irrigação localizada que utilizam águas subterrâneas com altos teores de sais de carbonato de cálcio, magnésio e sulfato de cálcio (ABBOT, 1987; SCHWANKAL E PRICHARD, 1990) e precipitados de ferro quando esse cátion encontra-se em concentrações superiores a $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, ou mesmo em concentrações menores, na presença de atividade bacteriana (KELLER e KARMELI, 1975). Salienta-se que os fosfatos inorgânicos tais como fosfato amônico e os

superfosfatos, quando utilizados na fertirrigação, podem causar a precipitação do fosfato de cálcio e magnésio, caso a concentração de cálcio e magnésio sejam altas (ABBOTT, 1987).

A Tabela 3 demonstra um esquema de irrigação-água-qualidade-classificação para prevenir o entupimento potencial dos emissores (BUCKS et al., 1979). O desenvolvimento da classificação baseou-se em várias fontes que incluíram experiências em laboratório e de campos em vários locais com diferente qualidade de água.

Tabela 3 – Classificação dos riscos de uso de águas de diferentes qualidades para irrigação localizada com relação ao entupimento

Tipos de problema	Risco reduzido	Risco médio	Risco alto
Físicos ²			
Sólidos suspensos (ppm)	< 50	50 - 100	> 100
Químicos ²			
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
H ₂ S (ppm)	< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0
Biológicos ³			
População bacteriana (máximo n° cm ⁻³)	< 10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

¹Fonte: Gilbert e Ford (1986)

²Máxima concentração medida de um número representativo de amostras de água que usam procedimentos standards para análise.

³Máximo número de bactérias por mililitro pode ser obtido dos classificadores de campo de portátil e análise de laboratório.

Smajstrla et al. (1983) afirmam que apesar de menos intenso do que os processos que envolvem sólidos suspensos, o entupimento causado por precipitações químicas é gradual. Os autores, estudando o processo de entupimento em emissores num sistema de irrigação localizada em pomar de laranja em Valência, durante 5 anos, verificaram que os gotejadores apresentaram significativo entupimento devido à depósitos de ferro. Notaram um aumento gradual na porcentagem de entupimento dos emissores ao longo do tempo, de 20,5% em 1979 para 21,3% em 1983. Como esperado, a qualidade da água afluyente normalmente indicava uma alta concentração de ferro, ao redor de 0,2 ppm.

Com relação a este íon, Marques Júnior (1998) citam que os problemas produzidos por complexos de ferro são especialmente graves quando o pH da água se encontra entre 7,0 e 7,8 evidenciando a importância do conhecimento desse parâmetro no estudo do processo de

entupimento de emissores. Alteração no pH da água pode se constituir como um dos principais procedimentos para se evitar a precipitação química.

Sistemas alternativos de reuso de água podem também representar uma fonte potencial de entupimento de emissores. Pitts et al. (1984) em estudos realizados na universidade de Arkansas, comentam que análises químicas de um determinado efluente indicaram altas concentrações de bicarbonatos, ferro e manganês, embora os autores destaquem não terem verificado problemas sérios de entupimento de emissores e filtros, quando esse processo era utilizado em irrigação localizada, onde foi aplicado um fertilizante (Sulf-N-5). Citam que um procedimento viável de filtração foi realizado com filtros de tela de 100 *mesh* ou seu equivalente em areia. Entretanto, os autores destacam a existência de problemas de precipitação química quando da utilização de amônia anidra assim como fontes de nitrogênio contendo amônia livre. Variações drásticas no pH não tiveram efeitos significativos para evitar-se a obstrução, tanto dos filtros quanto dos emissores.

Processos de entupimento também podem ocorrer através da ação de elementos biológicos que fluem através da rede hidráulica. Dentro do grupo de organismos capazes de provocar entupimento nos sistemas de irrigação localizada, há referências até sobre colônias de caracóis, desenvolvidas a partir de pequenas larvas introduzidas dentro da rede hidráulica (ABBOTT, 1987).

Boman (1990) estudando os processos de entupimento em microaspersores na Flórida, observou grande contaminação causada por formigas, aranhas, bactérias e algas, com uma faixa de variação de entupimento da ordem de 2 a 38% quando das inspeções da área. Childers et al. (1992) verificaram a presença de espécies não identificadas de Tortricidae, um tipo de mariposa, assim como pupas de Chrysperla externa contribuindo para o entupimento de 17% de emissores de microaspersão em plantação de laranjas na Flórida.

Ford (1975) estudando a importância dos organismos biológicos nos processos que ocorrem interações com partículas físicas e íons em solução cita a formação de depósitos filamentosos de ferro que são produzidos quando esses elementos se encontram no estado reduzido na água, precipitando-se na forma férrica, sendo uma bactéria o agente causador dessa oxidação. Os elementos desencadeantes dessa obstrução aderem aos sólidos em suspensão e não necessariamente aos próprios precipitados de ferro. Dados desse autor indicam que a presença de mais de 0,4 mg L⁻¹ de ferro solúvel estimula o desenvolvimento de bactérias ferruginosas.

Na transformação do ácido sulfídrico (H_2S) em enxofre livre, a partir da atuação de bactérias aeróbicas sulfurosas é também outra forma de obstrução causada por agentes biológicos. O intervalo ótimo de pH para essa transformação é de 6,7 a 7,2 conforme comenta Ford (1987). Existe também a possibilidade de ocorrência desses germes quando o conteúdo de ácido sulfídrico na água é superior à $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Apesar de verificar as diversas formas de organismos promovendo o processo de entupimento em emissores, de uma maneira geral o problema está relacionado à presença de algas e bactérias, pois o sistema de filtração são efetivos no controle da macrofora. O estudo de Ford (1987) não aborda o controle para algas e bactérias, mas sim a interação com partículas e íons presentes em suspensão.

Como comentado anteriormente, as algas procedentes de águas superficiais constituem-se também em uma causa freqüente de obstrução. Uma boa filtração mecânica pode impedir a movimentação da maior parte destas no interior das instalações de irrigação. Entretanto, as filamentosas são capazes inclusive de passar através dos filtros e acumular-se nas linhas de emissores, causando sérios problemas de obstrução.

2.4.1 Soluções para controle de entupimento de emissores utilizados na irrigação localizada

A ação utilizada no combate ao entupimento de emissores tem um único significado: retenção de partículas indevidas através de um sistema de filtração com a utilização de filtros de areia, tela e de discos. Esta técnica continua sendo um procedimento essencial para a instalação de sistemas de irrigação localizada. Em função da importância que assumem, aspectos sobre a instalação e formas de utilização são amplamente divulgados em literatura, podendo ser encontrados em Keller e Karmeli (1975), Olitta (1985), Adin e Alon (1986) e Bernardo et al. (2008). Entretanto, como já comentado, deve-se ater para o fato de que íons e partículas de dimensões menores do que $50 \mu\text{m}$, dificilmente são retidas nos processos mecânicos de filtração.

Diversas medidas podem ser adotadas, isoladas ou em conjunto, para prevenir a ocorrência de entupimento, como: o melhoramento do equipamento, o correto planejamento e manejo do sistema, a própria filtração, a cloração, as descargas de água periódicas ao final das linhas de irrigação, o uso de hidrociclones, o uso de substâncias como o ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico, ácido peróxido acético, homopolímero de anidrido maléico, amônia, ozônio e inibidores químicos adicionados ao material plástico dos emissores, tais como

trifluralina e sulfato de cobre. Também podem ser utilizadas as radiações ultravioletas, a piscicultura (reduzindo o conteúdo de partículas na água), os biofiltros (retirada de nitrogênio, fósforo, argila e algas em excesso), a aeração da água em lagoas (oxidação de ferro e manganês e volatilização de ácido sulfídrico antes de entrar no sistema) e a irrigação por vazão em pulsos (ORON et al., 1979; GILBERT e FORD, 1986; JACKSON e KAY, 1987; HILLS e EL-EBABY, 1990; MEYER et al., 1991; NAKAYAMA e BUCKS, 1991; TELTSCH et al., 1991; AVNIMALECH et al., 1993; DIAB et al., 1993; SCHAKSCHOUK, 1996; UNKROTH et al., 1997; SPOONER et al., 1998; HASSEN et al., 2000; CARARO et al., 2004).

A escolha de uma ou mais das combinações das medidas citadas deve ser cuidadosa, pois em certos casos pode ser ineficiente, dispendiosa, apresentar riscos à saúde humana ou causar resultados indesejáveis, como a fitotoxidez. Por outro lado, a geração de novas tecnologias preventivas é desejável.

Usualmente utilizam-se filtros combinados a um tratamento químico, inspeção a campo e lavagem das linhas laterais. Segundo Gilbert e Ford (1986), a filtração e a inspeção a campo são absolutamente essenciais, e de acordo com Adin e Sacks (1991), previnem o entupimento imediato por partículas relativamente grandes. A lavagem de linhas laterais e principais pode ajudara a minimizar o aumento de sedimentos e o tratamento químico pode melhorar o desempenho do sistema em longo prazo. Isto também foi constatado por Nakayama et al. (1978), que testaram cinco tratamentos durante dois anos, incluindo a combinação de diferentes filtros e tratamentos químicos intermitentes e contínuos.

2.5 Filtração

A filtração é a remoção de sólidos suspensos dissolvidos, coloidais e em suspensão, através da passagem da água por um meio poroso. Durante o processo de filtração ocorrem os seguintes fenômenos: absorção, sedimentação, coagem e floculação.

Adin e Alon (1986) citam que o processo de filtração é baseado no princípio de que os poros de tamanhos médios são menores que os diâmetros das partículas. Uma expressão matemática exponencial que relaciona o crescimento da perda de carga em função do volume filtrado através de uma tela de aço é combinada como a lei de Boucher, que é definida pela a equação (1):

$$H = H_f e^{IV} \quad (1)$$

sendo:

H – perda de carga depois de filtrado um volume “V”;

H_f – perda de carga no filtro limpo;

I – índice de filtrabilidade (função característica do filtro);

V – volume filtrado.

O valor de I aumenta quando a água se torna mais difícil de ser filtrada. Esta formula é o resultado de dois processos simultâneos: (1) a disposição do material dentro dos poros de tela e o “bolo” do filtro que obstrui a passagem de material em suspensão; e (2) a disposição do material a uma taxa constante na superfície da tela.

As atividades agrícolas, assim como qualquer atividade econômica, visam à maximização da produção e do lucro, e a minimização dos custos relativos. Verifica-se com frequência, que o investimento em um setor de produção ou operação resulta na economia em outras áreas. A filtração para irrigação localizada é um bom exemplo desta afirmação (NAKAYAMA E BUCKS, 1991). Atualmente existem diversas opções para sistemas de filtração da água utilizada na irrigação. No entanto, em última instância, a qualidade da água é que determinará efetivamente o desempenho do sistema de filtração e, ao longo prazo, de todo o sistema de irrigação por gotejamento (CARARO et al., 2004). A qualidade da água pode variar consideravelmente em função da estação do ano. Portanto, o sistema de filtração deve ser dimensionado para a situação mais crítica da operação (ORON et al., 1979).

Como não há recomendação dos fabricantes de gotejadores quanto ao grau requerido de filtração da água de irrigação, na prática, adota-se que partículas com diâmetros de até 5 a 10 vezes menores que o diâmetro do emissor presente nas linhas laterais, devem ser retidas pelo filtro. Embora essas partículas sejam até 10 vezes inferiores ao diâmetro dos gotejadores, essas podem se agrupar formando unidades de diâmetro capaz de obstruí-los, especialmente na presença de material orgânico (CABELLO, 1996).

O uso de filtros para a irrigação localizada tem sido amplamente recomendado. O desempenho do sistema de irrigação será tanto melhor, quando maior for a eficiência dos filtros na remoção de impurezas da água. Assim, a avaliação dos diferentes tipos de filtros tem sido

importante para se estabelecer sua eficiência e melhorar seu desempenho. Para a escolha do melhor sistema de filtração, deve-se considerar a qualidade da água, pressão de funcionamento do sistema, área de filtração, porcentagem de área aberta por filtro, perda de carga permissível e tempo desejado para o ciclo de limpeza. Recomenda-se a limpeza dos filtros no máximo a cada período de aplicação, ou quando a perda de carga localizada atingir 40 kPa (CABELLO, 1996).

Os filtros comumente utilizados na irrigação localizada são filtros de areia, tela e discos. Estes podem ser usados isolados ou combinados. Os diferentes tipos de filtros são efetivos, cada qual, para retenção de partículas de diferentes natureza e tamanho, taxas de filtração específica e capacidade de sedimentação e coleta. Matsura et al. (1989) citam que o objetivo da filtração da água é remover sólidos em suspensão, em função da necessidade de utilização da água, evitando a obstrução dos emissores e a desuniformidade de distribuição de água às culturas irrigadas.

2.5.1 Sistemas de filtração

Os sistemas de filtração são componentes fundamentais em projetos de irrigação localizada, pois os emissores têm orifícios de dimensões reduzidas e ficariam facilmente obstruídos com o uso de água sem um grau de filtração adequado. São necessários filtros com nível de filtração entre 80 a 120 *mesh* para microaspersão e entre 120 a 200 *mesh* para gotejamento (NAKAYAMA e BUCKS, 1991). Uma solução comum é a utilização de sistemas de filtração com associação de diferentes tipos de filtros, racionalizando as vantagens de cada tipo e melhorando a eficiência de um todo. Os filtros podem ter a sua limpeza feita manualmente (mais barata e mais trabalhosa), sendo indicado para pequenos projetos; ou limpezas realizadas automaticamente, sendo essas mais onerosas e confiáveis, sendo aconselhada para grandes projetos. Em um sentido mais amplo, o sistema de filtração é constituído pelo conjunto de tratamento e operações efetuadas para limpar a água que será fornecida aos emissores de forma a evitar o entupimento dos mesmos (ADIN e ALON, 1986).

Os mecanismos de filtração podem ser divididos em duas categorias: em filtros de tela e discos, quando são classificados como elementos de filtração mecânica ou de superfície em que o processo de filtração é baseado no princípio de que os poros do meio filtrante são menores que o diâmetro das partículas a serem filtradas e nos filtros granulares ou de areia, onde as partículas a

serem retidas são menores que os poros do elemento filtrante, porém a retenção dessas partículas é conseguida por processos físico-químicos (ADIN E ALON, 1986).

Segundo Oliveira (2005), muitos equipamentos de filtração instalados nos sistemas de irrigação localizada têm operado abaixo do nível ótimo. Observações evidenciam erros de seleção dos produtos e inadequação no monitoramento e na manutenção a campo, o que resulta no comprometimento do desempenho do sistema de filtração. O mesmo autor afirma que os filtros de areia podem oferecer condições favoráveis à proliferação de bactérias e são normalmente usados para reter partículas com tamanho de 25 a 100 μm . Esses filtros são indicados em situações em que há alta concentração de material inorgânico ou qualquer tipo de contaminante orgânico. São freqüentemente construídos para a retrolavagem automática quando necessária, recomendando-se na prática, também o uso de filtros de tela ou discos, na seqüência, de modo a coletar o material que passar por ocasião desta operação. Eles são muito efetivos para filtrar material orgânico, porque podem coletar os contaminantes através da camada de areia, acumulando grandes quantidades de algas (KELLER E BLIESNER, 1990).

Tabela 4 – Classificação do solo por tamanho de partículas com correspondente *mesh* de tela

Classificação do solo	Tamanho da partícula μm	Número <i>mesh</i> da tela
Areia muito grossa	1000 - 2000	18 - 10
Areia grossa	500 - 1000	35 - 18
Areia média	250 - 500	60 - 35
Areia fina	100 - 250	160 - 60
Areia muito fina	50 - 100	270 - 160
Silte	2 - 50	400 - 270*
Argila	< 2	-

Nota: *400 mesh é a tela que tem a malha de menor tamanho, aproximadamente 0,03 mm. Fonte: Keller e Bliesner (1990).

Gilbert e Ford (1986) afirmam que os filtros de areia não são facilmente entupidos por algas, podendo remover relativamente uma grande quantidade de sólidos suspensos antes que a limpeza seja necessária. Porém eles podem oferecer condições favoráveis à proliferação de bactérias. São normalmente usados para reter partículas com tamanho de 25 a 100 μm . Phillips (1995) comenta que os filtros de areia são indicados em situações em que há alta concentração de material inorgânico ou qualquer tipo de contaminante orgânico.

Phillips (1995) afirma que a partir da década de 80, o padrão de filtração para a irrigação localizada inclui o uso de um filtro primário e na seqüência um filtro secundário. O uso dos dois filtros tem se dado, em muitos casos, pelo inadequado desempenho do filtro primário. O autor sugere algumas linhas para a seleção do sistema de filtração da irrigação localizada, as quais são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Linhas gerais para seleção de sistema de filtração na irrigação localizada

Tipo de Contaminante	Concentração	Carga Aproximada	Tela de sucção da bomba	Separador centrífugo	Filtro de tela	Filtro de areia
Orgânico ou mistura	Leve	$\leq 10 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim
Orgânico/inorgânico	Moderada	$10-25 \text{ mg L}^{-1}$	Sim	Sim	Não	Sim
	Média	$25-50 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim
	Média/alta	$50-75 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim
	Alta	$75-100 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim
	Muito alta	$>100 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim <i>Nota 3</i>
Inorgânicos	Leve	$\leq 10 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Sim	Sim
	Moderada	$10-25 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Sim	Sim
	Média	$25-50 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Sim <i>Nota 3</i>	Sim
	Média/alta	$50-75 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Sim <i>Nota 3</i>	Sim
	Alta	$75-100 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim
	Muito alta	$>100 \text{ mg L}^{-1}$	Sim <i>Nota 1</i>	Sim <i>Nota 2</i>	Não	Sim <i>Nota 3</i>

Nota: 1. Recomenda-se tela na sucção da bomba somente como pré-tratamento antes do filtro primário;

2. Recomenda-se separadores centrífugos somente para remoção de material inorgânico com peso específico $\geq 2 \text{ g cm}^{-3}$ e deve ser usado em conjunto com o filtro de tela ou areia;

3. É recomendado um pré-tratamento com separador centrífugo.

Fonte: Phillips (1995)

Segundo Keller e Bliesner (1990), as bacias de sedimentação removem grandes quantidades de areia e silte, devendo ser construídas para que a água leve um quarto de hora para atravessá-la, tempo suficiente para partículas inorgânicas maiores que $80 \mu\text{m}$ (acima de 200 *mesh*) sedimentarem. Para isto, necessita-se de uma bacia com 1,2 m de profundidade por 3,3 m de largura por 13,7 m de comprimento, para possibilitar um tempo de residência (permanência) de um quarto de hora para uma vazão de 57 L s^{-1} . Os autores afirmam que, modernamente, tem se

utilizado separadores centrífugos, como os hidrociclones, que podem remover mais de 98% de partículas de areia, que poderiam ser contidas por uma tela de 200 mesh.

Os mesmos dependem da força centrífuga para remover e lançar partículas de alta densidade para fora da água e conseqüentemente podem remover material orgânico. São eficientes dispositivos que retiram grande quantidade de areia muito fina de poços, águas correntes, rios ou canais. Porém, devem ser seguidos de filtros de tela, que por segurança, podem reter contaminantes que passem por eles.

2.5.2 Eficiência de filtração

Além do grau de filtração também são importantes a eficiência de filtração e a eficiência de lavagem. Há uma relação inversa entre eficiência de lavagem e eficiência de filtração; estes parâmetros estão diretamente associados ao tipo, ao formato e ao volume dos elementos filtrantes. O dimensionamento dos filtros leva em conta o fluxo e a qualidade da água a ser filtrada.

Nakayama e Bucks (1986) definem como sendo três os parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho dos filtros num sistema de irrigação localizada, os quais são:

(a) Eficiência de remoção

Segundo Zeier e Hill (1987) a avaliação de campo do sistema de irrigação localizada inclui a determinação da eficiência de remoção e do diferencial de pressão antes e depois do filtro. A concentração seja na entrada ou na saída do filtro inclui o material em suspensão e sólidos dissolvidos.

A eficiência de remoção pode ser avaliada pela equação (2):

$$E_R = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

sendo:

E_R – eficiência de remoção, %;

S_1 – concentração de sólidos na entrada do filtro, mg L^{-1} ;

S_2 – concentração de sólidos na saída do filtro, mg L^{-1} .

(b) Perda de carga

O segundo aspecto da avaliação do desempenho dos filtros num sistema de irrigação localizada é medido pela diferença de pressão da água entre a entrada e na saída do filtro. O aumento da diferença entre duas medidas de pressão representa a perda de carga no filtro devido à retenção de impurezas e presta-se também como indicador do momento de se efetuar a limpeza do mesmo.

(c) Entupimento dos emissores

Refere-se a observação local do grau de entupimento nos emissores, que pode ser estimado através da medida da vazão destes, e permite estimar, de forma indireta a eficiência do filtro.

O material em suspensão presente na água de irrigação, tais como algas, areia, silte, argila, entre outros, devem ser removidos com eficiência para não ocasionar queda no desempenho do sistema de irrigação. A filtração com baixa eficiência resulta em maior uso de mão-de-obra, manutenção de equipamentos e diminuição da vida útil dos componentes do sistema, de forma a elevar os custos com reposição de materiais.

Os filtros de areia tem alta eficiência de filtração devido ao grande volume e à infinidade de grãos de areia no meio, já que existe múltipla possibilidade para reter a sujeira em uma das intersecções de grânulos de areia, causando em contrapartida, baixa eficiência de lavagem, por ser necessária alta pressão e grande volume de água para uma limpeza efetiva. Os filtros de tela têm menor eficiência de filtração por permitirem uma única possibilidade de reter sujeira, sendo denominados de filtros de superfície; já os filtros de discos são classificados como de semi-profundidade, por possuírem uma certa profundidade do elemento filtrante, apresentando uma boa eficiência de filtração e, por essa razão, há uma tendência em se empregar mais os filtros de discos que os de tela. Nos filtros de discos a área total do elemento filtrante e o tamanho dos orifícios determinam a eficiência e a capacidade operacional do sistema (LÓPEZ et al., 1997).

Os filtros de tela são elementos simples para filtração da água. O tamanho dos orifícios e a área total de abertura são determinantes na eficiência e no limite operacional destes filtros. Os filtros removem eficientemente partículas muito finas de areia ou pequenas quantidades de algas, mas não são apropriados para a retenção de todo material orgânico (algas, fitoplânctons e zooplânctons) presentes na água da irrigação (VERMEIREM E JOBLING, 1984).

Zeier e Hills (1987) consideram que a avaliação, em campo, da eficiência de um sistema de irrigação localizada quanto à qualidade da água deve incluir além da determinação da eficiência de remoção, também a diferença de pressão antes e depois do filtro.

Para Gilbert e Ford (1986), os hidrociclones ou filtros centrífugos removem partículas suspensas que tenham peso específico maior que a água e tamanho maior que 75 μm , porém são ineficientes na remoção de sólidos orgânicos. São eficientes na remoção de um grande número de partículas de areia e são usados eficientemente em pré-filtragem, quando instalados antes dos outros tipos de filtros.

2.6 Filtros de areia

Os filtros de areia consistem basicamente, em tanques ou reservatórios cilíndricos metálicos ou de poliéster, e são recobertos interiormente por uma capa anti-corrosiva. Em seu interior coloca-se espessa camada de areia de especificações apropriadas, conforme mostra a Tabela 6, através da qual filtra-se a água de irrigação. Os filtros de areia são chamados de filtros de profundidade, já que existe múltipla possibilidade para reter a sujeira nas interseções de grânulos de areia. Esses filtros operam pressurizados quando utilizados em sistemas de irrigação localizada, necessitando de dimensionamento mecânico correto, baseado na teoria de vasos de pressão, para evitar a ruptura de suas paredes às pressões de trabalho. São geralmente dimensionados com base em vazão por unidade de tempo ou também por unidade de área. A vazão para escolha do filtro de areia para um projeto de irrigação é expressa em volume por unidade de tempo e por unidade de área efetiva normal à direção do fluxo da filtração.

Testezlaf (2008) afirmam que, quanto menor a vazão por unidade de superfície, melhor é o processo de filtração, indicando o valor máximo de $30 \text{ L.s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ($108 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$), enquanto a ASAE (1993) recomenda vazões entre 10 a $18 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (36 e $64,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$), Cabelo (1996) aponta a aplicação do critério da velocidade média de filtração de $16,7 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ($60 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) no dimensionamento do diâmetro do filtro. Benham e Ross (2002) recomendaram que a vazão do projeto não ultrapasse $17 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ($61,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) em concordância com a afirmativa de Phillips (1995), que sugeriu vazões entre 10 e $17 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (36 e $61,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) para a utilização de filtros de areia. Segundo esse autor, valores de vazões abaixo ou acima desses intervalos afetam negativamente o desempenho dos filtros. Para valores abaixo de $10 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, existe a

possibilidade do surgimento de canais preferenciais que irão reduzir a perda de carga e diminuir a eficiência do sistema automático de retrolavagem e, no caso de vazões superiores a $17 \text{ L s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, poderá haver turbulência excessiva dentro do filtro e movimentação da camada filtrante.

Tabela 6 – Características de areias mais usadas em filtros de areia

Material	Classe N°	ϕ Efetivo mm	ϕ Poro mm	Equivalente em <i>mesh</i>	Tamanho de partículas removidas μm
Granito moído	8	1,50	0,214	70	> 160
Granito moído	11	0,79	0,111	140	> 80
Areia de sílica	16	0,66	0,094	170	> 60
Areia de sílica	20	0,46	0,066	230	> 40
Areia de sílica	30	0,27	0,039	400	> 20

Fonte: adaptado de López.; Abreu.; Hernandez (1997) e Testezlaf (2008).

Para López et al. (1997) o bom funcionamento dos filtros de areia depende de vários fatores: qualidade da água, vazão a ser filtrada (normalmente entre 50 a $70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^2$ de superfície filtrante, mas não superior a $70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$); perda de carga máxima admitida (normalmente inferior a 60 kPa); característica granulométrica da areia; diâmetro efetivo dos poros de acordo com o tamanho da partícula e ser retida; forma dos grãos (preferencialmente arredondados, que proporcionam maior microporosidade para retenção de partículas); boa friabilidade que propicia boa resistência à ação mecânica; resistência ao ataque por ácidos (a perda de carga deve ser inferior a 2%); a altura mínima de areia (40 a 50 cm), o seu diâmetro pode variar de 10 a 50 cm , e de um bom programa de manutenção e limpeza. Para se obter orientação de funcionamento devem ser instalados medidores de pressão na entrada e saída do filtro, desta forma pode-se saber o momento exato de efetuar a retrolavagem. A Figura 1 mostra o esquema do filtro de areia.

Os filtros de areia são efetivos para a retenção de materiais sólidos em suspensão, como algas, outros materiais orgânicos, areia fina e partículas de silte (DASBERG E BRESSLER, 1985). Esses filtros podem remover quantidades significativas de sólidos suspensos com diâmetro equivalente até $20 \mu\text{m}$, sendo o seu uso também recomendado para o tratamento de águas residuárias que contêm materiais orgânicos em suspensão (VERMEREIN E JOBLING, 1984).

Figura 1 – Filtro de areia

De acordo com Cabello (1996), a perda de carga quando os filtros de areia estão limpos, é da ordem de 10 a 20 kPa. Dependendo do tipo de areia de filtração e à medida que ocorre a filtração, as partículas vão acumulando-se na superfície e no meio filtrante, determinando aumento na perda de carga, cujo valor pode chegar de 40 a 60 kPa, quando se deve proceder a limpeza do filtro.

Segundo Phillips (1995) o filtro de areia pode ser muito valioso quando operado corretamente, podendo ter uma vida útil de 10 a 20 anos com manutenção normal. Entretanto, este tipo de filtro é um equipamento que requer seleção de tamanho, instalação e operação própria. É comum o uso de filtros de tela ou de discos como proteção para evitar que a areia do meio não contamine o sistema numa eventual ruptura das partes internas do filtro de areia

2.7 Filtros de tela

O filtro de tela apresenta forma cilíndrica e constitui-se de uma carcaça de plástico ou metal não corrosivo e de um cesto móvel também de plástico ou de material não corrosivo o qual é recoberto por uma tela. A Figura 2 mostra o esquema de um filtro de tela.

A tela do filtro pode ser de nylon ou de aço inoxidável e pode ser classificada quanto ao tamanho em números de aberturas por polegada linear (*mesh*), que geralmente variam, na irrigação localizada entre 50 a 200 *mesh*, (abertura dos poros variando de 0,3 a 0,074 mm), sendo que o principal objetivo do filtro de tela é reter a passagem de partículas inorgânicas suspensas, contidas na água da irrigação (CABELLO, 1996).

Quanto maior for o número de furos por polegada linear, menor será o diâmetro das partículas que passarão pelo filtro, porém seu custo será mais elevado, devido a maior dificuldade de fabricação. As malhas mais densas são mais susceptíveis ao entupimento, portanto, são sujeitas a um período menor entre operações de limpeza (CABELLO, 1996).

O material que se emprega na construção das malhas deve ser de aço inoxidável ou produtos plásticos, para evitar que sejam atacadas por substâncias corrosivas contidas principalmente nos fertilizantes.

Segundo Vermeirem e Jobling (1984), geralmente nos sistemas de irrigação localizada, os filtros de tela são instalados depois dos filtros de areia e dos sistemas injetores de fertilizantes, quando for empregada a fertirrigação, com a função de reter as partículas não dissolvidas. Os filtros de tela são mais eficientes para reter partículas sólidas de diâmetros muito pequenos, como areia fina, mas entopem rapidamente quando são usados para filtrar água com matéria orgânica, algas e partículas coloidais, pois, neste último caso, a separação das impurezas consiste em um processo de retenção superficial de partículas na tela, que se contamina muito rápido.

Figura 2 – Filtro de tela

O fator determinante para o entupimento dos filtros de tela é o diâmetro das partículas de areia fina que bloqueiam diretamente a área dos poros, enquanto que as partículas de areia grossa necessitam preencher todo o volume do elemento filtrante para que ocorra o mesmo efeito (PHILLIPS, 1993). Segundo Zeier e Hills (1987) para se obter um funcionamento adequado do

sistema de filtração necessita-se selecionar um filtro que tenha uma boa eficiência para uma dada vazão e a sua correspondente perda de carga. Ao selecionar um bom filtro de tela deve-se observar a sua capacidade de armazenamento de partículas, com objetivo de minimizar as operações de limpeza; portanto, o melhor filtro de tela será aquele que tiver maior capacidade de retenção com baixos valores de perda de carga e possuir boa operacionalidade de manutenção.

Segundo Phillips (1995) filtros de tela não são indicados para condições onde haja altas cargas de sujeira; nessas condições, sua seleção cria intensa manutenção e dificuldades operacionais. Por isso, recomenda-se o filtro de tela, apenas onde haja baixas cargas de areia, silte, pedriscos ou contaminantes inorgânicos. Para Gilbert e Ford (1986), algas presentes na água tendem a causar o entupimento da tela, podendo reduzir a capacidade de filtração. Fabricantes recomendam telas com malhas finas de 100 a 200 *mesh* (150 ou 75 μm), a grossa de 30 *mesh* (600 μm). Este tipo de filtro requer limpeza e inspeção de rotina, de modo a assegurar a operação satisfatória do sistema de irrigação localizada.

2.8 Filtros de discos

O filtro de discos apresenta forma cilíndrica e é normalmente empregado no mesmo corpo do filtro de tela, porém invertendo-se o sentido do fluxo de água conforme mostra a Figura 3. A filtragem acontece em dois estágios: a superfície externa opera como um filtro de tela e retém partículas maiores; a parte interna, que são as ranhuras, atua como filtro de areia para as partículas menores.

O elemento filtrante de discos ranhurados e elemento de disco encaixado são discos de plástico com ranhuras de ambos os lados e quando compactados sobre o núcleo telescópico estas ranhuras se cruzam para formar o elemento filtrante; o elemento de disco proporciona uma retenção eficaz de materiais orgânicos; a superfície filtrante efetiva é composta de duas superfícies como canais formados pelas ranhuras cruzadas, como mostra a Figura 4 e 5. A limpeza e montagem deste conjunto é simplificado pelo desenho especial do núcleo telescópico que permite a separação dos discos durante o processo de limpeza.

Os filtros de discos, podem reter grande quantidade de sólidos antes de saturarem. A perda de carga do filtro limpo é da ordem de 1 m a 3m, quando obstruído pode atingir valores da ordem de 4 m a 6 m, Quando a perda de carga alcançar valores desta ordem deve-se proceder a

limpeza. Tanto para filtro de discos como para o de tela a limpeza deve ser manual e consiste em abrir o corpo do filtro e limpá-lo com jato de água, sendo que para o filtro de discos há necessidade de separar os anéis para que a limpeza seja eficiente. Pode-se utilizar a retrolavagem embora este método, segundo alguns autores, não permite uma limpeza eficiente.

Figura 3 – Filtro de discos

Segundo Vermeiren e Jobling (1984), geralmente nos sistemas de irrigação localizada, os filtros de discos são instalados depois dos filtros de areia e dos sistemas injetores de fertilizantes. No entanto, estes filtros não são apropriados para a retenção de todo material orgânico (algas, fitoplânctons e zooplânctons) presentes na água de irrigação.

Figura 4 – Arranjo das ranhuras nos discos do elemento filtrante

A qualidade da filtração dependerá da espessura das ranhuras. Pode-se conseguir, segundo o número de ranhuras, até o equivalente a uma tela de 200 *mesh*. Esses filtros são muito compactos e resistentes, admitindo pressões de trabalho de até 1000 kPa e pode reter grande quantidade de sólidos antes de ficar obstruído (CABELLO, 1996).

Os filtros de discos permitem escolher o tamanho do orifício de passagem da água e determinar as dimensões dos sólidos cuja passagem pretende impedir (Tabela 7). O grau de filtração depende do número de ranhuras nos discos (entre 0,42 mm e 0,11 mm) e existem várias cores para diferenciar os discos em função do número de ranhuras (LÓPEZ et al., 1997).

Figura 5 – Discos *mesh* 120 e 155

Há semelhança entre o filtro de areia e o de discos. O filtro de discos possui volume de filtração com alta eficiência na separação de sólidos, graças ao grande número de capas filtrantes, em comparação com a capa única do filtro de tela (CABELLO, 1996). A água é filtrada ao passar pelos pequenos dutos formados pelas ranhuras entre dois discos consecutivos e a filtração acontece em dois estágios: a superfície externa opera como um filtro de tela e retém as partículas maiores. As ranhuras no interior dos discos permitem a adesão das partículas mais finas, principalmente matéria orgânica. A área total do elemento filtrante e o tamanho dos orifícios determinam a eficiência e a capacidade operacional do sistema (LÓPEZ et al., 1997).

Tabela 7 – Cores dos discos em função do número de ranhuras

Cor	<i>Mesh</i> Nº	Micron µm	Diâmetro mm	Ranhuras Nº
Azul	50	300	0,420	170
Vermelho	120	130	0,177	340
Amarelo	155	100	0,125	490
Preto	200	80	0,105	660

Fonte: López et al. (1997)

2.9 Modelos matemáticos de filtração

O modelo matemático de um processo de filtração refere-se a uma equação de balanço de massa, onde procura traduzir a concentração de matéria em suspensão em função do tempo de concentração do leito filtrante. O processo de filtração é realizado através de um volume de um meio filtrante, onde ocorrem as interações químicas e físicas do meio com o elemento filtro.

Outro mecanismo de filtração é aquele que ocorre nos filtros de tela e discos, onde o processo de filtração é baseado no princípio de que os poros do meio filtrante são menores do que a partícula a ser filtrada. Compreende-se que nesse sistema de filtração é esperado um processo de entupimento do próprio filtro ao longo do tempo, ocasionando variação de pressão e vazão na rede hidráulica.

Para essa situação, Boucher (1947) propôs um modelo, que levou seu nome, em que descreve as perdas de pressão que ocorrem no sistema como uma função do volume filtrado, descrito da seguinte forma: $H = H_0 e^{IV}$, sendo H a perda de pressão que ocorre no sistema $|L|$, H_0 é a perda de pressão localizada devido a estrutura do filtro (determinada a partir da utilização de água limpa), o termo “ e ” corresponde à base de logaritmos neperianos, o termo I corresponde a um índice de filtração em função da qualidade do material suspenso, e o termo “ V ” corresponde ao volume de água filtrado $|L^3|$.

A equação proposta por Boucher reflete as condições hidráulicas do sistema, não dispensando atenção para as prováveis interações e modificações que podem ocorrer no material contaminante ao longo do tempo. Neste aspecto Adin e Alon (1986), fizeram cuidadosamente simulações em campo e manipulando parâmetros como concentração de sólidos suspensos, velocidade de filtração, vazão, diâmetro do *mesh*, verificaram que o modelo de Boucher é válido somente para início do processo de filtração, pois foi observado que ao longo do tempo, o índice de filtração I aumenta, com o aumento da concentração de sólidos suspensos, e diminui com o tamanho do poro. Embora a maioria das partículas tivessem sido menores, dentro de uma ordem de magnitude, que o menor diâmetro do *mesh* da tela, verificou-se que mesmo assim ocorreu entupimento do filtro, indicando que o fenômeno de entupimento é um resultado de mecanismos de ponte e de cimentação das partículas. Verificou-se também que o tempo decorrido até o completo entupimento é função da concentração de sólidos suspensos na água, velocidade de filtração e do diâmetro do *mesh* de tela.

Oliveira (2005) fez um estudo para determinar a variação da perda de carga em filtros de tela e de discos empregados na irrigação localizada, utilizando água limpa, verificou-se que em ambos os casos, a perda de carga em decorrência da vazão para os filtros de tela e de discos pode ser descrita matematicamente pelo método alométrico linear do tipo $H_f = \beta_0 Q^{\beta_1} \varepsilon$, sendo H_f a perda de carga no filtro $|L|$, Q a vazão que escoar através do filtro $|L^3|$, β_0 constante que expressa a perda de carga para vazão unitária $|L|$, β_1 constante característica do regime de fluxo, adimensional e ε erro aleatório. Esse modelo potencial apresenta a tendência do modelo proposto por Boucher. Entretanto o autor comenta que a comparação entre os filtros só é possível devido a não variação nos parâmetros de qualidade de água entre os testes. Os filtros de tela proporcionaram menor perda de carga que os filtros de discos, e a filtração da água em filtros de discos apresenta maior custo anual total.

2.10 Perda de carga

O termo perda de carga é usado como sendo parte da energia potencial, de pressão e de velocidade que é transformada em outros tipos de energia dissipada no processo, tal como calor. Assim a irreversibilidade do processo é causada pela energia dissipada para o meio exterior e é normalmente expressa em termos de perda de carga.

De acordo com o teorema de Bernoulli, um fluido real escoando em condutos forçados e livres sempre terá perda de carga ou energia, denominada perda de carga distribuída ou contínua. Os agentes causadores dessa perda de carga são os atritos internos, que representam uma consequência da viscosidade do fluido, e aquele decorrente do contato entre o fluido e as paredes dos condutos.

Além da perda de carga distribuída, a perda de carga total de um sistema envolve também a perda de carga localizada que ocorre em válvulas, registros, conexões, curvas, peças especiais, como filtro de tela e discos etc. Essa perda de carga localizada tem como causa a turbulência do fluido, gerada por essas peças especiais colocadas ao longo da tubulação sempre necessárias para qualquer controle.

2.10.1 Perda de carga localizada

Sempre que singularidades intercaladas em um trecho de tubulação, com curvas, expansões ou contrações, por exemplo, causarem uma variação da velocidade, tanto em direção como em grandeza, haverá uma perda de carga. Tal perda é denominada de singular, acidental ou localizada, uma vez que o elemento causador de perturbação ocupa um pequeno comprimento em relação ao da tubulação (MILLER, 1984).

2.10.2 Estudos sobre perdas de carga localizada em filtros

A eficiência do sistema de irrigação está relacionada à qualidade dos seus componentes e ao correto dimensionamento hidráulico do sistema, principalmente no que se refere aos cálculos de perda de carga. O processo de perda de carga localizada em conexões e peças especiais é bastante complexo, envolvendo variáveis como a sua geometria e o processo de fabricação, o regime de escoamento e a presença de correntes secundárias, entre outras (CABELLO, 1996).

Diversas relações matemáticas têm sido produzidas e utilizadas nos cálculos de perda de carga em tubulações, com maiores ou menores restrições de seu coeficiente por parte dos profissionais da área. No caso de peças especiais, como filtro de disco, cujas perdas de cargas são denominadas de localizadas, o uso de equações gerais torna-se mais difícil, em virtude de suas próprias características e de fenômenos observados em seu interior quando da passagem do líquido.

A determinação da perda de carga, devido à instalação deste componente no cabeçal de controle, assume um papel importante no que se refere ao dimensionamento hidráulico do sistema. Neste aspecto, duas informações são relativamente importantes: a perda de carga provocada pela instalação do filtro e pela passagem do fluxo de água através do elemento filtrante no processo de filtragem. Enquanto a primeira informação permite um melhor dimensionamento do cabeçal de controle, a segunda possibilita um cálculo mais rigoroso da pressão no início da linha de derivação (OLIVEIRA, 2005).

Testezlaf e Ramos (1995) afirmam que a perda de carga em decorrência da vazão para filtros de tela e de discos pode ser descrita matematicamente pelo modelo alométrico liner do tipo $H_f = \beta_0 Q^{\beta_1}$. Verificou que o filtro de discos apresentou valores de perda de carga superior ao

filtro de tela, tanto com *mesh* 120 quanto com *mesh* 155. Por outro lado, o elemento filtrante com *mesh* 155 provocou perda de carga superior ao *mesh* 120 em filtro de discos, enquanto em filtro de tela, a diferença do valor da perda de carga entre os números de *mesh* não foi significativa.

Matsura; Testezlaf e Almeida Neto (1989), avaliando a perda de carga em filtros de areia e de tela observaram que a variação da altura de areia afeta a perda de carga nos filtros de areia e de tela individualmente, mas não causa variação significativa na perda de carga total. Verificaram ainda que a perda de carga nos filtros de tela foi sempre maior do que nos filtros de areia com a variação da vazão. As curvas indicam que a perda de carga no filtro de areia tem crescimento linear, enquanto a do filtro de tela exponencial, comprovando uma baixa eficiência de remoção de resíduos ao longo do tempo para os filtros de areia. Os mesmos autores afirmam que a intersecção das curvas de perda de carga dos filtros de areia e de tela representa o ponto a partir do qual a eficiência do filtro de areia é nula. Portanto este ponto pode ser recomendado como referência no uso da retrolavagem dos filtros.

Matsura et al. (1989) compararam a perda de carga para três alturas de camada filtrante para a condição de filtro limpo, concluindo que os valores de perda de carga total dos filtros se mantiveram praticamente constantes para baixos valores de vazão, e o filtro com camada de 0,40m, a maior avaliada, apresentou valores 20% superiores à camada de 0,29 m e 40% para a camada de 0,19 m, para valor de vazão de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o maior ensaiado.

Trussel e Chang (1999) apresentaram o desenvolvimento de um modelo de simulação para escoamento em meios porosos com ênfase em perdas de carga em elementos filtrantes limpos aplicados em filtros de água. Os autores aplicaram modelos empíricos existentes sobre a teoria hidrodinâmica no desenvolvimento de um modelo na forma da equação de Forchheimer, derivando um modelo não-linear para estimar o valor de perda de carga, a partir de características do meio filtrante e do filtro utilizado (equação 3)

$$\frac{\Delta H}{\Delta L} = \alpha_F V + \beta_F V^2 \quad (3)$$

sendo:

ΔH – perda de carga no meio filtrante, L;

ΔL – altura da camada filtrante, L;

V – velocidade superficial, L T^{-1} ;

α_F – coeficiente de permeabilidade associado a componente linear de perda de carga;

β_F – coeficiente de permeabilidade associado a componente não-linear de perda de carga.

Testezlaf e Matsura (2005) aplicaram o modelo proposto por Trussel e Chang (1999) nos dados experimentais de pesquisa desenvolvida por Matsura et al. (1989), buscando validar o modelo na determinação da perda de carga correspondente à camada filtrante com diferentes alturas para filtros de areia, e concluíram que há necessidade da ampliação do estudo para a validação do modelo e de desenvolvimento de um novo modelo de simulação para a determinação da perda de carga que inclua o efeito dos elementos hidráulicos dos filtros de areia, como a forma e a posição do sistema defletor para a entrada de água no filtro e do sistema coletor na saída. Puig-Bargués et al. (2005) desenvolveram equações de perda de carga para filtros de tela, discos e areia, utilizando a metodologia de análise dimensional, e encontraram ajuste satisfatório entre as equações e os dados experimentais.

Oliveira (2005) afirmou que a perda de carga para filtros de tela e discos, pode ser descrita matematicamente pelo modelo alométrico linear do tipo $H_f = \beta_0 Q^{\beta_1}$. São modelos de equações que apresentam altos coeficientes de ajuste que possibilitam a determinação da perda de carga localizada numa situação mais próxima da realidade de campo, ou seja, com os filtros em funcionamento. O mesmo autor estudando as características hidráulicas dos filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada ajustou as seguintes equações para a perda de carga localizada.

$$\text{Filtro de tela } \frac{3}{4} \text{ polegada: } H_f = 0,6591 Q^{1,9875} \quad (4)$$

$$\text{Filtro de tela 1 polegada: } H_f = 0,1078 Q^{1,9810} \quad (5)$$

$$\text{Filtro de tela 1 } \frac{1}{2} \text{ polegada: } H_f = 0,0143 Q^{2,0191} \quad (6)$$

$$\text{Filtro de tela 2 polegadas: } H_f = 0,0058 Q^{1,9214} \quad (7)$$

$$\text{Filtro de discos 1 polegada: } H_f = 0,1610 Q^{1,9384} \quad (8)$$

$$\text{Filtro de discos 1 } \frac{1}{2} \text{ polegada: } H_f = 0,0255 Q^{1,9047} \quad (9)$$

$$\text{Filtro de discos 2 polegadas: } H_f = 0,0062 Q^{1,9407} \quad (10)$$

sendo:

H_f – perda de carga no filtro, m;

Q – vazão que escoar através do filtro, $m^3 h^{-1}$.

Airolid (2005) estudando a eficiência da remoção de sólidos em suspensão em diferentes tipos de manta sintética não-tecida, além de elemento de tela e discos, afirmou que as perdas de

carga desenvolvidas no filtro contendo manta sintética não-tecida superaram aquelas perdas desenvolvidas nos filtros de tela e discos. A evolução da perda de carga nas mantas sintéticas não-tecidas foi mais rápida que nos elementos de tela e discos, devido principalmente ao maior acúmulo de resíduos em sua superfície, decorrência direta de sua maior eficiência. Como resultado, as mantas sintéticas não-tecidas tiveram desempenho superior, ou seja 27 a 29% da remoção de sólidos suspensos, enquanto os elementos de tela e discos apresentaram apenas 19 a 20%. De acordo com Wilkinson (1986), os diâmetros das fibras de mantas sintéticas não-tecidas estão entre 2 e 100 microns e são apropriadas para remoção de partículas presentes na água com diâmetro entre 1 e 100 microns.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, campus de Piracicaba – SP. O experimento foi conduzido em duas etapas: na primeira fez-se a caracterização hidráulica dos filtros, determinando-se as perdas de carga em função da vazão circulante, em filtros de discos, utilizando água limpa e, na segunda, foi analisado o desempenho do processo de filtração da água com três concentrações de argila e silte, doravante denominadas concentração baixa, média e alta.

3.1 Caracterização hidráulica dos filtros

Nesta etapa foram utilizados filtros de discos 1 polegada, *mesh* 120 e 155, fabricados pela AMIAD, e para cada modelo de filtro foram analisadas quatro unidades. Para determinação da perda de carga em laboratório foram utilizados tubos de PVC com diâmetro de 1 polegada, medidor de vazão magnético indutivo, com precisão de 1%, manômetro diferencial com coluna de mercúrio e registro de gaveta. O sistema foi constituído de uma bomba centrífuga KSB com vazão de $35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, potência de 10 cv e altura manométrica de 33 m, sendo que a água utilizada era proveniente de um reservatório com capacidade de 30 m^3 , conforme o esquema experimental mostrado na Figura 6. A perda de carga nos filtros, registrada pelo manômetro diferencial, foi obtida para um conjunto de 39 valores de vazão, sendo que a vazão máxima utilizada no ensaio para cada modelo de filtro foi de $6,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, conforme as características apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Característica de fabricação dos filtros utilizados no experimento

Modelo	<i>Mesh</i> Nº	Vazão máxima recomendada $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	Vazão máxima utilizada $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	Diâmetro de entrada /saída mm	Perda de carga especificada, m
Discos 1 polegada	120	7	6	25	2,472
Discos 1 polegada	155	7	6	25	2,912

Fonte: adaptado de AMIAD (2005)

Figura 6 – Esquema da bancada experimental

3.2 Filtração em filtros de discos *mesh* 120 e 155

A bancada foi composta de uma tubulação principal de 1,0 polegada de diâmetro, onde foram instalado os filtros de discos *mesh* 120 e 155 para serem avaliados. Com auxílio das equações ajustadas para a perda de carga nos filtros, definiram-se duas vazões para realizar os ensaios de filtração: (a) vazão denominada ideal, correspondente à recomendada pelo fabricante, e (b) metade da vazão ideal. A solução com silte e argila foi bombeada para os filtros através de uma bomba centrífuga KSB, cuja potência do motor é de 4,0 cv e capacidade de vazão de $16 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A solução foi armazenada em três reservatórios de 4.829,3 litros, com as seguintes proporções previstas de argila mais silte: 1,0; 1,5 e 2,0 g L^{-1} , sendo 61,50% argila, 33,85% silte e 4,65% de matéria orgânica e outros.

Nos tanques contendo solução foram adaptados dois agitadores hidráulicos, com a função de manter a homogeneidade da solução (argila e silte) em suspensão, sendo que o primeiro agitador foi constituído de uma bomba DRAYNER com saída de 2 polegadas, submersa em um dos tanques, com vazão de $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e altura manométrica de 60 m. O segundo agitador constituiu-se de uma bomba KSB com saída de 1 polegada, motor elétrico de 1,0 cv, vazão de $11 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e altura manométrica de 23 m, atuando sobre dois tanques (Figura 7).

Figura 7 – Esquema da bancada experimental para o processo de filtração

Foram instaladas tomadas de coleta em pontos anterior (afluente) e posterior (efluente) ao filtro, para coleta de amostras de solução em suspensão, para análise da concentração de sólidos suspensos na entrada e na saída dos filtros, com a finalidade de avaliar a quantidade de material retido. Um hidrômetro marca ACTARIS com capacidade máxima de $6,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ foi instalado na tubulação principal para medir o volume acumulado de solução filtrada. Para determinação da perda de carga em laboratório foi utilizado um medidor de vazão magnético indutivo, com precisão de 1% e manômetro diferencial com coluna de mercúrio (1000 – 0 – 1000) cm Hg e registros de gaveta, de acordo com a Figura 7.

Durante o processo experimental de filtração foram monitorados os seguintes parâmetros:

- Vazão – mantida constante para os filtros de discos 1 polegada *mesh* 120 e 155, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$;
- Tempo – monitorado por um cronômetro, a cada 4 minutos, por um período máximo de 240 minutos;
- Pressão de entrada do filtro – monitorada através do um medidor de pressão, kPa;
- Perda de carga – monitorada continuamente através do manômetro diferencial instalado na entrada e na saída do filtro, m;
- Volume acumulado – monitorado por um hidrômetro e um medidor de vazão, em $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ e

Material sólido em suspensão: a concentração de sólidos em suspensão do afluente foi fixada em valores expressos (Tabela 9) e controlada pela análise da concentração de sólidos suspensos, g L^{-1} . O efluente foi controlado pela análise da concentração de sólidos suspensos, g L^{-1} .

3.3 Programação dos ensaios no processo de filtração

Foram realizadas 1464 coletas de solução para determinação das concentrações de sólidos em suspensão nos ensaios do processo de filtração, sendo 732 coletas para as concentrações de entrada e 732 para a saída, ao longo de toda a investigação experimental, para cada modelo de filtro (*mesh* 120 e 155), conseguindo-se as seguintes proporções de sólidos em suspensão na entrada do filtro de 1 polegada, *mesh* 120 para a vazão média de $4,03 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$: 0,812, 1,474 e $1,819 \text{ g L}^{-1}$. Para a vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ foram obtidas as seguintes concentrações médias: 0,893, 1,559, e $1,946 \text{ g L}^{-1}$. Para o filtro de discos 1 polegada *mesh* 155 com vazão média de entrada de $3,64 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ as concentrações médias de entrada foram as seguintes: 0,837, 1,489 e $2,024 \text{ g L}^{-1}$. Já para a vazão média de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ as concentrações de entrada foram: 0,841, 1,496 e $1,951 \text{ g L}^{-1}$.

Tabela 9 - Programação dos ensaios

Filtro	Mesh	Vazão $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	Concentração	Média $\text{SS}_{(\text{ent.})}$ g L^{-1}	Média $\text{SS}_{(\text{saída})}$ g L^{-1}	Repet. Nº	Tempo de coleta min.	Nº Coleta		Volume filtrado m^3	Pressão do sistema kPa
								Ent	Saída		
Amiad 1 polegada	120	4,04	Baixa	0,812	0,811	2	4	122	122	16,15	377
	120	2,00		0,893	0,890					8,00	381
	155	3,70		0,837	0,836					14,80	378
	155	1,82		0,841	0,837					7,28	381
	120	4,00	Média	1,474	1,472	2	4	122	122	16,00	378
	120	2,00		1,559	1,554					8,00	384
	155	3,61		1,489	1,481					5,05	384
	155	1,83		1,496	1,488					7,31	384
	120	4,06	Alta	1,819	1,814	2	4	122	122	16,25	385
	120	2,00		1,946	1,935					8,00	380
	155	3,62		2,024	2,009					4,10	380
	155	1,82		1,951	1,938					7,29	379
Soma								1464	1464		

As amostras dos sólidos em suspensão na entrada e na saída dos dois modelos de filtros testados foram coletadas continuamente a cada 4 minutos, por um período de 240 minutos de funcionamento do sistema de filtração, mantendo-se constante o sistema com as respectivas vazões. O material foi colhido em recipientes fechados (garrafas plásticas) com capacidade de 2 litros sendo coletado um volume de aproximadamente 1500 ml, perfazendo um total coletado de 61 amostras de solução de entrada e 61 amostras na saída, com duas repetições, conforme foi mostrado na Tabela 9.

3.4 Análise da solução

Após a coleta de 1500 ml do afluente e do efluente, as amostras foram transferidas para o laboratório para realizar o manuseio das mesmas. As amostras coletadas foram agitadas para dispersar os sólidos e com auxílio de duas buretas calibradas, com capacidade total de 100 ml, a solução foi transferida para os cadinhos com capacidade de 125 ml, devidamente pesados (vazio) na balança com precisão (0,0001 g). Em seguida as amostras foram transferidas para a estufa a 105° C por 24 horas para obtenção da massa seca (g). Após esse tempo as amostras foram retiradas e depois de resfriadas, pesadas para obter o valor do material sólido (silte e argila) retido durante o processo de filtração, pela diferença entre as concentrações de entrada e saída do filtro. E através desses resultados determinou-se a massa retida acumulada durante o processo de filtração e por meio da equação (11) foi calculada a porcentagem de material sólido retido nos filtros.

$$\%M_{\text{ret.acum.}} = \left\{ 100 \times \left(1 - \frac{SS(\text{saída do filtro})}{SS(\text{ent.do filtro})} \right) \right\}$$

(11)

sendo:

$\%M_{\text{ret.acum.}}$ – porcentagem de material sólido retido, %;

$SS_{(\text{entrada do filtro})}$ – sólidos suspensos na entrada do filtro, g L⁻¹;

$SS_{(\text{saída do filtro})}$ – Sólidos suspensos na saída do filtro, g L⁻¹.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perda de carga nos filtros limpos

Os testes iniciaram com o estudo do comportamento hidráulico dos filtros de discos 1 polegada, *mesh* 120 e 155, determinando-se a perda de carga em função da vazão circulante, utilizando água limpa.

Com os valores experimentais da perda de carga em função da vazão, procedeu-se o ajuste de curvas procurando o modelo que melhor explicasse o fenômeno físico e que demonstrasse um valor significativo de correlação entre as variáveis.

Este procedimento demonstrou que o modelo matemático potencial descreve adequadamente a variação da perda de carga em função da vazão para os filtros. As equações ajustadas foram as seguintes, para os filtros limpos (equações 12 e 13).

$$\text{Filtro de discos 1 polegada } mesh \text{ 120} \quad H_f = 0,1077 Q^{1,961} \quad R^2 = 0,9993 \quad (12)$$

$$\text{Filtro de discos 1 polegada } mesh \text{ 155} \quad H_f = 0,1494 Q^{1,857} \quad R^2 = 0,9998 \quad (13)$$

4.2 Resultados do processo de filtração para filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120

4.2.1 Para vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,812 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 são apresentados os resultados dos ensaios, realizados com o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120, para vazão média contínua de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com concentração baixa ($0,812 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão média na entrada do filtro de 377 kPa. Por um período de 240 minutos passou pelo filtro um volume acumulado de $16,15 \text{ m}^3$ de solução, com massa total de 13.123 g de material em suspensão (argila e silte).

Na Figura 8 apresenta-se o processo de filtração em função do tempo. Verifica-se que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $0,838 \text{ g L}^{-1}$ (60 minutos de filtração), e a mínima $0,787 \text{ g L}^{-1}$ (96 minutos de filtração). Na saída do filtro a concentração

Figura 8 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, $\text{mesh } 120$, $Q_{(\text{média})} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $\text{SS} = 0,812 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(\text{média na entrada do filtro})} = 377 \text{ kPa}$

Figura 9 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para o filtro de discos 1 polegada, $\text{mesh } 120$, $Q_{(\text{média})} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $\text{SS} = 0,812 \text{ g L}^{-1}$

máxima de sólidos suspensos foi $0,829 \text{ g L}^{-1}$ (52 minutos de filtração) e a mínima de $0,785 \text{ g L}^{-1}$, (4 minutos de filtração) que proporcionou uma concentração média de entrada de $0,812 \text{ g L}^{-1}$, e saída de $0,811 \text{ g L}^{-1}$. Nos tempos 40, 48, 52, 64, 72, 80, 92, 96, 104, 108, 116, 120, 128, 132, 136, 144, 152, 164, 168, 176, 184, 188, 196, 200, 204, 212, 216, 220, 224, 228, 232 e 236 minutos, a concentração de sólidos suspensos na saída do filtro foi superior à concentração de entrada. Atribui-se a este fato a liberação intermitente de partículas sólidas retidas no elemento filtrante ao longo do tempo.

A porcentagem de material sólido retido em função do tempo variou de -1,51 a 2,04%, conforme apresentado na Figura 9. O valor negativo significa liberação de material retido pelo filtro. O valor médio da porcentagem de material sólido retido durante o ensaio (240 minutos) foi 0,11%. O melhor desempenho do filtro aconteceu nos primeiros 20 minutos de funcionamento (2,04% de retenção), sendo que nos tempos 8 e 12 minutos ocorreu liberação de 0,22% de material sólido retido, após esse período (20 minutos), ocorreu alternância dos valores da porcentagem de material sólido retido. Essas oscilações resultaram na inexistência de acúmulo de partículas no elemento filtrante, porquanto não acarretou aumento na porcentagem do material sólido suspenso retido. Isto ocorreu devido às pequenas dimensões das partículas do material sólido suspenso (argila e silte) em relação às dimensões da secção de passagem dos anéis de filtração.

Na Figura 10 apresenta-se a perda de carga no filtro em função do tempo. Observa-se que a amplitude entre o valor inicial de 1,644 m e o final de 2,094 m não ultrapassou os limites propostos por Cabello (1996) e López et al. (1997), para definição do momento de limpeza: quando o filtro está limpo a perda de carga é de 1 m a 3 m e obstruído pode atingir valores da ordem de 4 m a 6 m, quando se recomenda a limpeza do elemento filtrante. Observa-se então que a perda de carga não ultrapassou o limite máximo aceitável, sendo dispensável a limpeza do elemento filtrante durante os 240 minutos de funcionamento.

A massa retida acumulada em função do tempo está representada na Figura 11. Denota-se que a máxima massa retida ocorreu aos 92 minutos (33,03 g), sendo que nos tempos de 44, 48, 52, 72, 96, 100, 108, 120, 132, 136, 144, 164, 168, 172, 180, 184, 188, 200, 204, 216, 220, 224, 228, 232, 236 e 240 minutos houve liberação de 36,11 g do material sólido suspenso, e a massa retida acumulada final foi 14,64 gramas, que corresponde a uma taxa de remoção de material sólido de 0,11%, em 13.123 g de material sólidos em suspensão (argila e silte). Durante os 240

Figura 10 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{\text{(média)}} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,812 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

Figura 11 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{\text{(média)}} = 4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,812 \text{ g L}^{-1}$

minutos de filtração passou pelo filtro um volume de 16,15 m³.

4.2.2 Para vazão de 2,00 m³ h⁻¹ e concentração baixa (0,893 g L⁻¹) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Para o filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, com concentração baixa (0,893 g L⁻¹) de sólidos suspensos na entrada do filtro, vazão média continua de 2,00 m³ h⁻¹, e pressão média na entrada do filtro de 381 kPa, os resultados dos ensaios do processo de filtração são apresentados nas Figuras 12, 13, 14 e 15. Por um período de 240 minutos passou pelo filtro um volume de 8,00 m³ de solução com 7.141 g de massa total de sólidos em suspensão (argila e silte).

O processo de filtração em função do tempo é representado na Figura 12. A concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi 0,969 g L⁻¹ (24 minutos de filtração) e a mínima foi 0,853 g L⁻¹ (128 minutos de filtração). Na saída do filtro a concentração máxima de sólidos suspensos foi 0,962 g L⁻¹ (24 minutos de filtração) e a mínima foi 0,861 g L⁻¹ (232 minutos de filtração) que propiciou uma concentração média de entrada de 0,893 g L⁻¹ e de saída 0,890 g L⁻¹. Nos tempos de funcionamento de 48, 52, 72, 76, 80, 84, 108, 112, 116, 124, 128, 136, 140, 148, 160, 164, 168, 172, 176, 178, 196, 200, 208, 220, 224 e 228 minutos, a concentração de sólidos suspensos na saída do filtro foi superior à concentração de entrada, devido à liberação de partículas retidas nas ranhuras dos anéis nos tempos anteriores.

A porcentagem de material sólido suspenso em função do tempo é representada na Figura 13. Observou-se uma variação de -0,96 a 1,76%, e, novamente, os valores negativos representam liberação de material retido pelo filtro. O melhor desempenho do elemento filtrante aconteceu do início do processo de filtração até o tempo de 24 minutos (1,00%), aos 16 minutos ocorreu redução da porcentagem de material retido (0,08%). Após este período ocorreram oscilações dos valores da porcentagem de remoção dos sólidos suspensos, indicando que houve retenção e liberação de partículas pelo elemento filtrante. O valor médio da porcentagem de material sólido retido durante 240 minutos de ensaio foi 0,28%.

Na Figura 14 observa-se que os valores da perda de carga no filtro em função do tempo foram sempre inferiores ao limite de 1 a 3 m proposto por Cabello (1996) e López et al. (1997) para caracterizar um filtro sem necessidade de efetuar a limpeza. O processo de filtração iniciou

Figura 12 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{\text{(média)}} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $\text{SS} = 0,893 \text{ g L}^{-1}$, $P_{\text{(média na entrada do filtro)}} = 381 \text{ kPa}$

Figura 13 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{\text{(média)}} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $\text{SS} = 0,893 \text{ g L}^{-1}$

Figura 14 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,893 \text{ m}^3 \text{ L}^{-1}$

Figura 15 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,893 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

com 0,454 m e finalizou com 0,580 m de perda de carga, indicando que durante todo esse processo o elemento filtrante permaneceu limpo. Estes valores de perda de carga foram inferiores àqueles do filtro de discos analisados anteriormente, devido à menor vazão média utilizada durante os 240 minutos do processo de filtração ($2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$).

A Figura 15 representa a massa retida acumulada em função do tempo, onde se observa que o melhor desempenho de retenção da massa (23,4 g) ocorreu aos 132 minutos (0,58% de retenção) e a concentração de sólidos suspensos na saída do filtro foi superior àquela obtida na entrada, liberando 12,57 g nos seguintes tempos 52, 76, 80, 84, 112, 116, 128, 140, 148, 152, 164, 168, 172, 176, 180, 196, 200, 208, 212, 224, 228 e 232 minutos, restando ao final do processo de filtração 20,52 g, comprovando assim 0,28% de retenção de sólidos em 7.141 g de massa em suspensão (argila e silte) em volume filtrado de $8,00 \text{ m}^3$.

4.2.3 Filtração com vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de $0,812 \text{ g L}^{-1}$) versus vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,893 \text{ g L}^{-1}$)

Para o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120, comparando-se a vazão média de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração média de entrada $0,812 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $16,15 \text{ m}^3$ de solução contendo uma massa total de 13.123 g de material em suspensão), com a vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração média de entrada $0,893 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $8,00 \text{ m}^3$ de solução e 7.141 gramas de massa total de sólidos em suspensão), observou-se 40,16% de aumento no material retido acumulado para a vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (14,64 g e 20,52 g, respectivamente). Assim, o melhor desempenho é atribuído ao filtro de discos *mesh* 120 com a vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, durante os 240 minutos de filtração. Atribui-se a este fato a menor velocidade de passagem da solução no interior do filtro, facilitando o depósito e retenção de partículas de maior tamanho nas ranhuras do elemento filtrante. Isto também pode estar associado ao aumento de 9,98% na concentração do material sólido em suspensão na entrada do filtro ($0,812 \text{ g L}^{-1}$ para a vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $0,893 \text{ g L}^{-1}$ para a vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Observa-se que os valores da perda de carga nos filtros foram sempre inferiores ao limite de 3 m proposto por Cabello (1996) Lopez et al. (1997), conforme apresentado nas Figuras 10 e 14, portanto sendo dispensável a limpeza dos filtros.

4.2.4 Para vazão de $4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,474 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 16, 17, 18 e 19 são mostrados os resultados dos ensaios realizados com o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120, com vazão média contínua de $4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, concentração média ($1,474 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão média na entrada do filtro de 378 kPa. Durante os 240 minutos do processo de filtração passou pelo filtro um volume acumulado de $16,00 \text{ m}^3$ com a massa total de 23.579 g de material em suspensão (argila e silte).

O processo de filtração em função do tempo está representado na Figura 16. Observa-se no gráfico que a concentração máxima de sólidos suspensos de entrada no filtro $1,528 \text{ g L}^{-1}$ (68 minutos de filtração) e a mínima $1,414 \text{ g L}^{-1}$ (216 minutos de filtração). Na saída do filtro a concentração máxima de sólidos suspensos foi $1,523 \text{ g L}^{-1}$ (72 minutos de filtração) e a mínima de $1,412 \text{ g L}^{-1}$, (228 minutos de filtração), resultando concentração média de entrada de $1,474 \text{ g L}^{-1}$ e concentração média de saída $1,473 \text{ g L}^{-1}$. Nos tempos de funcionamento 8, 16, 64, 72, 80, 84, 88, 92, 96, 104, 116, 124, 128, 132, 136, 140, 168, 184, 192, 196, 208, 212, 216, 220, 228, 232 e 236 minutos as concentrações de sólidos na saída foram superiores às de entrada no filtro, em consequência da liberação de material sólido retido pelo elemento filtrante durante o processo de filtração.

A Figura 17 representa a porcentagem de material sólido retido em função do tempo, podendo-se observar que durante o processo de filtração ocorreu variação de -0,69 a 0,96%, sendo que os valores negativos representam liberação do material retido pelo elemento filtrante. O melhor desempenho do filtro aconteceu entre 28 e 56 minutos de funcionamento (0,56% de retenção). Antes e após esse intervalo de tempo ocorreram oscilações dos valores da porcentagem de material sólido retido. Essas oscilações se justificam pela retenção e liberação do material sólido acumulado. Decorridos 240 minutos do processo de filtração, restaram apenas 0,14% de todo o material sólido retido pelo filtro.

A perda de carga em função do tempo é representada na Figura 18. Os valores da perda de carga no filtro ficaram entre o limite de 1 a 3 m recomendado por Cabello (1996) e Keller e Bliesner (1990), indicando que durante os 240 minutos do processo de filtração o filtro permaneceu limpo, pois a perda de carga iniciou com 1,764 m e finalizou com 2,794 m.

Figura 16 – Processo de filtração em função do tempo, para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 378 \text{ kPa}$

Figura 17 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ g L}^{-1}$

Figura 18 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,474 \text{ g L}^{-1}$

Figura 19 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS 1,474 \text{ g L}^{-1}$

A Figura 19 representa a variação da massa retida acumulada em função do tempo. Embora se observasse pequenos valores de massa retida acumulada, verificou-se que do início do processo de filtração até o tempo de 80 minutos ocorreu o melhor desempenho de retenção de material (40,64 g ou 0,52%). Durante o processo de filtração verificou-se alternância dos valores de retenção de massa acumulada, ocorrendo liberação de 30,67 g do material sólido retido nos tempos 64, 84, 88, 92, 96, 100, 104, 108, 120, 124, 128, 132, 136, 140, 144, 168, 172, 192, 196, 208, 212, 216, 220, 232 e 236 minutos, finalizando-se o processo de filtração com 32,76 g de massa retida acumulada durante os 240 minutos de funcionamento.

4.2.5 Para vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,559 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

As Figuras 20, 21, 22 e 23 mostram os resultados do ensaio para o filtro de discos *mesh* 120, porém com vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, concentração média de sólidos suspensos na entrada do filtro ($1,559 \text{ g L}^{-1}$) e pressão média na entrada do filtro de 384 kPa. Durante os 240 minutos do processo de filtração passou pelo filtro um volume de $8,00 \text{ m}^3$ de solução com massa total de sólidos em suspensão de 12.477 g (argila e silte).

Observa-se na Figura 20 que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $1,608 \text{ g L}^{-1}$ (36 minutos de filtração) e a concentração mínima na entrada foi $1,492 \text{ g L}^{-1}$ (208 minutos de filtração). Na saída do filtro a concentração máxima de sólidos suspensos foi $1,607 \text{ g L}^{-1}$ (36 minutos) e a mínima $1,496 \text{ g L}^{-1}$ (204 minutos), sendo que a concentração média na entrada foi $1,559 \text{ g L}^{-1}$ e na saída $1,554 \text{ g L}^{-1}$. Para os tempo de 32, 56, 64, 80, 84, 88, 92, 132, 136, 144, 148, 196, 200, 208, 216, 228 e 232 minutos as concentrações de sólidos na saída foram maiores que as concentrações de sólidos de entrada, devido a liberação de material retido pelo elemento filtrante.

Para representar a porcentagem de material retido em função do tempo construiu-se a Figura 21. Considerando-se a porcentagem de material retido para um tempo de 240 minutos, observa-se que a mínima porcentagem foi -0,89% e a máxima 1,67%. O melhor desempenho ocorreu nos primeiros 16 minutos do processo de filtração, retendo 7,43 g (0,86% de retenção média), após esse período ocorreu oscilação da porcentagem de material retido justificando a

Figura 20 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 384 \text{ kPa}$

Figura 21 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$

Figura 22 – Perda de carga em função da vazão para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ g L}^{-1}$

Figura 23 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,559 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

retenção e liberação do material sólido retido. O valor médio da porcentagem de material sólido retido durante o processo foi 0,33%.

A partir dos dados da Figura 22 pode-se avaliar a perda de carga em função do tempo, verificando-se que a perda de carga inicial foi 0,494 m e a final 0,977 m, indicando valores inferiores aos propostos por Cabello (1996) e Keller e Bliesner (1990) para filtro limpo.

A Figura 23 apresenta os valores da massa retida em função do tempo. Observou-se que nos tempos 32, 36, 56, 60, 64, 68, 80, 84, 88, 92, 96, 132, 136, 148, 200, 204, 208, 212, 216, 220, 232 e 236 minutos ocorreu liberação de 10,76 g do material sólido suspenso pelo elemento filtrante. Durante os 240 minutos de funcionamento do processo de filtração a retenção máxima aconteceu no tempo de 228 minutos, com retenção de 40,12 gramas e finalizando o processo de filtração com 41,14 gramas. Esse valor representa 0,33% de remoção de material sólido retido, passando pelo filtro a massa total de 12.477 gramas de sólidos em suspensão (argila e silte).

4.2.6 Filtração com vazão de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,474 \text{ g L}^{-1}$) versus vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,559 \text{ g L}^{-1}$)

Comparando-se o processo de filtração com vazão de $4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração média de entrada $1,474 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $16,00 \text{ m}^3$ de solução contendo uma massa total de 13.123 g de material suspenso), com a utilização da vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração média de entrada $1,559 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $8,00 \text{ m}^3$ de solução e 12.477 g de sólidos em suspensão), observa-se nas Figuras 16, 17, 19, 20, 21 e 23 que durante o processo de filtração o filtro de *mesh* 120 com vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ teve melhor desempenho, com uma taxa de remoção da ordem de 25,58% superior àquela obtida com vazão de $4,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (41,14 g e 32,76 g). Em relação à menor concentração média de entrada analisada anteriormente, $0,825 \text{ g L}^{-1}$ $[(0,812+0,893)/2]$, esperava-se que na maior concentração média de entrada de $1,517 \text{ g L}^{-1}$ $[(1,474+1,559)/2]$ ocorresse uma maior retenção, entretanto isto não aconteceu. Isto indica que as dimensões das partículas sólidas (silte e argila) são inferiores às dimensões das ranhuras dos elementos filtrantes do filtro de discos *mesh* 120.

Pelos baixos valores de perda de carga apresentados, verificou que ao término dos 240 minutos de funcionamento em ambas as concentrações de entrada, o filtro permaneceu limpo, de

acordo com o critério proposto por Cabello (1996) e Keller e Bliesner (1990), o que pode ser verificado nas Figuras 18 e 22.

4.2.7 Para vazão de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração alta ($1,819 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 24, 25, 26 e 27 mostram-se os resultados dos ensaios realizados com o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120, para uma vazão média contínua de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, utilizou alta concentração ($1,819 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão média na entrada do filtro de 385 kPa. Por um período de 240 minutos, passou pelo filtro um volume acumulado de $16,25 \text{ m}^3$ de solução contendo uma massa total de 29.546 g de material em suspensão (argila e silte)

A Figura 24 mostra o resultado do processo de filtração em função do tempo, onde são comparadas as concentrações de sólidos suspensos na entrada e na saída do filtro de discos. Observa-se que nos tempos 52, 56, 72, 84, 88, 92, 104, 108, 116, 120, 128, 144, 148, 152, 156, 168, 172, 176 e 180 minutos, a concentração na saída do filtro foi superior à concentração de entrada, indicando que nestes tempos ocorreu liberação de partículas sólidas retidas pelo elemento filtrante. Durante os 240 minutos do processo de filtração a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $1,902 \text{ g}$ (8 minutos de filtração) e a mínima de $1,761 \text{ g}$ (196 minutos de filtração). A concentração máxima de saída foi $1,881 \text{ g}$ (12 e 28 minutos de filtração) e a mínima de $1,754 \text{ g}$ (192 minutos de filtração), resultando em uma concentração média de entrada de $1,819 \text{ g L}^{-1}$ e de saída $1,814 \text{ g L}^{-1}$.

A Figura 25 apresenta os valores experimentais da porcentagem de material retido em função do tempo. O valor médio da porcentagem de sólidos retidos durante o ensaio (240 minutos) foi 0,23% e a variação da porcentagem de material retido foi de -0,67% a 1,17%. Nesta concentração de entrada, com vazão de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o melhor desempenho do filtro aconteceu nos primeiros oito minutos de funcionamento (1,17% de retenção). Após esse período ocorreu alternância dos valores, havendo uma pequena recuperação da porcentagem de material retido a partir do tempo 192 minutos (0,84% de remoção) até o término do processo de filtração de 240 minutos com 0,87% de remoção, resultando em uma porcentagem média de retenção de 0,23%. Este valor de retenção, como os demais encontrados anteriormente, indica que o filtro de disco de

Figura 24 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 385 \text{ kPa}$

Figura 25 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada *mesh* 120
 $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$

Figura 26 – Perda de carga em função do tempo par filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
 $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$

Figura 27 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$,
 $SS = 1,819 \text{ g L}^{-1}$

mesh 120 1 polegada não apresenta eficiência para filtração de silte e argila.

Na Figura 26 mostra-se que a perda de carga ocorrida no filtro foi estável; iniciou-se com 1,651 m e finalizou-se com 2,186 m após 240 minutos de filtração. Nestas condições, infere-se que o filtro permaneceu limpo.

A Figura 27 refere-se à massa retida acumulada em função do tempo. Observando-se esta figura denota que ocorreu liberação de 29,22 g do material sólido (argila e silte) nos tempos 52, 56, 60, 88, 92, 96, 108, 120, 124, 128, 132, 148, 152, 156, 172, 176, 180 e 184 minutos. O filtro apresentou melhor desempenho de retenção acumulada desde o início do processo de filtração até os 84 minutos, retendo 46,02 g. Após esse período ocorreram oscilações da quantidade de material sólido retido devido à liberação deste material. A partir dos 188 minutos até o final da filtração retomou-se o processo de retenção de material sólido em suspensão até o final dos 240 minutos, ficando retidos 69,51 g de material sólido, justificando assim a porcentagem média de material retido de 0,23% sobre a massa total de 29.546 gramas de material em suspensão (argila e silte).

4.2.8 Para vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração alta ($1,946 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

As Figuras 28, 29, 30 e 31 referem-se aos ensaios do filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120, com vazão média contínua de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com alta concentração de sólidos suspensos na entrada do filtro ($1,946 \text{ g L}^{-1}$), para um período de filtração de 240 minutos e pressão média na entrada do filtro de 380 kPa. Durante este período entrou no filtro um volume de $8,00 \text{ m}^3$ de solução contendo uma massa total de sólidos em suspensão de 15.576 g.

A Figura 28 mostra o processo de filtração em função do tempo em que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $2,046 \text{ g L}^{-1}$ (4 minutos de filtração), e a mínima de $1,875 \text{ g L}^{-1}$ (140 minutos de filtração). A concentração máxima de saída do filtro foi $2,035 \text{ g L}^{-1}$ (8 minutos de filtração) e a mínima foi $1,847 \text{ g L}^{-1}$ (164 minutos de filtração), resultando em uma concentração média na entrada de $1,946 \text{ g L}^{-1}$ e na saída $1,935 \text{ g L}^{-1}$. O acúmulo de partículas sólidas no elemento filtrante propiciou nos tempos de 80, 116, 120, 124, 144, 188, 212 e 216 minutos um aumento na concentração de sólidos na saída do filtro, isso

Figura 28 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{\text{(média)}} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$, $P_{\text{(média na entrada do filtro)}} = 380 \text{ kPa}$

Figura 29 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos, 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{\text{(média)}} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$

Figura 30 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos, 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$

Figura 31 – Massa retida acumulada retida em função do tempo para filtro de discos, 1 polegada, *mesh* 120, $Q_{(média)} = 2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,946 \text{ g L}^{-1}$

ocorreu devido á liberação de material pelo elemento filtrante.

A porcentagem de material sólido retido em função do tempo é representada na Figura 29. Ocorreu uma variação de -0,79 a 1,19% da porcentagem de material sólido retido, sendo que os valores negativos da porcentagem significam liberação de material retido pelo filtro, no entanto a porcentagem média de retenção nos 240 minutos de funcionamento foi apenas 0,54%. Percebe-se que durante todo o processo de filtração a porcentagem de material sólido retido em função do tempo apresentou oscilações, demonstrando os períodos de retenção e liberação do material sólido pelo elemento filtrante.

A Figura 30 representa a perda de carga em função do tempo, onde se verifica que a perda de carga durante ensaio variou de 0,428 a 0,592 m. Portanto, o filtro permaneceu limpo durante os 240 minutos de funcionamento e todos os valores de perda de carga foram inferiores ao limite de 1 a 3 m.

A massa retida acumulada em função do tempo é representada na Figura 31, onde se constatou que nos tempo 80, 84, 88, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 144, 148, 192, 216 e 220 minutos ocorreu a liberação de 10,32 g do material sólido suspenso, resultando ao final do processo de filtração um acúmulo de 85,19 g (remoção média de 0,54%).

4.2.9 Filtração com vazão de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,819 \text{ g L}^{-1}$) versus vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $1,946 \text{ g L}^{-1}$)

Comparando-se a vazão de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração média de entrada $1,819 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $16,25 \text{ m}^3$ de solução contendo uma massa total de sólidos em suspensão de 29.546 g) com a vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração média de entrada $1,946 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $8,00 \text{ m}^3$ de solução e 15.576 g de sólidos em suspensão), observou-se que quando foi utilizada a vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ houve um melhor desempenho do elemento filtrante, justificando assim um aumento de 22,56% na massa retida. Deve-se considerar também que a concentração média de entrada para a vazão de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ é 6,98% superior a do filtro com vazão de $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Os ensaios revelaram baixíssima porcentagem de material retido para ambos os filtros com respectivas vazões. Verificou-se que mesmo com o aumento da concentração média de entrada não houve indicação de necessidade de limpeza do filtro durante os 240 minutos.

Com base nos resultados observados, pode-se afirmar que para as condições analisadas, o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 120, com vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, em qualquer concentração de sólidos suspensos na entrada, apresentou taxas de remoção superiores às aquelas encontradas quando se utilizou vazões entre $4,00$ e $4,06 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Conforme se observa na Tabela 10, nas baixas concentrações de sólidos suspensos na entrada do filtro ($0,812 \text{ g L}^{-1}$ e $0,893 \text{ g L}^{-1}$), ao se reduzir a vazão pela metade aumentou-se a retenção de material sólido em 40,16%. Para médias concentrações na entrada ($1,474 \text{ g L}^{-1}$ e $1,559 \text{ g L}^{-1}$) a redução da vazão pela metade resultou aumento da retenção em 25,58%. Já para altas concentrações de entrada ($1,819 \text{ g L}^{-1}$ e $1,946 \text{ g L}^{-1}$) o aumento da retenção de sólidos pelo elemento filtrante foi 22,56%. Observa-se também que à medida que se aumentou a concentração de sólidos suspensos na entrada do filtro, a redução da vazão de passagem pelo filtro foi menos efetiva para o aumento da taxa de remoção.

Tabela 10 – Resultados finais do processo de filtração

Filtro	<i>Mesh</i>	Tempo min	Vazão $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	Concentração	Média SS (ent.) g L^{-1}	Média SS (saída) g L^{-1}	Média Mat. sol. retido %	hf m	Massa acum. g	Massa total filtrada g	Volume filtrado m^3
Amiad 1 polegada	120	240	4,04	Baixa	0,812	0,811	0,11	Limp	14,64	13.123	16,15
	120	240	2,00		0,893	0,890	0,28	Limp	20,52	7.141	8,00
	155	240	3,70		0,837	0,836	0,16	Obstr.	20,46	12.390	14,80
	155	240	1,82		0,841	0,837	0,42	Limp	25,81	6.118	7,28
	120	240	4,00	Média	1,474	1,472	0,14	Limp	32,76	23.579	16,00
	120	240	2,00		1,559	1,554	0,33	Limp	41,14	12.477	8,00
	155	84	3,61		1,489	1,481	0,56	Obstr.	42,11	7.522	5,05
	155	240	1,83		1,496	1,488	0,51	Limp	55,70	10.933	7,31
	120	240	4,06	Alta	1,819	1,814	0,23	Limp	69,51	29.546	16,25
	120	240	2,00		1,946	1,935	0,54	Limp	85,19	15.576	8,00
	155	68	3,62		2,024	2,009	0,72	Obstr.	60,25	8.301	4,10
	155	240	1,82		1,951	1,938	0,69	Obstr.	97,88	4.217	7,29

4.3 Resultados do processo de filtração para o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 155

4.3.1 Para vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,837 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 32, 33, 34 e 35 são apresentados os resultados dos ensaios realizados com o filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, com vazão média contínua de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com concentração baixa ($0,837 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão média na entrada do filtro de 378 kPa. Por um período de 240 minutos passou pelo filtro um volume acumulado de $14,80 \text{ m}^3$ de solução com 12.390 g de massa total de sólidos em suspensão (argila e silte)

A Figura 32 mostra o processo de filtração em função do tempo. Observa-se que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $0,903 \text{ g L}^{-1}$ (no tempo inicial de 0 minuto) e a mínima $0,792 \text{ g L}^{-1}$ (aos 220 minutos). Na saída do filtro a concentração máxima de sólidos suspensos foi $0,903 \text{ g L}^{-1}$ (no tempo inicial de 0 minuto) e a mínima de $0,795 \text{ g L}^{-1}$ (aos 240 minutos). A concentração média na entrada do filtro ao longo do processo de filtração foi $0,837 \text{ g L}^{-1}$ e na saída $0,836 \text{ g L}^{-1}$. Nos tempos de 12, 68, 76, 80, 84, 92, 96, 100, 104, 124, 132, 136, 140, 156, 160, 176, 192, 204, 208, 212, 216, 220, 224, 228 e 232 minutos, a concentração de sólidos suspensos na saída do filtro foi superior à concentração de entrada, devido ao acúmulo de partículas retidas nas ranhuras dos anéis que foram liberadas pelo elemento filtrante.

A porcentagem de material sólido retido em função do tempo está representada na Figura 33. Observou-se variação de -1,63 a 1,50% da porcentagem de material sólido retido, sendo que os valores negativos significam liberação de material sólido retido pelo filtro. Durante os 240 minutos do ensaio do processo de filtração ocorreu alternância dos valores da porcentagem de material sólido retido, justificando assim a retenção e liberação do material sólido retido pelo elemento filtrante durante o processo de filtração, restando no final do processo apenas 0,16% de todo o material sólido filtrado.

Na Figura 34 apresenta a perda de carga em função do tempo. O processo de filtração iniciou com perda de carga no valor de 2,003 m e finalizou com 7,031m, após 240 minutos.

Figura 32 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 378 \text{ kPa}$

Figura 33 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$

Figura 34 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{\text{(média)}} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$

Figura 35 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{\text{(média)}} = 3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,837 \text{ g L}^{-1}$

Observa-se que a perda de carga ultrapassou o limite máximo aceitável da ordem de 4 a 6 m para filtro obstruído, proposto por Cabello (1996) e López et al. (1997), sendo recomendado a limpeza do elemento filtrante no tempo de funcionamento de 92 minutos quando indicou obstrução, com valor de 4,045 m de perda de carga. Entretanto, se considerar o valor máximo aceitável proposto acima, deve-se efetuar a limpeza do elemento filtrante no tempo de 184 minutos, quando a perda de carga foi 6,035 m.

A massa retida acumulada em função do tempo está representada na Figura 35. Nota-se que a máxima massa retida (3,89 g) ocorreu aos 200 minutos (0,30% de retenção do material sólido suspenso filtrado), mas o melhor desempenho do processo de filtração em relação a porcentagem de massa retida foi nos primeiros 64 minutos (28,12 g), com porcentagem média de retenção na ordem de 0,83% neste período. Após esse tempo ocorreu alternância dos valores da massa retida acumulada, demonstrando que nos tempos 68, 72, 76, 80, 84, 96, 100, 104, 124, 128, 132, 136, 140, 160, 192, 204, 208, 212, 216, 220, 224, 228, e 232 minutos houve liberação de 36,33 g do material sólido suspenso pelo elemento filtrante. Este processo resultou em uma massa retida acumulada de 20,46 g, correspondendo a uma taxa de remoção de material sólido de 0,16% nos 240 minutos do processo de filtração, tendo entrado no filtro 12.390 g de massa total de sólidos em suspensão (argila e silte).

Embora a filtração de material sólido em suspensão tenha sido muito pequena, observou-se valores de perda de carga superiores ao máximo permitido para início do processo de limpeza. Isso ocorreu porque as ranhuras dos discos do elemento filtrante têm dimensões suficientemente pequenas (diâmetros de entrada de 0,442 mm e de saída de 0,291 mm) para serem obstruídas com pequeno acúmulo de material sólido (argila e silte).

4.3.2 Para vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração baixa ($0,841 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 36, 37, 38 e 39, mostram-se os resultados dos ensaios com o filtro de discos de 1 polegada, *mesh* 155, para vazão média contínua de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, concentração baixa de sólidos suspensos na entrada do filtro ($0,841 \text{ g L}^{-1}$) e pressão média na entrada do filtro de 381 kPa. No período de 240 minutos de filtração entrou no filtro um volume de $7,28 \text{ m}^3$ de solução e 6.118 g de massa total de sólidos em suspensão (argila e silte).

Figura 36 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 381 \text{ kPa}$

Figura 37 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$

Figura 38 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$

Figura 39 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 0,841 \text{ g L}^{-1}$

A Figura 36 corresponde ao processo de filtração em função do tempo. Observa-se que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $0,887 \text{ g L}^{-1}$ (no início do processo), e a mínima $0,819 \text{ g L}^{-1}$ (200 e 232 minutos), resultando uma concentração média de $0,841 \text{ g L}^{-1}$ ao final dos 240 minutos. Neste período a concentração média de saída foi $0,837 \text{ g L}^{-1}$. Nos tempos 84, 88, 96, 108, 112, 132, 136, 140, 176, 200, 216, 220, 232 e 240 minutos as concentrações de sólidos suspensos na saída do filtro foram superiores às da entrada, denotando a liberação de material retido no filtro.

Em qualquer intervalo de tempo, a porcentagem de material sólido retido foi inferior a 0,98%, conforme se observa na Figura 37. Durante os 240 minutos de funcionamento, o melhor desempenho do filtro ocorreu nos primeiros 24 minutos do processo de filtração em relação a porcentagem de material retido, atingindo um percentual médio de 0,58% de retenção. Após esse período, ocorreram oscilações dos valores da porcentagem de material retido. Essas oscilações resultaram uma porcentagem média de retenção 0,42%, até o final do processo.

Na Figura 38 são mostrados os valores da perda de carga em função do tempo. Observa-se que a perda de carga durante os 240 minutos do processo ficou no limite de 1 a 3 m, representativo filtro limpo conforme Cabello (1996) e López et al. (1997). No ensaio a perda de carga iniciou com um valor de 0,536 m e finalizou com 1,134 m.

São apresentados na Figura 39 os valores da massa retida acumulada em função do tempo, para o período de funcionamento de 240 minutos do processo de filtração. Nos primeiros 80 minutos a retenção foi contínua (13,16 g) e isso representou 0,65% de material retido sobre um volume filtrado de $2,41 \text{ m}^3$, com uma concentração média de sólidos suspensos na entrada do filtro de $0,841 \text{ g L}^{-1}$. Nos tempos 84, 88, 108, 112, 136, 140, 176, 180, 216, 220, 224 e 232 minutos ocorreu liberação de 3,28 g de material sólido das ranhuras do elemento filtrante, resultando na massa retida acumulada final de 25,81 gramas. Estes valores indicam uma taxa de material sólido de 0,42%, em 6.118 g de massa total de sólidos em suspensão (argila e silte) em um volume filtrado de $7,28 \text{ m}^3$.

4.3.3 Filtração com vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,837 \text{ g L}^{-1}$) versus vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração $0,841 \text{ g L}^{-1}$)

Comparando a vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de entrada $0,837 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $14,80 \text{ m}^3$ de solução contendo uma massa total de sólidos em suspensão de 12.390 g) com a vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (concentração de entrada $0,841 \text{ g L}^{-1}$ e volume filtrado de $7,28 \text{ m}^3$ de solução e 6.118 gramas de sólidos em suspensão), verifica-se nas Figuras 32, 33, 35, 36, 37 e 39 o filtro de discos 1 polegada *mesh* 155 com vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ apresentou melhor desempenho, com uma taxa de remoção da ordem de $26,15\%$, superior à obtida com vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ($20,46 \text{ g}$ e $25,81 \text{ g}$). Atribui-se a este fato a menor velocidade de filtração na menor vazão. As concentrações de entrada, quando comparadas, apresentaram uma diferença de apenas $0,48\%$ ($0,837$ e $0,841 \text{ g L}^{-1}$) não justificando a maior quantidade de material retido na menor vazão durante os 240 minutos do processo de filtração.

Comparando-se as perdas de carga apresentadas nas Figuras 34 e 38, observa-se que para a vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração de sólidos em suspensão na entrada de $0,837 \text{ g L}^{-1}$, do início do processo de filtração até o tempo de 48 minutos, o filtro permaneceu limpo, apresentando perda de carga entre 1 e 3 m. Entre os tempos de 48 e 92 minutos a perda de carga ficou na faixa intermediária de 3 a 4 m, e a partir deste momento até o término dos 240 minutos de filtração, o elemento filtrante apresentou obstrução, com perdas de carga variando de $4,045 \text{ m}$ a $7,031 \text{ m}$.

Para a vazão de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração de sólidos em suspensão na entrada de $0,841 \text{ g L}^{-1}$ observou-se que durante os 240 minutos do processo de filtração, a perda de carga no filtro foi inferior a 3 m ($0,536 \text{ m}$ e $1,134 \text{ m}$), indicando que o filtro permaneceu limpo, de acordo com o critério proposto por Cabello (1996) e Keller e Bliesner (1990) (Figura 38). Verifica-se que para a vazão de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração de sólidos em suspensão na entrada de $0,837 \text{ g L}^{-1}$, o filtro de discos *mesh* 155 apresentou obstrução, embora se tenha observado pequena porcentagem de material sólido retido ($0,47\%$). Esse fato ocorreu provavelmente devido ao “mecanismo de ponte” e de cimentação das partículas nas ranhuras do elemento filtrante.

4.3.4 Para vazão de $3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração média ($1,489 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

As Figuras 40, 41, 42 e 43 mostram os resultados dos ensaios realizados com o filtro de discos 1 polegada *mesh* 155, com vazão contínua de $3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, concentração de $1,489 \text{ g L}^{-1}$ de sólidos suspensos na entrada do filtro e com pressão média na entrada de 384 kPa. O processo de filtração durou 84 minutos, quando foi atingido o limite máximo de leitura do manômetro diferencial (1000 – 0 – 1000) cm Hg. Durante esse período passou pelo filtro um volume acumulado de $5,05 \text{ m}^3$ de solução tendo entrado a massa de 7.522 g de material sólido em suspensão (argila e silte).

O processo de filtração em função do tempo está representado na Figura 40. A concentração máxima de sólidos em suspensão na entrada do filtro foi de $1,519 \text{ g L}^{-1}$ (aos 20 minutos), e a mínima foi de $1,461 \text{ g L}^{-1}$ (aos 80 minutos). Na saída do filtro a concentração máxima foi $1,513 \text{ g L}^{-1}$ (no tempo inicial de 0 minuto), e a mínima foi $1,452 \text{ g L}^{-1}$ (aos 76 minutos). Nos tempos de 36, 40, 52 e 56 minutos, as concentrações de sólidos na saída foram superiores as concentrações de entrada, mostrando a liberação de material sólido (argila e silte) que estava retido nas ranhuras do elemento filtrante. Observa-se que a duração deste processo foi de 84 minutos, evidenciando o entupimento do elemento filtrante, com perda de carga de 20,494 m para a vazão de $3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

A porcentagem de material sólido retido em função do tempo foi inferior a 1,29%, conforme é mostrado na Figura 41. Os valores negativos significam liberação de material sólido retido pelo filtro. Observa-se que durante todo o processo de filtração o melhor desempenho do filtro ocorreu nos primeiros 8 minutos do processo de filtração, apresentando a porcentagem de retenção de 1,29% ($0,12 \text{ m}^3$ de solução com 180,22 g de massa de sólidos). Após esse período, ocorreu variação da porcentagem de material sólido retido, evidenciando a retenção e a liberação de partículas sólidas. A porcentagem média de retenção durante os 84 minutos foi 0,56%.

Na Figura 42 representa-se a perda de carga em função do tempo. Durante o período de 84 minutos de filtração a perda de carga iniciou com 2,066 m e terminou com 20,494 m. Verifica-se que a perda de carga ultrapassou o limite recomendado de 4 m a 6 m para filtro obstruído, conforme proposto por Cabello (1996); López et al. (1997) e Keller e Bliesner (1990). Neste

Figura 40 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 384 \text{ kPa}$

Figura 41 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$

Figura 42 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$

Figura 43 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,489 \text{ g L}^{-1}$

caso, recomenda-se a limpeza do filtro entre os tempos de operação de 12 e 20 minutos, quando se atingem os valores de 4 a 6 m de perda de carga.

Os resultados relativos à massa retida acumulada em função do tempo estão representados na Figura 43. Observa-se que durante os 84 minutos de filtração obteve-se um total de massa retida acumulada de 42,11 g, sendo que somente nos tempos de 40 e 56 minutos ocorreu liberação de material sólido acumulado nas ranhuras (1,37 g), resultando 0,56% de material sólido retido pelo filtro, em relação a 7.522 g de material sólido em suspensão (volume filtrado de 5,05 m³).

4.3.5 Para vazão de 1,83 m³ h⁻¹ e concentração média (1,496 g L⁻¹) de sólidos suspensos na entrada do filtro

São mostrados nas Figuras 44, 45, 46 e 47 os resultados dos ensaios para os filtros de discos 1 polegada, *mesh* 155. O processo de filtração ocorreu num período de 240 minutos, sendo utilizada vazão contínua de 1,83 m³ h⁻¹, com concentração média (1,496 g L⁻¹) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão na entrada do filtro de 384 kPa. Filtrou o volume de 7,31 m³ de solução, com massa total de 10.933 g de material em suspensão (argila e silte).

O processo de filtração em função do tempo está representado na Figura 44. Constatou-se que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi 1,530 g L⁻¹ (aos 4 minutos de filtração) e a concentração mínima na entrada foi 1,452 g L⁻¹ (aos 224 minutos de filtração). Na saída do filtro a concentração máxima de sólidos suspensos foi 1,525 g L⁻¹ (no início do processo) e a mínima 1,446 g L⁻¹ (aos 204 minutos), sendo que a concentração média na entrada foi 1,496 g L⁻¹ e na saída 1,488 g L⁻¹. Para os tempos de 64, 68, 72, 80, 84, 88, 92, 108, 124, 128, 168, 188 e 228 minutos as concentrações de sólidos na saída foram maiores que as concentrações de sólidos de entrada, devido à liberação de material sólido do elemento filtrante.

Observa-se na Figura 45 que a porcentagem de material sólido retido em função do tempo foi inferior 1,62%. O melhor desempenho do filtro ocorreu do início do processo de filtração até o tempo de 12 minutos, tendo passado pelo filtro neste período um volume de 0,09 m³ (massa de 140,02 g de material em suspensão), tendo ocorrido 0,80% de retenção (1,12 g de material sólido). Após esse período, ocorreu alternância das porcentagens de material sólido retido em

Figura 44 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,496 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 384 \text{ kPa}$

Figura 45 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,496 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 384 \text{ kPa}$

Figura 46 – Perda de carga em função tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,496 \text{ g L}^{-1}$

Figura 47 – Massa retida acumulada em função tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,83 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,496 \text{ g L}^{-1}$

suspensão, indicando retenção e liberação do material. Os valores negativos apresentados significam que ocorreu liberação do material sólido pelo elemento filtrante. Decorridos os 240 minutos do processo de filtração, obteve-se a média de 0,51% de material sólido retido.

A Figura 46 mostra os resultados da perda de carga em função do tempo. A perda de carga durante o processo de filtração iniciou com 0,517 m (no tempo inicial) e finalizou com 3,141 m (aos 240 minutos). Verifica-se que durante os primeiros 56 minutos de funcionamento todos os valores de perda de carga foram inferiores aos limites de 1 a 3 m. Após o período de 56 minutos até o final do processo de filtração (aos 240 minutos), os valores de perda de carga ficaram praticamente entre os limites de 1 a 3 m, propostos por Keller e Bliesner (1990), que consideram que o filtro está limpo, sendo dispensável a limpeza do elemento filtrante.

Na Figura 47 pode-se observar a massa retida acumulada em função do tempo. Nos tempos de 72, 76, 84, 88, 92, 128 e 132 minutos foram liberados 4,32 g do material sólido retido pelo elemento filtrante. A massa retida acumulada foi 55,70 g no final dos 240 minutos, comprovando assim a remoção de 0,51% em 10.933 g de material sólido em suspensão na solução (volume de solução de 7,31 m³).

4.3.6 Filtração com vazão de 3,61 m³ h⁻¹ (concentração de 1,489 g L⁻¹) versus vazão de 1,83 m³ h⁻¹ (concentração de 1,496 g L⁻¹)

Comparando-se a vazão de 3,61 m³ h⁻¹ (concentração de entrada de 1,489 g L⁻¹ e volume filtrado de 5,05 m³ de solução contendo uma massa total de sólidos em suspensão de 7.522 g, num tempo de 84 minutos de filtração) com a vazão de 1,83 m³ h⁻¹ (concentração de entrada de 1,496 g L⁻¹ e volume filtrado de 7,31 m³ de solução e 10.933 g de sólidos em suspensão durante 240 minutos de filtração), verificou-se, num tempo de 84 minutos, ocorreu melhor desempenho do filtro com a vazão de 3,61 m³ h⁻¹ (0,56% de retenção). Utilizando a vazão de 1,83 m³ h⁻¹ a porcentagem de retenção foi 0,32%. Na maior vazão ocorreu necessidade de limpeza do filtro aos 20 minutos de filtração. Para a menor não houve necessidade de limpeza do filtro durante os 240 minutos. Deve-se considerar que nestes casos os volumes filtrados foram diferentes: na maior vazão foi 5,05 m³ enquanto na menor vazão foi 2,57 m³. Isto proporcionou maior quantidade de material retido (42,11 g em 84 minutos) com a maior vazão.

4.3.7 Para vazão de $3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e concentração alta ($2,024 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 48, 49, 50 e 51 são apresentados os resultados dos ensaios realizados com filtros de discos de 1 polegada, *mesh* 155, com concentração alta ($2,024 \text{ g L}^{-1}$) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão na entrada do filtro de 380 kPa. O processo de filtração teve duração de 68 minutos, quando atingiu o limite máximo de leitura no manômetro diferencial. Filtrou durante esse período o volume de $4,10 \text{ m}^3$ contendo massa total de 8.301 g de material sólido suspenso.

Analizando o processo de filtração em função do tempo (Figura 48), observa-se que a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi $2,032 \text{ g L}^{-1}$ (aos 44 minutos) e a mínima $2,010 \text{ g L}^{-1}$ (aos 28 minutos). A concentração máxima de saída do filtro foi $2,047 \text{ g L}^{-1}$ (aos 56 minutos) e a mínima de $1,992 \text{ g L}^{-1}$ (aos 28 minutos), resultando em uma concentração média na entrada do filtro de $2,024 \text{ g L}^{-1}$ e na saída de $2,009 \text{ g L}^{-1}$. No tempo de 56 minutos a concentração de saída foi superior a concentração de entrada, indicando que neste intervalo de filtração ocorreu liberação do material sólido retido no elemento filtrante.

A porcentagem de material sólido retido em função de tempo foi inferior a 1,12 %, sendo que os valores negativos significam liberação de material sólido retido pelo filtro, conforme se apresenta na Figura 49. O melhor desempenho de retenção de material sólido ocorreu do início do processo até o tempo de 24 minutos (1,12%), sendo que ocorreram 0,05% de liberação de material sólido pelo elemento filtrante no tempo de 12 minutos (a retenção reduziu de 0,77% para 0,72%). O valor médio da porcentagem de material sólido retido durante 68 minutos de ensaio foi 0,72%. Durante todo o período de filtração passou pelo filtro o volume de $4,10 \text{ m}^3$ que contém 8.301 g de massa sólida em suspensão.

A Figura 50 representa a perda de carga em função do tempo. Os ensaios de filtração foram de 68 minutos e, neste tempo, observou-se que a perda de carga ultrapassou os valores da ordem de 4 a 6 m propostos por Cabello (1996), López et al. (1997) e Keller e Bliesner (1990), recomendando a limpeza do elemento filtrante no tempo de 20 minutos do processo, pois o filtro encontrava-se obstruído, apresentando valores de perda de carga de 6,10 m.

A Figura 51 refere-se à massa retida acumulada em função do tempo. Observa-se que o filtro apresentou desempenho contínuo de retenção de material sólido até o tempo de 52 minutos

Figura 48 – Processo de filtração em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 2,024 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 380 \text{ kPa}$

Figura 49 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ $SS = 2,024 \text{ g L}^{-1}$

Figura 50 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, mesh155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
 SS = 2,024 g L⁻¹

Figura 51 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada mesh155, $Q_{(média)} = 3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$,
 SS = 2,024 g L⁻¹

de filtração, retendo 55,05 g. Nos tempos de 56 e 60 minutos ocorreu liberação de material sólido pelo elemento filtrante (2,45 g). No final do período de filtração (68 minutos) a massa acumulada de material sólido foi 60,25 g, indicando uma porcentagem média de material retido de 0,72% sobre a massa total de material em suspensão (8.301 g) para o volume filtrado de 4,10 m³.

4.3.8 Para vazão de 1,82 m³ h⁻¹ e concentração alta (1,951 g L⁻¹) de sólidos suspensos na entrada do filtro

Nas Figuras 52, 53, 54 e 55 são apresentados os resultados do ensaio para os filtros de discos *mesh* 155, porém com vazão de 1,82 m³ h⁻¹, concentração alta (1,951 g L⁻¹) de sólidos suspensos na entrada do filtro e pressão média na entrada do filtro de 379 kPa. Durante os 240 minutos do processo de filtração passou pelo filtro um volume de 7,29 m³ de solução contendo uma massa de 14.217 g de sólidos em suspensão.

A Figura 52 apresenta os resultados do processo de filtração em função do tempo, comparando-se as concentrações de sólidos suspensos na entrada e na saída dos filtros de discos. Nos tempos 60, 64, 80, 100, 112, 144, 148, 164, 168, 192, e 196 minutos, a concentração de saída foi superior à de entrada, mostrando a ocorrência de liberação de partículas sólidas que estavam acumuladas nos anéis e parede do elemento filtrante. Aos 240 minutos dos ensaios de filtração a concentração máxima de sólidos suspensos na entrada do filtro foi 2,019 g (aos 40 minutos de filtração) e a mínima de 1,899 g (aos 224 minutos de filtração). A concentração máxima de saída foi 2,001 g (no tempo inicial) e a mínima de 1,872 g (aos 212 minutos de filtração), resultando em uma concentração média na entrada de 1,951 g L⁻¹ e na saída de 1,938 g L⁻¹.

A porcentagem de material sólido suspenso em função do tempo é representada na Figura 53. Ocorreu uma variação de -0,39 a 1,21%, e, novamente, os valores negativos representam liberação de material retido pelo filtro. O melhor desempenho ocorreu do início do processo de filtração até o tempo de 40 minutos (0,96%), sendo que nos tempos de 20 e 28 minutos ocorreu redução da porcentagem de material retido (0,09 e 0,10%). Após este período ocorreu a alternância dos valores da porcentagem de remoção dos sólidos suspensos. Essas oscilações justificam-se pelo acúmulo e liberação de partículas no elemento filtrante. O valor médio da porcentagem de material sólido retido foi 0,69% e durante os 240 minutos de ensaio filtrou um volume de 7,29 m³ com 14.217 g de massa sólida em suspensão.

Figura 52 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,951 \text{ g L}^{-1}$, $P_{(média \text{ na entrada do filtro})} = 379 \text{ kPa}$

Figura 53 – Porcentagem de material sólido retido em função do tempo para filtro de discos, *mesh* 155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $SS = 1,951 \text{ g L}^{-1}$

Figura 54 – Perda de carga em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, mesh155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ SS = 1,951 g L⁻¹

Figura 55 – Massa retida acumulada em função do tempo para filtro de discos 1 polegada, mesh155, $Q_{(média)} = 1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ SS = 1,951 g L⁻¹

A Figura 54 mostra a variação da perda de carga em função do tempo. Durante o período de filtração de 240 minutos, a perda de carga variou de 0,647 a 5,947 m. Observa-se que até os 128 minutos a perda de carga atingiu 3,062 m, indicando que o filtro permaneceu limpo, em concordância com Cabello (1996) e López et al. (1997). No intervalo de 128 a 168 minutos o filtro ficou em uma situação intermediária, com valores de perda carga entre 3,062 e 4,057 m e, finalmente, no intervalo de tempo entre 168 e 240 minutos, a perda de carga atingiu valores da ordem de 4 a 6 m, comprovando a obstrução do filtro e definindo o momento de limpeza do elemento filtrante aos 240 minutos.

Apresenta-se na Figura 55 a massa retida acumulada em função do tempo, para o período de filtração de 240 minutos. Observa-se que a massa retida acumulada no final do processo de filtração foi 97,88 g, e nos tempos de 64, 84, 100, 112, 148 168, 196 e 200 minutos ocorreu liberação de 2,90 g do material sólido. Isto resultou em uma taxa de remoção de material sólido de 0,69%, em 14.217 g de massa total de sólidos em suspensão (volume filtrado de 7,29 m³).

4.3.9 Filtração com vazão 3,62 m³ h⁻¹ (concentração de 2,024 g L⁻¹) versus vazão 1,82 m³ h⁻¹ (concentração de 1,951 g L⁻¹)

Verifica-se nas Figuras 48, 49, 51, 52, 53 e 55 que na comparação do processo de filtração com tempo de duração de 68 minutos, o filtro de discos de 1 polegada *mesh* 155 com vazão de 3,62 m³ h⁻¹ apresentou melhor desempenho, com uma taxa de remoção da ordem de 112,4% superior á obtida com vazão de 1,82 m³ h⁻¹ (60,25 g e 28,37g). Atribui-se a esse fato à quantidade de material sólido suspenso, ao tempo de duração do processo de filtração e ao diâmetro do *mesh*. As concentrações médias de entrada quando comparadas apresentaram uma diferença de 3,74% (2,024 e 1,951 g L⁻¹), não representando, contudo, uma diferença expressiva.

Considerando os limites propostos por Cabello (1990); Keller e Bliesner (1990); López, Abreu et al. (1997), para definição do momento de limpeza (quando a perda de carga atinge valores da ordem de 4 m a 6 m), verifica-se que, para a vazão de 3,62 m³ h⁻¹ e concentração de sólidos suspensos de 2,024 g L⁻¹, o filtro deveria sofrer limpeza aos 20 minutos (Figuras 50 e 54), quando apresentou perda de carga de 6,098m. Ao se utilizar vazão de 1,82 m³ h⁻¹ com concentração de 1,951 g L⁻¹, a limpeza deveria ocorrer no final do processo de filtração (240 minutos), quando a perda de carga atingiu 5,97 m.

5 CONCLUSÃO

- Para os filtros de discos 1 polegada, *mesh* 120, a porcentagem máxima de remoção dos sólidos suspensos pelo elemento filtrante foi 2,04%, sempre no período inicial do processo de filtração. No período de 240 minutos a porcentagem média de remoção de partículas sólidas foi 0,27%.
- Para filtros de discos de 1 polegada, *mesh* 155, a porcentagem máxima de remoção de sólidos suspensos pelo elemento filtrante foi 1,62%, no início do período de filtração e a porcentagem média inferior a 0,51% durante os 240 minutos de filtração.
- O aumento da perda de carga nos filtros de discos *mesh* 155 foi mais rápido que nos elementos dos filtros de *mesh* 120 devido, principalmente, ao maior acúmulo de material sólido (argila e silte) em sua superfície, decorrência do menor diâmetro dos orifícios do elemento filtrante.
- Para as vazões da ordem de $3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, com concentrações de sólidos suspensos na entrada de 1,489 e $2,024 \text{ g L}^{-1}$, não foi possível realizar os ensaios com os filtros de discos 1 polegada *mesh* 155, durante 240 minutos de filtração, devido ao fato de ocorrer uma rápida evolução da perda de carga ao longo do tempo, tendo a mesma atingido o limite de 1000 cm Hg em 84 e 68 minutos, respectivamente. Entretanto, a remoção de sólidos suspensos neste período foi baixa (inferior a 0,72%).
- Existe falta de informações sobre a operação de filtros de discos sob as condições de qualidade de água existente no Brasil, distinta dos recursos hídricos dos países onde essas tecnologias foram desenvolvidas, a busca por inovações na área de filtração deve ser constante para pesquisadores na área de irrigação localizada. A utilização da metodologia apresentada resultou em dados preliminares que poderão fornecer subsídios para novos trabalhos ou dar continuidade ao mesmo.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J.S. La obstrucción de los emisores de goteo, Sus causas y medidas preventivas. Traducción de Ortiz, F. y Urrutia y J. A., 1985. **Riegos y Drenajes**, Madrid, v.3, n.12, p.23-32, 1987.
- ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameter of filter screens. **Journal of Irrigation and drainage division ASCE**. Ann Arbor, v.112 n.4, p.293-304, 1986.
- ADIN, A.; SACKS, M. Dripper clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of irrigation and Drainage Engineering**, New York 117, n.6, p.813-826, 1991.
- AIROLDI, R.P.R.; PATERNIANI, J.E.S.; SILVA, M.J.M.; RIBEIRO, T.A.P. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiente**, Campina Grande, . v.9, n.1, p 35-47 Jan/Mar. 2005.
- AMIAD D.N; CHEVEL KORAZIM,D.N. Sistemas de filtrado y fertigacion: **Catálogo de filtros AMIAD**. Tel Aviv, Israel. 2004. 20p.
- AVNIMELECH, Y.; DIAB, S; KOCHIBA. Development and evaluation of a biofilter for turbid and nitrogen rich irrigation water. **Water Research**, Oxford, v **27**, n**5**, p. 785-790, 1993.
- AYERS, R.S. Quality of water irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engeneering**. New York, v.103, p.135-154, 1977.
- AYERS, R.S; WESTCOT, D.W. **A Qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyl, J. F. de Medeiros; F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB/FAO, 1991. 218p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29).
- AZEVEDO, H.M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v.12, n.139. Jul.. 1986. p.40-53.
- AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M.M.; SEDYAMA, G.C.; CECON, P.R. Influência de elementos do clima e da pressão de operação do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação com alta pressão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.4, p.53-62, 1999.
- BENHAM, B.; ROSS, B. Filtration, treatment, and maintenance: Considerations for microirrigation systems. **Virgina Cooperative Extension**, 2002. 8 p. (publication 442-757)
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D.D. da; PRUSKI, F F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p.79-88.

BOMAN, B.J. Clogging characteristics of various microsprinkler designs in a mature citrus grove. **Proceedings Fla. State Horticultural Society**. Florida, , v.103, p.327-30, 1990.

BOMAM, B.J.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proceedings Florida. State Horticultural Society**. Florida, n. 107, p.39-47, 1994.

BOUCHER, P.L. A new measure of the filterability of fluids with applications to water engineering. **J. Institute. Civil Engineering**. ,London v. 27, p. 415-421, 1947.

BUCKS, D.A.; MYERS, L.E. Uniform irrigation with low-pressure trickle systems. **Journal Of The Irrigation and Drainage Division**, New York, v.98, n.3, p.341, Sept. 1972.

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

CABELLO, F.P. **Riegos localizados de alta frecuencia; goteo, microaspersión, exudación**. 3.ed. Madri: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

CARARO, D.C.; LEVERENZ, L.H.; BOTREL, T.A.; HILLS, D.J. Efeitos de ácido peróxido acético, hipoclorito de sódio e filtro têxtil na minimização do entupimento de gotejadores pelo uso de água residuária de tanque séptico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33.,2004. São Pedro **Anais...**Campinas: SBEA, 2004. 1 CD-ROM.

CHILDERS, C.C.; FUTCH, S.H.; STANGE, L.A. Insect (Neuroptera: Lepdoptera) clogging of a microsprinkler irrigation in Florida citrus. **Florida. Entomological.**, Lutz, v.75, p.601-604, 1992.

COSTA, L. M. da; MATOS, A.T.D.E. Impactos da erosão do solo em recursos hídricos. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília; UFV, 1997. p.173-190.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1989. 552p.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Israel: International Irrigation. Information center, 1985. p.95.

DENÍCULI, W. **Uniformidade de distribuição de água em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento**.1979. 42p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.

DIAB, S.; KOCHBA, M.; AVNIMELECH, Y. Development of a biofilter for turbid and nitrogen-rich irrigation water – B: removal of phosphorus, algae and clay. **Bioresource Technology, Israel**, v.44, n.2, p.137-140, 1993.

DONEEN, L.D. Water quality for irrigated agriculture. In: POLJAKOFF-MAY-BER, A.; GANE, J. (Ed.). **Plants in saline environments**. New York: Springer-Verlag, 1975. p.56-76. (Ecological studies, 15)

ENGLISH, S.D. Filtration and water treatment for micro-irrigation In: INTERNACIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE. 1985. v.1, p.50-57, 1985.

FAO/UNESCO. **Irrigation, drainage and salinity**. Paris: Hutchinson, 1973. 510 p.

FIGUEIREDO, D.R. de. Conflito relativo ao uso da água, In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**, Brasília: UFV, 1997. p.37-44.

FINK, D.R.; SANTOS, H. F. dos. A legislação de reuso de água, In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. **Reuso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 261-290.

FORD, H.W. The use of chlorine in drip irrigation systems. **Proceedings Florida State Horticultural Society**. ,Florida v.88, p.1-4, 1975.

FORD, H.W.; ALTERMATT, W.E.; HAMILTON, N.F. Inhibiting bioslimes on surfaces of polyethylene tubing. Drainage design and management. **Proceedings of the National Drainage Symposium**, Chicago, n.14-15, p.416-426, Dec., 1987, (ASAE Publication,07-87.)

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCE, O.F.; ADAMSON, K.C.; Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.3, n.3, p.159-178, 1981.

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

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRANCE, O. F.; ADAMSON, K.C. Las obstrucines de los emisores y los problemas de caudal. **Agricultural Water Management**, Phoenix USA v.3, p.45, 1981.

HASSEN, A.; MAHROUK, M.; OUSARI, H.; CHERIF, M.; BOUDABOUS, A. DAMELIN COURT, J. J. UV desinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. **Bioresource Technology**, St. Joseph, Michigan, v.74, p.141-150, 2000.

HILLS, D.J.; EL-EBABY, F.G. Evaluation of microirrigation self-cleaning emitters. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St Joseph, v.6, n.4, p.441-456, 1990.

HOWELL, T.A.; STEVENSON, D.S.; GITLIN, H.M.; WU, I-Pai; WARRICK, A.W.; RAATS, P.A.C. DESIGN AND OPERATION OF TRICKLE (DRIP) SYSTEMS. In: JESSEN, M.E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**, St. Joseph: ASAE, 1983. chap.16, p.663-717.

JACKSON, R.C.; KAY, M.G. Use of pulse irrigation for reducing clogging problems in trickle emitters. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe England, v.37, p.223-227, 1987.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.4, n.17, p.678-684, 1975.

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

LÓPEZ, J.R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A.P.; HERNANDES, J.F.G. **Riego Localizado**. Madri: Mundi-Prensa, 1997. 405p.

LOPEZ, T.M. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C.C. (Ed.). **Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales**. Madri: Mundi-prensa, 1998. cap.9, p.247-263.

MARQUES JUNIOR, S.M. **Índice indicador da eficiência de filtragem eletrostática da água em irrigação localizada**. 1998. 98p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “ Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 1998.

MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R.; ALMEIDA NETO, J.A. Perda de carga em filtros de areia e de tela do sistema de irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA), 18., 1989.Recife. **Anais...** Recife, 1989. p.585-607,

MEDEIROS, S. DE S.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, J.A.A.; Avaliação do manejo da irrigação no perímetro irrigado de Pirapora, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 84, 2003.

MEYER, J.L.; ZINDER, M.J.; VALENZUELA, L.H.; HARRIS, A. Liquid polymers sep drip irrigation lines from clogging. **California Agriculture**, Berkeley, v.45, n.1, p.24-25, 1991.

MILLER, D.S. **Internal flow systems**.S.L.: BHRA Fluid Engineering, 1984. 290p. (BHRA Fluid Engineering Series, 5)

MÉLO. R.F. **Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplâncton**. 2007. 189p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

NAKAYAMA, F, S.; GILBERT, R.G.; BUCKS, D.A. Water treatments in trickle irrigation systems. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.104, p.23-34, 1978.

NAKAYAMA, F, S.; BUCKS, D.A. Emitter clogging affects on trickle irrigation uniformity. **Transation of ASAE**, St. Joseph, v.24, n.1, p.77-80, Jan./Feb. 1981.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. New York: Elsevier, 1986. 383p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. Water quality drip/trickle irrigation. **Irrigation Science**, Berlin, v.12, n.4, p.187-192, 1991.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.; FRENCH, O.F. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 20, p.278-280, 1977

OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1985. 267p.

OLIVEIRA, C.F. de. **Perda de carga em filtros de tela e de discos utilizados na irrigação localizada**. 2005. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, R.A.; CAMPELO, P.L.G; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A., CECON, P.R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v.4, n. 2, p.263-267, 2002.

ORON, G.; SHELEF, G.; TURZYNSKI, B. Trickle irrigation using treated wastewaters. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Reston USA v.105, n.2, p.175-186, 1979.

PHILLIPS, K.P. Filtration's role in water quality: Polishing water for low-volume irrigation. **Irrigation Journal**, Orlando, v.43, n.4, p.8-12, 1993.

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

PITTS, D.J.; FERGUSON, J.A.; GILMOUR, J.T. Plugging characteristics of water plant blackwash water used in drip irrigation. **Paper American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St Joseph , n.2630, p.13, 1984.

PITTS, D. J.; PETERSON, K.; GILBERT, G. Field assessment of irrigation system performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 12, p.307-313, 1996.

PUIG-BARGUÉS, J.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Filtration of effluents for microirrigation systems. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.49, n.3, p. 969-978, 2005

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

RICHARDS, L.A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory. 1954. 160 p. (USDA. Agriculture handbook, 60).

ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M, de. Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p.263-268, 2003

SAGI, G.; PAZ, E.; RABIAN, I. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In. INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995. Orlando, **Proceedings....** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

SANTOS, M. de O.R.M. dos. **O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário**. 2002. 231 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2002.

SCHAKSCHOUK, A.M. Alleviation of chemical pollution resultant through water chemical treatment in trickle irrigation systems. **Egyptian Journal of Soil Science**, v.36, n.2, p.189-218, 1996.

SCHWANKL, L.; PRICHARD, T. Clogging of buried drip irrigation systems. **California Agriculture**, Berkeley, Califórnia v.44, p.16-17, 1990.

SETTI, A.A.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA, I.C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2002. 327p

SHALHEVET, J.; OSTER, J.D. **Quality of irrigation water**. Bet. Dagan: International irrigation center, 1978. 65p.

SMAJSTRLA, A.G.; KOO, R.C.J.; WELTON, J.H.; HARRISON, D.; ZAZUETA, F.S. Clogging of trickle irrigation emitters under field conditions. **Proceeding. Florida. State Horticultural Society, Florida**, v.96, p.13-17, 1983.

SOLOMON, K.H.; KELLER. J. Trickle irrigation uniformity and efficiency. **Journal of the irrigation and drainage division**. New York, v.104, n.3, p.293-306, Sept. 1978.

SOLOMON, K H. Global uniformity of trickle emitters. **Transaction of ASAE**, St Joseph, v.22, n.4, p.1034-1043, July/Aug. 1979.

SPERLING, E. Von. Qualidade da água. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: UFV, 1997. p. 89-114.

SPOONER, J.; HOUSE, C. H.; HOOVER, M. T.; RUBIN, A. R.; SILVERTHORNE Jr. R.; STEINBECK, S. J.; HARRIS, V.; UEBLER, R. L.; MARTIN, B., Performance evaluation of innovative and alternative on-site waste water treatment systems in Craven County, NC. In SIEVERS, D.M. (Ed). On-Site Water Treatment – NATIONAL SYMPOSIUM ON INDIVIDUAL AND SMALL COMMUNITY SEWAGE SYSTEMS, 8., 1998. Michigan. **Proceedings...** Michigan: America Society of Agricultural Engineers, 1998. p.458-489.

TAYLOR, H.D.; PEARSON, H.W.; MARA, D.D. Microbial clogging of drip irrigation emitters in effluents reuse systems. Irrigation theory and practice. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE, 1989, Southampton, UK. **Proceedings...** London, UK: Pentech Press, 1989. p.661-671.

TEIXEIRA, M.B. **Efeito das dosagens extremas de cloro e pH, na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)**. 2006. 318p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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.; MATSURA, E.E.; Efeito da camada filtrante na perda de carga de filtros de areia. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM,, 15., 2005. Teresina. **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2005. v.1, p.1-6.

TESTEZLAF, R.; RAMOS, J.P.S. Sistemas automatizados para determinação de perda de carga em filtros de tela e disco usados na irrigação localizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.8, p.1079-1088, ago. 1995.

TELTSCH, B.; JUANICO, M.; AZOV, Y.; BEN-HARIM, I.; SHELEF, G. The clogging capacity of reclaimed wastewater: a new quality criterion for drip irrigation. **Water Science and Technology**, Amsterdam, v.24, n.9, p.123-131, 1991.

TESSLER, M. H. Água no ponto certo. **A Granja**, Porto Alegre, v.3 p.40-44. dez. , 1986.

TOMPSON, H.T.; KRIDER, J.N. Farm resources and system selection. In: JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, cap.3, 1983. p.45-73.

TRINDAD, J.G.; GANZÁLES, J.A.D; LUJAN, A.V. Recuperación y reutilización de las aguas residuales en la producción agrícola y pecuaria de las zonas áridas. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 9., México: 2001. Disponível em: <http://www.chapingo.mx/anei/xicongresso/Doc/S90106.pdf>>Acesso em: 25 ago2006

TRUSSEL, R.R.; CHANG, M. Review of flow through porous media as applied to head loss in water filters. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v.25, n.11, p.998-1006, 1999.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2003.248p.

UNKROTH, A.; WAGNER, V.; SAUERBREY, R. Laser assisted photochemical wastewater treatment. **Oxidation technologies for water and wastewater treatment**, 1997. 7p.

VERMEIREM, L.; JOBLING, G.A. Localized irrigation equipment, **Localized irrigation; design, installation, operation, evaluation**. Rome: FAO, 1984. chap.3, p.85-144. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 36).

WILKINSON, A.D. The filtration of dilute suspensions using non-woven cloths and membranes. WORLD FILTRATION CONGRESS, 1986. Ostends. **Proceedings...** Ostend, Belgium: 1986. 22-25 April.

Wu, I. P.; GITLIN. H. M. Hydraulics and uniformity for drip irrigation, **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.107, n.1, Mar 1981.

ZEIER K.R.E.; HILLS, J. D. Trickle irrigation screen filter performance as affect by sand size concentration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.3, p.375-379, 1987.

GLOSSÁRIO

Adsorção – refere-se à retenção de substâncias removidas pela superfície de partículas materiais constituintes do meio filtrante.

Afluente – em processo de filtração refere-se a corrente de água que alimenta o filtro (entrada do filtro).

Água limpa – nesse estudo, deve ser entendida como a água cuja concentração em partículas orgânicas e minerais não é suficiente para promover entupimento nos emissores.

Águas residuárias – referem-se ao despejo ou resíduo líquido, proveniente de atividades, domésticas, industriais, comerciais, agrícolas e outras, com potencialidade de causar poluição ou contaminação.

Coagem – refere-se à retenção de partículas de dimensão superior à abertura dos poros.

Coprecipitação química – processo pelo qual substâncias solúveis se incorporam aos precipitados durante a sua formação.

Eficiência – ação ou força capaz de produzir efeito. Em termos físicos, eficiência se refere à razão entre a energia útil proveniente de um sistema mecânico e a energia que lhe foi fornecida, durante o mesmo processo ou um dado período de operação.

Eficiência de filtração – no processo de verificação da eficiência de sistemas de filtração, os ensaios são conduzidos até o momento no qual se atinge certo nível de perda de carga, entre a entrada e saída do elemento filtrante, essa variação é um dos componentes do modelo de validação do processo de eficiência de filtração.

Efluente – em processo de filtração corresponde a corrente de água que passou pelo processo de filtração (saída do filtro).

Floculação – ocorre no interior dos poros, durante o escoamento da água, devido à turbulência que provoca mistura em seu interior.

Granulométrica – refere-se ao método de análise que classifica as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos.

Intemperismo das rochas – corresponde ao processo de alteração, ou seja, de transformação das estruturas físicas (através da degradação) ou químicas (através da decomposição) das rochas da superfície terrestre.

Mecanismo de ponte (bridging) – refere-se à ligação de partículas coloidais discretas dentro de um agregado de multi-partículas.

Mesh – palavra cujo significado em português, é tradicionalmente referido como “malha”, refere-se ao número de aberturas por polegada quadrada implicando em um filtro de nº 200 contém malhas com diâmetro de 0,074 mm.

Mucilagem – substância viscosa coloidal resultante da solução de determinadas matéria presentes na água, sendo pegajosa quando úmida e rígida quando seca.

Percolação da água – deve ser entendida, nesse estudo, com o ato de um fluído (água) passar através de um meio poroso (solo).

Retrolavagem – limpeza para retirar todas as impurezas retidas no filtro. A limpeza é realizada mediante a mudança na direção do fluxo a partir da tubulação de saída.

Sedimentação – refere-se à remoção, pela ação da gravidade, de minúsculas partículas existentes na água localizada nos poros do meio filtrante que se comportam neste caso como se fossem minúsculos decantadores.

Sólido suspensos – neste estudo refere-se às pequenas partículas sólidas de argila e silte mantidas em suspensão na água.

Sólido total – definido como toda matéria que permanece como resíduo da evaporação na temperatura de 103 a 105 °C, os materiais perdidos durante o processo de evaporação não são definidos como sólidos totais (amostra).

ANEXOS

ANEXO A - Dados do filtro de discos *mesh* 120, vazão média de $4,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $0,812 \text{ g L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro 377 kPa

Tempo min	Concentrações		Conc. média		Q L min. ⁻¹	⁽¹⁾ M.ent. g	⁽²⁾ M.saída g	⁽³⁾ M. ret. g 4,0min. ⁻¹	⁽⁴⁾ M.ac. g	Porc. mat. ret. %	hf m	⁽⁵⁾ V.ac. m ³
	C. ent. g L ⁻¹	C. saída g L ⁻¹	C. ent. g L ⁻¹	C. saída g L ⁻¹								
0	0,804	0,804	-	-	-	-	-	-	-	-	1,644	-
4	0,794	0,785	0,799	0,794	66,13	211,302	210,039	1,26	1,26	0,60	1,651	0,26
8	0,791	0,791	0,792	0,788	68,38	216,680	215,518	1,16	2,43	0,54	1,663	0,54
12	0,809	0,803	0,800	0,797	69,00	220,800	219,972	0,83	3,25	0,38	1,676	0,81
16	0,816	0,795	0,813	0,799	67,50	219,409	215,629	3,78	7,03	1,72	1,695	1,08
20	0,813	0,801	0,814	0,798	67,75	220,662	216,156	4,51	11,54	2,04	1,720	1,36
24	0,801	0,793	0,807	0,797	67,25	217,083	214,292	2,79	14,33	1,29	1,733	1,62
28	0,805	0,798	0,803	0,795	66,63	214,000	211,967	2,03	16,36	0,95	1,733	1,89
32	0,814	0,805	0,809	0,802	65,88	213,270	211,235	2,04	18,40	0,95	1,733	2,15
36	0,837	0,817	0,826	0,811	65,00	214,695	210,932	3,76	22,16	1,75	1,745	2,41
40	0,814	0,818	0,826	0,818	70,63	233,204	230,944	2,26	24,42	0,97	1,751	2,70
44	0,814	0,814	0,814	0,816	69,38	225,746	226,371	-0,62	23,80	-0,28	1,751	2,97
48	0,816	0,817	0,815	0,815	64,25	209,327	209,519	-0,19	23,60	-0,09	1,770	3,23
52	0,820	0,829	0,818	0,823	69,38	226,926	228,278	-1,35	22,25	-0,60	1,789	3,51
56	0,828	0,811	0,824	0,820	65,38	215,541	214,365	1,18	23,43	0,55	1,789	3,77
60	0,838	0,827	0,833	0,819	67,13	223,728	219,834	3,89	27,32	1,74	1,789	4,04
64	0,814	0,815	0,826	0,821	66,63	220,129	218,730	1,40	28,72	0,64	1,789	4,31
68	0,821	0,818	0,817	0,817	67,38	220,316	220,080	0,24	28,96	0,11	1,789	4,57
72	0,810	0,814	0,815	0,816	69,88	227,932	228,072	-0,14	28,82	-0,06	1,808	4,85
76	0,828	0,818	0,819	0,816	67,25	220,378	219,504	0,87	29,69	0,40	1,814	5,12
80	0,813	0,817	0,821	0,818	66,38	217,975	217,113	0,86	30,55	0,40	1,827	5,39
84	0,818	0,813	0,816	0,815	66,63	217,364	217,164	0,20	30,75	0,09	1,840	5,66
88	0,819	0,813	0,819	0,813	68,88	225,531	223,844	1,69	32,44	0,75	1,840	5,93
92	0,807	0,809	0,813	0,811	65,13	211,787	211,200	0,59	33,03	0,28	1,852	6,19
96	0,787	0,807	0,797	0,808	66,13	210,773	213,683	-2,91	30,12	-1,38	1,871	6,46
100	0,808	0,800	0,798	0,804	67,00	213,797	215,371	-1,57	28,54	-0,74	1,877	6,72
104	0,812	0,812	0,810	0,806	67,50	218,666	217,755	0,91	29,45	0,42	1,896	6,99
108	0,808	0,810	0,810	0,811	67,63	219,071	219,409	-0,34	29,12	-0,15	1,903	7,26
112	0,820	0,817	0,814	0,814	60,00	195,360	195,240	0,12	29,24	0,06	1,909	7,50
116	0,813	0,814	0,816	0,816	75,00	244,950	244,725	0,22	29,46	0,09	1,909	7,80
120	0,817	0,822	0,815	0,818	68,88	224,601	225,325	-0,72	28,74	-0,32	1,915	8,08
124	0,815	0,805	0,816	0,813	67,38	219,878	219,171	0,71	29,44	0,32	1,928	8,35
128	0,814	0,818	0,814	0,811	67,63	220,255	219,443	0,81	30,26	0,37	1,940	8,62
132	0,813	0,825	0,814	0,821	67,25	218,865	220,849	-1,98	28,27	-0,91	1,953	8,89
136	0,819	0,822	0,816	0,823	66,38	216,615	218,606	-1,99	26,28	-0,92	1,978	9,15
140	0,813	0,810	0,816	0,816	68,50	223,584	223,584	0,00	26,28	0,00	1,978	9,43
144	0,798	0,806	0,806	0,808	67,75	218,324	218,900	-0,58	25,71	-0,26	1,978	9,70
148	0,809	0,799	0,803	0,802	65,13	209,247	209,019	0,23	25,93	0,11	1,978	9,96
152	0,798	0,800	0,803	0,800	67,63	217,279	216,299	0,98	26,91	0,45	1,978	10,23
156	0,834	0,816	0,816	0,808	64,00	208,896	206,880	2,02	28,93	0,97	1,991	10,49
160	0,817	0,815	0,826	0,815	68,88	227,425	224,636	2,79	31,72	1,23	2,003	10,76
164	0,810	0,822	0,813	0,818	66,25	215,544	216,803	-1,26	30,46	-0,58	2,003	11,03
168	0,813	0,824	0,812	0,823	67,38	218,767	221,697	-2,93	27,53	-1,34	2,016	11,30
172	0,825	0,819	0,819	0,821	67,38	220,754	221,327	-0,57	26,96	-0,26	2,016	11,57
176	0,823	0,826	0,824	0,822	67,00	220,865	220,430	0,44	27,39	0,20	2,016	11,83
180	0,822	0,822	0,823	0,824	67,63	222,520	222,926	-0,41	26,99	-0,18	2,029	12,10
184	0,812	0,818	0,817	0,820	68,00	222,156	223,108	-0,95	26,03	-0,43	2,041	12,38
188	0,823	0,828	0,817	0,823	67,13	219,432	221,043	-1,61	24,42	-0,73	2,041	12,64
192	0,836	0,816	0,829	0,822	67,63	224,346	222,419	1,93	26,35	0,86	2,041	12,92
196	0,816	0,819	0,826	0,818	67,38	222,540	220,384	2,16	28,51	0,97	2,041	13,18
200	0,811	0,820	0,813	0,820	69,00	224,436	226,217	-1,78	26,73	-0,79	2,054	13,46
204	0,816	0,817	0,814	0,819	67,75	220,472	221,881	-1,41	25,32	-0,64	2,054	13,73
208	0,804	0,795	0,810	0,806	67,13	217,586	216,478	1,11	26,43	0,51	2,054	14,00
212	0,797	0,799	0,801	0,797	68,50	219,371	218,378	0,99	27,42	0,45	2,054	14,27
216	0,795	0,808	0,796	0,803	67,13	213,726	215,740	-2,01	25,40	-0,94	2,054	14,54
220	0,795	0,796	0,795	0,802	66,63	211,967	213,833	-1,87	23,54	-0,88	2,054	14,81
224	0,787	0,806	0,791	0,801	70,25	222,341	225,151	-2,81	20,73	-1,26	2,066	15,09
228	0,800	0,805	0,794	0,806	63,75	202,374	205,434	-3,06	17,67	-1,51	2,066	15,35
232	0,810	0,818	0,805	0,812	65,25	210,203	211,867	-1,66	16,01	-0,79	2,079	15,61
236	0,805	0,807	0,808	0,813	68,63	221,762	223,066	-1,30	14,70	-0,59	2,079	15,88
240	0,812	0,811	0,809	0,809	68,50	221,591	221,652	-0,06	14,64	-0,03	2,094	16,15
Média	0,812	0,811			67,33					0,11		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V.ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO B - Dados do filtro de discos *mesh* 120, vazão média 2,00 m³ h⁻¹, sólidos suspensos 0,893 g L⁻¹ e pressão média na entrada do filtro 371 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. média		Q	⁽¹⁾ M.ent.	⁽²⁾ M.saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M.ac.	Porc. mat. ret.	hf	⁽⁵⁾ v. ac.
min	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g L ⁻¹	L min. ⁻¹	g	g	g 4,0min. ⁻¹	g	%	m	m ³
0	0,915	0,916	-	-	-	-	-	-	-	-	0,454	0,00
4	0,938	0,937	0,927	0,926	34,13	126,518	126,450	0,07	0,07	0,05	0,466	0,14
8	0,937	0,934	0,938	0,936	34,00	127,534	127,262	0,27	0,34	0,21	0,473	0,27
12	0,945	0,941	0,941	0,937	34,13	128,498	127,969	0,53	0,87	0,41	0,479	0,41
16	0,952	0,950	0,949	0,945	33,00	125,219	124,806	0,41	1,28	0,33	0,479	0,54
20	0,942	0,930	0,947	0,940	33,00	124,988	124,106	0,88	2,16	0,70	0,491	0,67
24	0,969	0,962	0,955	0,946	34,00	129,931	128,632	1,30	3,46	1,00	0,491	0,81
28	0,919	0,911	0,944	0,936	31,75	119,904	118,872	1,03	4,49	0,86	0,491	0,94
32	0,919	0,911	0,919	0,911	34,38	126,414	125,262	1,15	5,64	0,91	0,504	1,07
36	0,899	0,892	0,909	0,902	34,25	124,567	123,567	1,00	6,65	0,80	0,517	1,21
40	0,902	0,898	0,901	0,895	32,63	117,532	116,824	0,71	7,35	0,60	0,517	1,34
44	0,911	0,891	0,906	0,895	31,63	114,672	113,154	1,52	8,87	1,32	0,517	1,47
48	0,884	0,889	0,897	0,890	32,38	116,210	115,239	0,97	9,84	0,84	0,517	1,60
52	0,896	0,898	0,890	0,893	32,38	115,255	115,676	-0,42	9,42	-0,37	0,517	1,73
56	0,899	0,882	0,898	0,890	33,13	118,968	117,908	1,06	10,48	0,89	0,529	1,86
60	0,883	0,882	0,891	0,882	32,50	115,879	114,692	1,19	11,67	1,02	0,529	1,99
64	0,890	0,882	0,887	0,882	32,50	115,261	114,676	0,59	12,25	0,51	0,529	2,12
68	0,882	0,871	0,886	0,876	32,75	116,033	114,772	1,26	13,51	1,09	0,529	2,25
72	0,880	0,881	0,881	0,876	34,63	121,967	121,274	0,69	14,21	0,57	0,529	2,39
76	0,882	0,889	0,881	0,885	33,00	116,276	116,787	-0,51	13,69	-0,44	0,529	2,52
80	0,889	0,891	0,885	0,890	33,00	116,886	117,496	-0,61	13,08	-0,52	0,529	2,65
84	0,892	0,894	0,891	0,893	33,88	120,663	120,968	-0,30	12,78	-0,25	0,529	2,79
88	0,887	0,864	0,890	0,879	35,25	125,437	123,939	1,50	14,28	1,19	0,529	2,93
92	0,884	0,884	0,886	0,874	33,00	116,909	115,351	1,56	15,83	1,33	0,529	3,06
96	0,885	0,868	0,885	0,876	33,25	117,678	116,475	1,20	17,04	1,02	0,529	3,19
100	0,880	0,879	0,883	0,874	34,38	121,395	120,106	1,29	18,33	1,06	0,529	3,33
104	0,888	0,875	0,884	0,877	34,63	122,434	121,499	0,93	19,26	0,76	0,529	3,47
108	0,865	0,866	0,876	0,870	34,50	120,923	120,112	0,81	20,07	0,67	0,529	3,61
112	0,869	0,874	0,867	0,870	32,50	112,710	113,100	-0,39	19,68	-0,35	0,529	3,74
116	0,869	0,875	0,869	0,875	32,50	113,002	113,717	-0,71	18,97	-0,63	0,529	3,87
120	0,893	0,872	0,881	0,874	33,63	118,478	117,503	0,98	19,94	0,82	0,529	4,00
124	0,859	0,864	0,876	0,868	32,75	114,723	113,708	1,02	20,96	0,88	0,529	4,13
128	0,853	0,865	0,856	0,864	33,50	114,704	115,810	-1,11	19,85	-0,96	0,529	4,27
132	0,908	0,875	0,881	0,870	33,63	118,444	116,981	1,46	21,32	1,23	0,529	4,40
136	0,879	0,880	0,893	0,878	33,38	119,266	117,163	2,10	23,42	1,76	0,542	4,54
140	0,885	0,889	0,882	0,885	32,88	115,950	116,361	-0,41	23,01	-0,35	0,542	4,67
144	0,891	0,885	0,888	0,887	33,13	117,627	117,544	0,08	23,09	0,07	0,542	4,80
148	0,879	0,887	0,885	0,886	33,50	118,563	118,707	-0,14	22,95	-0,12	0,542	4,93
152	0,881	0,881	0,880	0,884	32,88	115,710	116,230	-0,52	22,43	-0,45	0,542	5,07
156	0,889	0,880	0,885	0,881	32,75	115,951	115,359	0,59	23,02	0,51	0,542	5,20
160	0,883	0,889	0,886	0,884	33,38	118,348	118,077	0,27	23,29	0,23	0,554	5,33
164	0,892	0,899	0,887	0,894	34,00	120,700	121,567	-0,87	22,42	-0,72	0,554	5,47
168	0,875	0,881	0,883	0,890	32,75	115,722	116,590	-0,87	21,56	-0,75	0,554	5,60
172	0,883	0,885	0,879	0,883	33,75	118,665	119,222	-0,56	21,00	-0,47	0,554	5,73
176	0,889	0,894	0,886	0,890	33,50	118,707	119,243	-0,54	20,46	-0,45	0,554	5,87
180	0,892	0,898	0,891	0,896	32,75	116,672	117,376	-0,70	19,76	-0,60	0,554	6,00
184	0,906	0,890	0,899	0,894	33,25	119,567	118,885	0,68	20,44	0,57	0,554	6,13
188	0,877	0,876	0,891	0,883	33,38	118,999	117,931	1,07	21,51	0,90	0,554	6,26
192	0,900	0,899	0,888	0,888	33,38	118,611	118,515	0,10	21,60	0,08	0,554	6,40
196	0,910	0,920	0,905	0,909	33,75	122,172	122,749	-0,58	21,03	-0,47	0,554	6,53
200	0,924	0,925	0,917	0,922	33,38	122,420	123,104	-0,68	20,34	-0,56	0,554	6,67
204	0,907	0,906	0,915	0,915	33,50	122,677	122,664	0,01	20,36	0,01	0,554	6,80
208	0,881	0,887	0,894	0,897	33,63	120,260	120,583	-0,32	20,03	-0,27	0,554	6,93
212	0,886	0,886	0,884	0,886	33,38	117,964	118,314	-0,35	19,68	-0,30	0,554	7,07
216	0,877	0,865	0,881	0,875	33,75	118,986	118,142	0,84	20,53	0,71	0,554	7,20
220	0,866	0,871	0,871	0,868	32,88	114,586	114,109	0,48	21,00	0,42	0,554	7,33
224	0,858	0,866	0,862	0,869	33,50	115,542	116,379	-0,84	20,17	-0,72	0,554	7,47
228	0,864	0,871	0,861	0,869	32,88	113,222	114,257	-1,04	19,13	-0,91	0,567	7,60
232	0,868	0,861	0,866	0,866	33,50	116,011	116,111	-0,10	19,03	-0,09	0,567	7,73
236	0,878	0,871	0,873	0,866	33,00	115,203	114,361	0,84	19,87	0,73	0,567	7,87
240	0,880	0,876	0,879	0,874	33,25	116,841	116,192	0,65	20,52	0,55	0,580	8,00
Média	0,893	0,890			33,33					0,28		

C. ent = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO C - Dados do filtro de discos *mesh* 120, vazão média de 4,00 m³ h⁻¹, sólidos suspensos 1,474 g L⁻¹ e pressão média na entrada do filtro de 378 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	(1) M ent.	(2) M saída	(3) M ret.	(4) M. ac.	Porc. mat.ret.	hf	(5) V. ac.
min.	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g L ⁻¹	L min. ⁻¹	g	g	g 4,0min. ⁻¹	g	%	m	m ³
0	1,510	1,510	-	-	-	-	-	-	-	-	1,764	0
4	1,511	1,500	1,510	1,505	65,50	395,718	394,317	1,40	1,40	0,35	1,789	0,26
8	1,512	1,518	1,511	1,509	67,75	409,549	408,946	0,60	2,00	0,15	1,821	0,53
12	1,509	1,499	1,510	1,509	66,38	400,971	400,540	0,43	2,44	0,11	1,846	0,80
16	1,504	1,510	1,506	1,505	65,75	396,177	395,716	0,46	2,90	0,12	1,846	1,06
20	1,528	1,509	1,516	1,509	68,13	413,042	411,305	1,74	4,63	0,42	1,871	1,33
24	1,500	1,498	1,514	1,503	66,00	399,597	396,924	2,67	7,31	0,67	1,896	1,60
28	1,487	1,472	1,493	1,485	67,63	403,924	401,659	2,27	9,57	0,56	1,922	1,87
32	1,501	1,499	1,494	1,485	67,75	404,908	402,570	2,34	11,91	0,58	1,940	2,14
36	1,498	1,482	1,500	1,491	64,63	387,685	385,398	2,29	14,20	0,59	1,959	2,40
40	1,512	1,506	1,505	1,494	65,88	396,502	393,741	2,76	16,96	0,70	1,972	2,66
44	1,520	1,500	1,516	1,503	67,00	406,154	402,878	3,28	20,23	0,81	1,985	2,93
48	1,500	1,492	1,510	1,496	65,00	392,535	389,038	3,50	23,73	0,89	2,010	3,19
52	1,498	1,480	1,499	1,486	67,25	403,298	399,808	3,49	27,22	0,87	2,022	3,46
56	1,499	1,489	1,499	1,485	65,63	393,455	389,681	3,77	30,99	0,96	2,048	3,72
60	1,509	1,504	1,504	1,496	66,75	401,601	399,499	2,10	33,10	0,52	2,060	3,99
64	1,493	1,499	1,501	1,501	65,25	391,696	391,826	-0,13	32,97	-0,03	2,073	4,25
68	1,529	1,498	1,511	1,498	67,88	410,135	406,741	3,39	36,36	0,83	2,098	4,52
72	1,511	1,523	1,520	1,510	66,25	402,800	400,249	2,55	38,91	0,63	2,111	4,79
76	1,496	1,479	1,503	1,501	68,50	411,925	411,240	0,69	39,60	0,17	2,129	5,06
80	1,499	1,508	1,497	1,493	65,50	392,214	391,166	1,05	40,64	0,27	2,142	5,32
84	1,503	1,507	1,501	1,507	65,75	394,697	396,472	-1,78	38,87	-0,45	2,174	5,58
88	1,491	1,502	1,497	1,505	68,13	407,898	410,078	-2,18	36,69	-0,53	2,199	5,86
92	1,487	1,490	1,489	1,496	65,88	392,286	394,229	-1,94	34,75	-0,50	2,211	6,12
96	1,501	1,505	1,494	1,498	67,38	402,633	403,644	-1,01	33,73	-0,25	2,224	6,39
100	1,490	1,490	1,496	1,498	64,75	387,367	387,917	-0,55	33,18	-0,14	2,249	6,65
104	1,488	1,496	1,489	1,493	68,38	407,276	408,336	-1,06	32,12	-0,26	2,262	6,92
108	1,497	1,490	1,493	1,493	65,88	393,307	393,438	-0,13	31,99	-0,03	2,287	7,19
112	1,480	1,476	1,489	1,483	65,88	392,253	390,771	1,48	33,47	0,38	2,300	7,45
116	1,476	1,479	1,478	1,478	66,88	395,332	395,231	0,10	33,58	0,03	2,331	7,72
120	1,467	1,466	1,471	1,472	66,00	388,443	388,707	-0,26	33,31	-0,07	2,363	7,98
124	1,467	1,473	1,467	1,469	65,50	384,420	384,944	-0,52	32,79	-0,14	2,381	8,24
128	1,470	1,481	1,469	1,477	68,25	400,900	403,187	-2,29	30,50	-0,57	2,381	8,52
132	1,467	1,467	1,468	1,474	67,50	396,427	398,014	-1,59	28,91	-0,40	2,407	8,79
136	1,455	1,467	1,461	1,467	66,38	387,896	389,588	-1,69	27,22	-0,44	2,419	9,05
140	1,448	1,456	1,452	1,462	66,25	384,681	387,331	-2,65	24,57	-0,69	2,432	9,32
144	1,448	1,445	1,448	1,450	68,25	395,304	395,986	-0,68	23,89	-0,17	2,444	9,59
148	1,465	1,462	1,456	1,453	65,50	381,603	380,784	0,82	24,71	0,21	2,451	9,85
152	1,463	1,452	1,464	1,457	67,50	395,280	393,424	1,86	26,56	0,47	2,476	10,12
156	1,466	1,453	1,464	1,452	67,25	393,917	390,722	3,19	29,76	0,81	2,501	10,39
160	1,459	1,448	1,463	1,450	65,38	382,476	379,306	3,17	32,93	0,83	2,514	10,65
164	1,458	1,455	1,459	1,452	65,88	384,348	382,569	1,78	34,71	0,46	2,514	10,92
168	1,447	1,455	1,452	1,455	67,38	391,449	392,190	-0,74	33,97	-0,19	2,539	11,19
172	1,432	1,429	1,439	1,442	65,38	376,397	377,181	-0,78	33,18	-0,21	2,552	11,45
176	1,433	1,417	1,433	1,423	66,75	382,478	380,041	2,44	35,62	0,64	2,577	11,71
180	1,456	1,452	1,445	1,435	67,88	392,216	389,501	2,71	38,33	0,69	2,589	11,99
184	1,449	1,449	1,452	1,451	65,38	379,731	379,338	0,39	38,73	0,10	2,602	12,25
188	1,453	1,452	1,451	1,451	67,50	391,736	391,669	0,07	38,79	0,02	2,615	12,52
192	1,449	1,452	1,451	1,452	65,38	379,469	379,665	-0,20	38,60	-0,05	2,627	12,78
196	1,443	1,450	1,446	1,451	67,63	391,109	392,462	-1,35	37,25	-0,35	2,652	13,05
200	1,452	1,440	1,447	1,445	67,25	389,310	388,739	0,57	37,82	0,15	2,665	13,32
204	1,451	1,449	1,451	1,445	67,00	388,902	387,193	1,71	39,53	0,44	2,678	13,59
208	1,433	1,438	1,442	1,444	66,00	380,655	381,150	-0,50	39,03	-0,13	2,678	13,85
212	1,427	1,435	1,430	1,437	67,75	387,598	389,292	-1,69	37,34	-0,44	2,703	14,12
216	1,414	1,420	1,420	1,427	65,88	374,269	376,113	-1,84	35,49	-0,49	2,709	14,38
220	1,427	1,437	1,421	1,428	66,75	379,274	381,409	-2,14	33,36	-0,56	2,715	14,65
224	1,426	1,412	1,427	1,424	66,63	380,196	379,629	0,57	33,92	0,15	2,728	14,92
228	1,430	1,435	1,428	1,423	68,13	389,096	387,904	1,19	35,11	0,31	2,741	15,19
232	1,438	1,440	1,434	1,438	66,88	383,628	384,531	-0,90	34,21	-0,24	2,766	15,46
236	1,433	1,446	1,435	1,443	67,38	386,834	388,888	-2,05	32,16	-0,53	2,772	15,73
240	1,440	1,434	1,439	1,437	68,00	391,517	390,918	0,60	32,76	0,15	2,796	16,00
Média	1,474	1,472			65,57					0,14		

C. ent = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

(1) M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

(2) M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

(3) M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

(4) M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

(5) V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO D - Dados do filtro de discos *mesh* 120, vazão média de $2,00 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $1,559 \text{ g.L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro de 384 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat.ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	L min^{-1}	g	g	g 4,0min^{-1}	g	%	m	m^3
0	1,580	1,580	-	-	-	-	-	-	-	-	0,498	-
4	1,600	1,584	1,590	1,582	33,38	212,215	211,200	1,01	1,01	0,48	0,510	0,13
8	1,598	1,586	1,599	1,585	32,88	210,252	208,477	1,78	2,79	0,84	0,510	0,27
12	1,606	1,587	1,602	1,587	34,25	219,457	217,385	2,07	4,86	0,94	0,510	0,40
16	1,596	1,576	1,601	1,582	33,50	214,501	211,938	2,56	7,42	1,19	0,523	0,54
20	1,589	1,584	1,593	1,580	32,50	207,057	205,432	1,63	9,05	0,78	0,523	0,67
24	1,575	1,574	1,582	1,579	34,13	215,977	215,568	0,41	9,46	0,19	0,536	0,80
28	1,571	1,565	1,573	1,569	32,75	206,050	205,588	0,46	9,92	0,22	0,548	0,93
32	1,573	1,584	1,572	1,574	32,63	205,100	205,440	-0,34	9,58	-0,17	0,548	1,06
36	1,608	1,607	1,590	1,595	33,13	210,708	211,371	-0,66	8,92	-0,31	0,573	1,20
40	1,594	1,585	1,601	1,596	34,38	220,138	219,381	0,76	9,68	0,34	0,573	1,33
44	1,598	1,592	1,596	1,588	32,75	209,092	208,044	1,05	10,72	0,50	0,586	1,47
48	1,582	1,573	1,590	1,582	33,50	213,110	212,022	1,09	11,81	0,51	0,586	1,60
52	1,589	1,589	1,586	1,581	33,00	209,319	208,676	0,64	12,46	0,31	0,599	1,73
56	1,578	1,586	1,583	1,587	33,50	212,189	212,692	-0,50	11,95	-0,24	0,611	1,87
60	1,578	1,576	1,578	1,581	33,25	209,891	210,256	-0,37	11,59	-0,17	0,624	2,00
64	1,571	1,575	1,575	1,576	33,63	211,787	211,938	-0,15	11,44	-0,07	0,624	2,13
68	1,586	1,585	1,578	1,580	33,00	208,346	208,560	-0,21	11,22	-0,10	0,649	2,26
72	1,576	1,563	1,581	1,574	33,13	209,482	208,522	0,96	12,18	0,46	0,662	2,40
76	1,564	1,564	1,570	1,563	34,00	213,571	212,619	0,95	13,13	0,45	0,674	2,53
80	1,561	1,565	1,563	1,565	32,63	203,955	204,200	-0,24	12,89	-0,12	0,674	2,66
84	1,563	1,571	1,562	1,568	33,63	210,123	210,930	-0,81	12,08	-0,38	0,687	2,80
88	1,554	1,568	1,559	1,570	33,63	209,618	211,115	-1,50	10,59	-0,71	0,687	2,93
92	1,552	1,565	1,553	1,567	32,50	201,890	203,678	-1,79	8,80	-0,89	0,712	3,06
96	1,543	1,541	1,548	1,553	33,25	205,867	206,532	-0,67	8,13	-0,32	0,712	3,20
100	1,550	1,537	1,547	1,539	33,38	206,474	205,406	1,07	9,20	0,52	0,712	3,33
104	1,572	1,566	1,561	1,551	33,25	207,596	206,316	1,28	10,48	0,62	0,725	3,46
108	1,557	1,555	1,564	1,560	33,13	207,280	206,766	0,51	11,00	0,25	0,737	3,59
112	1,557	1,549	1,557	1,552	34,13	212,496	211,882	0,61	11,61	0,29	0,750	3,73
116	1,561	1,548	1,559	1,548	33,13	206,518	205,160	1,36	12,97	0,66	0,750	3,86
120	1,584	1,544	1,572	1,546	33,25	209,093	205,601	3,49	16,46	1,67	0,762	4,00
124	1,546	1,546	1,565	1,545	33,25	208,128	205,468	2,66	19,12	1,28	0,762	4,13
128	1,529	1,527	1,538	1,536	33,13	203,735	203,586	0,15	19,27	0,07	0,788	4,26
132	1,530	1,533	1,530	1,530	32,88	201,179	201,211	-0,03	19,24	-0,02	0,788	4,39
136	1,549	1,550	1,540	1,542	33,75	207,883	208,103	-0,22	19,02	-0,11	0,800	4,53
140	1,568	1,563	1,558	1,556	33,50	208,822	208,554	0,27	19,28	0,13	0,813	4,66
144	1,585	1,586	1,576	1,574	34,25	215,963	215,655	0,31	19,59	0,14	0,813	4,80
148	1,574	1,579	1,580	1,582	32,88	207,737	208,049	-0,31	19,28	-0,15	0,813	4,93
152	1,581	1,564	1,578	1,571	33,13	209,035	208,174	0,86	20,14	0,41	0,813	5,06
156	1,578	1,570	1,580	1,567	33,50	211,670	209,961	1,71	21,85	0,81	0,838	5,20
160	1,583	1,568	1,581	1,569	32,75	207,078	205,523	1,56	23,41	0,75	0,851	5,33
164	1,565	1,562	1,574	1,565	33,50	210,933	209,710	1,22	24,63	0,58	0,851	5,46
168	1,566	1,552	1,566	1,557	34,13	213,708	212,513	1,19	25,82	0,56	0,876	5,60
172	1,565	1,546	1,566	1,549	32,75	205,097	202,870	2,23	28,05	1,09	0,876	5,73
176	1,560	1,537	1,563	1,541	33,38	208,627	205,790	2,84	30,89	1,36	0,888	5,86
180	1,547	1,538	1,554	1,537	33,38	207,442	205,256	2,19	33,07	1,05	0,888	6,00
184	1,543	1,525	1,545	1,532	33,13	204,729	202,940	1,79	34,86	0,87	0,901	6,13
188	1,535	1,518	1,539	1,522	33,00	203,131	200,888	2,24	37,10	1,10	0,901	6,26
192	1,543	1,528	1,539	1,523	34,00	209,253	207,128	2,13	39,23	1,02	0,914	6,40
196	1,510	1,512	1,526	1,520	33,50	204,534	203,646	0,89	40,12	0,43	0,914	6,53
200	1,503	1,507	1,506	1,510	33,38	201,101	201,535	-0,43	39,68	-0,22	0,914	6,67
204	1,498	1,496	1,500	1,502	33,25	199,550	199,749	-0,20	39,48	-0,10	0,914	6,80
208	1,492	1,500	1,495	1,498	34,38	205,580	206,009	-0,43	39,05	-0,21	0,926	6,94
212	1,517	1,517	1,505	1,508	32,25	194,097	194,580	-0,48	38,57	-0,25	0,939	7,06
216	1,519	1,525	1,518	1,521	33,25	201,877	202,293	-0,42	38,16	-0,21	0,939	7,20
220	1,539	1,532	1,529	1,529	33,38	204,071	204,088	-0,02	38,14	-0,01	0,951	7,33
224	1,535	1,513	1,537	1,523	33,38	205,190	203,254	1,94	40,07	0,94	0,964	7,46
228	1,516	1,521	1,526	1,517	33,25	202,925	201,778	1,15	41,22	0,57	0,964	7,60
232	1,518	1,525	1,517	1,523	33,38	202,520	203,337	-0,82	40,40	-0,40	0,964	7,73
236	1,529	1,524	1,523	1,524	33,38	203,354	203,521	-0,17	40,24	-0,08	0,977	7,86
240	1,539	1,530	1,534	1,527	34,00	208,573	207,665	0,91	41,14	0,44	0,977	8,00
Média	1,559	1,554			32,79					0,33		

C. ent = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO E - Dados do filtro de discos *mesh* 120, vazão média de 4,06 m³.h⁻¹, sólidos suspensos 1,819 g.L⁻¹
e pressão média na entrada do filtro de 385 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat.ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	C. ent. g L ⁻¹	C. saída g L ⁻¹	C. ent. g L ⁻¹	C. saída g L ⁻¹	L min. ⁻¹	g	g	g 4,0min. ⁻¹	g	%	m	m ³
0	1,841	1,841	-	-	-	-	-	-	-	-	1,651	-
4	1,878	1,861	1,859	1,851	68,13	506,714	504,438	2,28	2,28	0,45	1,707	0,27
8	1,902	1,875	1,890	1,868	67,50	510,334	504,367	5,97	8,24	1,17	1,745	0,54
12	1,893	1,881	1,898	1,878	68,00	516,120	510,714	5,41	13,65	1,05	1,796	0,81
16	1,882	1,875	1,887	1,878	68,63	518,016	515,442	2,57	16,22	0,50	1,821	1,09
20	1,880	1,867	1,881	1,871	68,75	517,206	514,525	2,68	18,90	0,52	1,821	1,36
24	1,885	1,857	1,883	1,862	68,88	518,629	512,912	5,72	24,62	1,10	1,846	1,64
28	1,891	1,881	1,888	1,869	68,00	513,536	508,266	5,27	29,89	1,03	1,846	1,91
32	1,875	1,861	1,883	1,871	68,13	513,152	509,779	3,37	33,26	0,66	1,871	2,18
36	1,863	1,853	1,869	1,857	67,88	507,467	504,209	3,26	36,52	0,64	1,871	2,46
40	1,857	1,846	1,860	1,850	67,63	503,130	500,357	2,77	39,29	0,55	1,884	2,73
44	1,851	1,837	1,854	1,842	68,00	504,220	500,922	3,30	42,59	0,65	1,884	3,00
48	1,873	1,861	1,862	1,849	67,25	500,878	497,381	3,50	46,09	0,70	1,896	3,27
52	1,841	1,854	1,857	1,858	67,25	499,600	499,668	-0,07	46,02	-0,01	1,896	3,54
56	1,840	1,852	1,841	1,853	67,38	496,082	499,384	-3,30	42,72	-0,67	1,896	3,81
60	1,844	1,835	1,842	1,844	68,13	502,013	502,354	-0,34	42,38	-0,07	1,922	4,08
64	1,834	1,824	1,839	1,830	68,13	501,128	498,641	2,49	44,86	0,50	1,922	4,35
68	1,833	1,822	1,834	1,823	67,38	494,162	491,298	2,86	47,73	0,58	1,934	4,62
72	1,839	1,841	1,836	1,831	67,38	494,836	493,488	1,35	49,08	0,27	1,934	4,89
76	1,827	1,824	1,833	1,832	67,13	492,194	491,959	0,23	49,31	0,05	1,934	5,16
80	1,828	1,824	1,827	1,824	66,50	486,082	485,184	0,90	50,21	0,18	1,947	5,42
84	1,824	1,826	1,826	1,825	67,50	492,919	492,817	0,10	50,31	0,02	1,959	5,69
88	1,815	1,827	1,819	1,827	67,88	493,994	495,963	-1,97	48,34	-0,40	1,972	5,97
92	1,816	1,826	1,815	1,827	67,63	491,093	494,102	-3,01	45,33	-0,61	1,972	6,24
96	1,834	1,826	1,825	1,826	67,50	492,683	493,020	-0,34	44,99	-0,07	1,972	6,51
100	1,822	1,814	1,828	1,820	67,75	495,320	493,152	2,17	47,16	0,44	1,972	6,78
104	1,818	1,824	1,820	1,819	68,13	495,882	495,575	0,31	47,47	0,06	1,972	7,05
108	1,810	1,818	1,814	1,821	67,25	487,899	489,815	-1,92	45,55	-0,39	1,997	7,32
112	1,810	1,800	1,810	1,809	67,88	491,415	491,110	0,31	45,86	0,06	1,997	7,59
116	1,804	1,808	1,807	1,804	67,63	488,827	487,948	0,88	46,74	0,18	1,997	7,86
120	1,801	1,810	1,803	1,809	67,63	487,610	489,402	-1,79	44,94	-0,37	2,010	8,13
124	1,807	1,805	1,804	1,808	68,00	490,722	491,674	-0,95	43,99	-0,19	2,022	8,40
128	1,800	1,814	1,803	1,809	67,50	486,878	488,464	-1,59	42,41	-0,33	2,022	8,67
132	1,799	1,793	1,799	1,803	67,00	482,233	483,237	-1,00	41,40	-0,21	2,022	8,94
136	1,794	1,782	1,797	1,787	67,63	485,953	483,417	2,54	43,94	0,52	2,022	9,21
140	1,795	1,793	1,795	1,787	67,50	484,515	482,524	1,99	45,93	0,41	2,022	9,48
144	1,814	1,814	1,804	1,803	67,88	489,922	489,616	0,31	46,23	0,06	2,035	9,75
148	1,812	1,818	1,813	1,816	67,75	491,323	492,102	-0,78	45,46	-0,16	2,035	10,02
152	1,804	1,820	1,808	1,819	67,63	489,132	492,039	-2,91	42,55	-0,59	2,048	10,29
156	1,808	1,810	1,806	1,815	67,38	486,683	489,244	-2,56	39,99	-0,53	2,060	10,56
160	1,811	1,802	1,810	1,806	67,50	488,565	487,688	0,88	40,86	0,18	2,060	10,83
164	1,812	1,802	1,812	1,802	67,25	487,361	484,805	2,56	43,42	0,52	2,073	11,10
168	1,796	1,804	1,804	1,803	67,38	486,144	485,942	0,20	43,62	0,04	2,073	11,37
172	1,796	1,797	1,796	1,800	67,50	484,819	486,067	-1,25	42,37	-0,26	2,085	11,64
176	1,794	1,796	1,795	1,797	67,75	486,377	486,885	-0,51	41,87	-0,10	2,098	11,91
180	1,780	1,798	1,787	1,797	67,50	482,456	485,224	-2,77	39,10	-0,57	2,098	12,18
184	1,786	1,784	1,783	1,791	67,75	483,091	485,259	-2,17	36,93	-0,45	2,111	12,45
188	1,775	1,759	1,780	1,771	68,13	485,118	482,666	2,45	39,38	0,51	2,111	12,73
192	1,767	1,754	1,771	1,756	68,25	483,517	479,456	4,06	43,44	0,84	2,111	13,00
196	1,769	1,761	1,768	1,757	67,63	478,244	475,336	2,91	46,35	0,61	2,111	13,27
200	1,787	1,785	1,778	1,773	67,63	480,881	479,596	1,28	47,64	0,27	2,123	13,54
204	1,791	1,789	1,789	1,787	67,63	483,857	483,350	0,51	48,14	0,10	2,123	13,81
208	1,789	1,786	1,790	1,788	67,88	485,951	485,306	0,64	48,79	0,13	2,136	14,08
212	1,791	1,780	1,790	1,783	67,88	485,917	484,085	1,83	50,62	0,38	2,148	14,35
216	1,786	1,776	1,788	1,778	67,25	481,006	478,181	2,82	53,45	0,59	2,161	14,62
220	1,776	1,766	1,781	1,771	68,00	484,432	481,610	2,82	56,27	0,58	2,174	14,90
224	1,781	1,766	1,778	1,766	67,38	479,306	475,903	3,40	59,67	0,71	2,174	15,17
228	1,781	1,778	1,781	1,772	67,50	480,870	478,373	2,50	62,17	0,52	2,174	15,44
232	1,772	1,770	1,777	1,774	67,63	480,577	479,799	0,78	62,94	0,16	2,186	15,71
236	1,775	1,759	1,773	1,765	67,63	479,698	477,331	2,37	65,31	0,49	2,186	15,98
240	1,775	1,759	1,775	1,759	67,75	480,957	476,757	4,20	69,51	0,87	2,186	16,25
Média	1,819	1,814			66,59					0,23		

C. ent = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO F - Dados do filtro de discos *mesh* 120, vazão média de 2,00 m³.h⁻¹, sólidos suspensos 1,9461g.L⁻¹ e pressão média na entrada do filtro de 380 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	(1) M. ent.	(2) M. saída	(3) M. ret.	(4) M. ac.	Porc. mat.ret.	hf	(5) V. ac.
min.	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g L ⁻¹	g L ⁻¹	L min. ⁻¹	g	g	g 4,0min. ⁻¹	g	%	m	m ³
0	2,024	2,024	-	-	-	-	-	-	-	-	0,428	0
4	2,046	2,021	2,035	2,022	33,50	272,657	270,982	1,67	1,68	0,61	0,428	0,13
8	2,032	2,035	2,039	2,028	33,00	269,082	267,630	1,45	3,13	0,54	0,441	0,27
12	2,044	2,021	2,038	2,028	32,13	261,819	260,550	1,27	4,40	0,48	0,441	0,39
16	2,034	2,016	2,039	2,018	34,38	280,345	277,492	2,85	7,25	1,02	0,454	0,53
20	2,032	2,027	2,033	2,021	32,50	264,274	262,779	1,49	8,74	0,57	0,454	0,66
24	2,022	1,998	2,027	2,013	33,38	270,571	268,685	1,89	10,63	0,70	0,466	0,80
28	2,027	2,010	2,024	2,004	33,25	269,225	266,565	2,66	13,29	0,99	0,466	0,93
32	2,038	2,015	2,032	2,013	33,50	272,305	269,692	2,61	15,90	0,96	0,479	1,06
36	1,995	1,990	2,016	2,003	33,38	269,153	267,334	1,82	17,72	0,68	0,479	1,20
40	1,986	1,959	1,990	1,975	33,75	268,701	266,574	2,13	19,85	0,79	0,479	1,33
44	1,993	1,977	1,990	1,968	33,88	269,611	266,647	2,96	22,81	1,10	0,491	1,47
48	1,992	1,981	1,993	1,979	33,00	263,043	261,195	1,85	24,66	0,70	0,491	1,60
52	1,999	1,967	1,996	1,974	33,25	265,418	262,492	2,93	27,59	1,10	0,491	1,73
56	1,969	1,966	1,984	1,966	33,63	266,848	264,477	2,37	29,96	0,89	0,491	1,87
60	1,960	1,931	1,965	1,949	33,88	266,190	264,039	2,15	32,11	0,81	0,491	2,00
64	1,961	1,943	1,960	1,937	32,75	256,809	253,747	3,06	35,17	1,19	0,491	2,13
68	1,962	1,943	1,962	1,943	32,88	257,937	255,472	2,47	37,64	0,96	0,504	2,26
72	1,922	1,906	1,942	1,924	34,00	264,146	261,681	2,47	40,10	0,93	0,504	2,40
76	1,927	1,919	1,925	1,912	32,63	251,147	249,532	1,61	41,72	0,64	0,504	2,53
80	1,904	1,922	1,916	1,920	33,75	258,593	259,267	-0,67	41,04	-0,26	0,504	2,67
84	1,909	1,910	1,907	1,916	34,13	260,271	261,568	-1,30	39,74	-0,50	0,504	2,80
88	1,919	1,919	1,914	1,915	33,38	255,552	255,619	-0,07	39,68	-0,03	0,504	2,94
92	1,927	1,906	1,923	1,913	33,25	255,759	254,379	1,38	41,06	0,54	0,504	3,07
96	1,921	1,907	1,924	1,907	33,00	253,968	251,674	2,29	43,35	0,90	0,517	3,20
100	1,934	1,915	1,928	1,911	33,13	255,443	253,224	2,22	45,57	0,87	0,517	3,33
104	1,901	1,903	1,918	1,909	32,88	252,201	250,984	1,22	46,79	0,48	0,517	3,46
108	1,892	1,892	1,896	1,897	33,00	250,338	250,421	-0,08	46,70	-0,03	0,517	3,60
112	1,887	1,890	1,889	1,891	33,75	255,066	255,251	-0,19	46,52	-0,07	0,517	3,73
116	1,884	1,889	1,886	1,890	33,13	249,829	250,359	-0,53	45,99	-0,21	0,517	3,86
120	1,885	1,892	1,885	1,891	33,75	254,424	255,268	-0,84	45,14	-0,33	0,517	4,00
124	1,888	1,911	1,887	1,902	33,38	251,881	253,867	-1,99	43,16	-0,79	0,529	4,13
128	1,898	1,898	1,893	1,904	33,63	254,642	256,122	-1,48	41,68	-0,58	0,529	4,27
132	1,881	1,861	1,889	1,879	33,25	251,303	249,957	1,35	43,03	0,54	0,529	4,40
136	1,874	1,859	1,877	1,860	34,00	255,340	252,943	2,40	45,42	0,94	0,542	4,54
140	1,875	1,864	1,874	1,862	33,50	251,166	249,441	1,73	47,15	0,69	0,554	4,67
144	1,976	1,993	1,925	1,929	33,88	260,888	261,346	-0,46	46,69	-0,18	0,554	4,81
148	1,974	1,964	1,975	1,979	33,75	266,676	267,131	-0,46	46,23	-0,17	0,554	4,94
152	1,970	1,951	1,972	1,957	33,38	263,262	261,326	1,94	48,17	0,74	0,554	5,07
156	1,981	1,963	1,975	1,957	33,50	264,700	262,221	2,48	50,65	0,94	0,554	5,21
160	1,974	1,961	1,977	1,962	33,25	263,007	260,929	2,08	52,73	0,79	0,554	5,34
164	1,876	1,847	1,925	1,904	33,50	257,933	255,086	2,85	55,58	1,10	0,554	5,48
168	1,963	1,958	1,919	1,902	32,75	251,438	249,211	2,23	57,80	0,89	0,554	5,61
172	1,901	1,872	1,932	1,915	32,88	254,009	251,855	2,15	59,96	0,85	0,554	5,74
176	1,922	1,910	1,911	1,891	33,63	257,046	254,356	2,69	62,65	1,05	0,554	5,87
180	1,905	1,888	1,914	1,899	33,50	256,409	254,433	1,98	64,62	0,77	0,554	6,01
184	1,925	1,904	1,915	1,896	33,00	252,829	250,223	2,61	67,23	1,03	0,554	6,14
188	1,913	1,934	1,919	1,919	33,25	255,260	255,210	0,05	67,28	0,02	0,567	6,27
192	1,952	1,940	1,932	1,937	33,13	256,040	256,636	-0,60	66,68	-0,23	0,567	6,40
196	1,939	1,922	1,945	1,931	32,88	255,817	253,943	1,87	68,56	0,73	0,567	6,54
200	1,951	1,932	1,945	1,927	33,38	259,691	257,255	2,44	70,99	0,94	0,580	6,67
204	1,946	1,932	1,949	1,932	33,38	260,158	257,855	2,30	73,30	0,89	0,580	6,80
208	1,947	1,929	1,946	1,930	33,13	257,895	255,758	2,14	75,43	0,83	0,580	6,93
212	1,930	1,938	1,939	1,934	33,13	256,851	256,205	0,65	76,08	0,25	0,580	7,07
216	1,922	1,931	1,926	1,935	33,13	255,212	256,321	-1,11	74,97	-0,43	0,580	7,20
220	1,922	1,921	1,922	1,926	33,63	258,492	259,047	-0,55	74,41	-0,21	0,580	7,33
224	1,941	1,911	1,931	1,916	33,25	256,840	254,878	1,96	76,38	0,76	0,580	7,47
228	1,915	1,912	1,928	1,912	33,25	256,424	254,296	2,13	78,50	0,83	0,592	7,60
232	1,944	1,917	1,930	1,915	33,50	258,603	256,593	2,01	80,51	0,78	0,592	7,73
236	1,912	1,909	1,928	1,913	33,88	261,244	259,195	2,05	82,56	0,78	0,592	7,87
240	1,948	1,912	1,930	1,910	33,50	258,603	255,974	2,63	85,19	1,02	0,592	8,00
Média	1,946	1,935			33,35					0,54		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

(1) M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

(2) M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

(3) M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

(4) M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

(5) V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO G - Dados do filtro de discos *mesh* 155, vazão média de $3,70 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $0,837 \text{ g L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro de 378 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat.ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	L min^{-1}	g	g	g 4,0min^{-1}	g	%	m	m^3
0	0,903	0,903	-	-	-	-	-	-	-	-	2,003	-
4	0,889	0,884	0,896	0,893	60,50	216,796	216,203	0,59	0,59	0,27	2,066	0,24
8	0,889	0,874	0,889	0,879	60,75	216,021	213,664	2,36	2,95	1,09	2,142	0,49
12	0,881	0,882	0,885	0,878	61,00	215,910	214,287	1,62	4,57	0,75	2,224	0,73
16	0,896	0,891	0,888	0,886	61,75	219,459	218,928	0,53	5,10	0,24	2,325	0,98
20	0,884	0,879	0,890	0,885	61,75	219,830	218,533	1,30	6,40	0,59	2,407	1,22
24	0,877	0,869	0,880	0,874	62,63	220,503	218,874	1,63	8,03	0,74	2,489	1,47
28	0,885	0,874	0,881	0,871	59,88	210,940	208,694	2,25	10,27	1,06	2,558	1,71
32	0,870	0,868	0,877	0,871	62,63	219,782	218,186	1,60	11,87	0,73	2,646	1,96
36	0,875	0,854	0,873	0,861	59,88	208,964	206,180	2,78	14,66	1,33	2,734	2,20
40	0,867	0,867	0,871	0,860	58,00	202,072	199,607	2,47	17,12	1,22	2,797	2,44
44	0,857	0,845	0,862	0,856	60,25	207,682	206,206	1,48	18,60	0,71	2,898	2,68
48	0,858	0,855	0,857	0,850	62,25	213,486	211,538	1,95	20,54	0,91	3,011	2,93
52	0,835	0,822	0,847	0,838	60,88	206,123	204,126	2,00	22,54	0,97	3,087	3,17
56	0,850	0,847	0,842	0,834	62,00	208,881	206,894	1,99	24,53	0,95	3,188	3,42
60	0,828	0,816	0,839	0,831	64,25	215,562	213,567	1,99	26,52	0,93	3,301	3,67
64	0,821	0,820	0,824	0,818	62,25	205,269	203,670	1,60	28,12	0,78	3,364	3,92
68	0,821	0,842	0,821	0,831	66,13	217,154	219,786	-2,63	25,49	-1,21	3,452	4,19
72	0,845	0,840	0,833	0,841	61,38	204,532	206,343	-1,81	23,68	-0,89	3,553	4,43
76	0,842	0,852	0,843	0,846	61,75	208,314	208,931	-0,62	23,06	-0,30	3,667	4,68
80	0,844	0,849	0,843	0,850	61,75	208,190	210,073	-1,88	21,18	-0,90	3,755	4,93
84	0,851	0,865	0,848	0,857	62,00	210,242	212,474	-2,23	18,95	-1,06	3,843	5,17
88	0,871	0,856	0,861	0,860	61,38	211,406	211,253	0,15	19,10	0,07	3,956	5,42
92	0,850	0,860	0,860	0,858	61,63	212,082	211,528	0,55	19,66	0,26	4,045	5,67
96	0,849	0,850	0,850	0,855	62,38	211,981	213,323	-1,34	18,32	-0,63	4,145	5,92
100	0,837	0,839	0,843	0,844	62,50	210,844	211,094	-0,25	18,07	-0,12	4,234	6,17
104	0,836	0,843	0,837	0,841	60,75	203,300	204,302	-1,00	17,06	-0,49	4,334	6,41
108	0,851	0,838	0,844	0,840	61,50	207,501	206,702	0,80	17,86	0,39	4,410	6,66
112	0,842	0,840	0,847	0,839	62,50	211,719	209,719	2,00	19,86	0,94	4,511	6,91
116	0,829	0,821	0,836	0,830	60,25	201,356	200,150	1,21	21,07	0,60	4,599	7,15
120	0,861	0,855	0,845	0,838	63,25	213,690	211,951	1,74	22,81	0,81	4,700	7,40
124	0,836	0,850	0,848	0,852	61,13	207,397	208,314	-0,92	21,89	-0,44	4,769	7,64
128	0,840	0,835	0,838	0,842	62,38	209,050	210,110	-1,06	20,83	-0,51	4,864	7,89
132	0,826	0,847	0,833	0,841	61,38	204,471	206,373	-1,90	18,93	-0,93	4,946	8,14
136	0,828	0,834	0,827	0,840	62,00	205,065	208,413	-3,35	15,58	-1,63	5,046	8,39
140	0,837	0,846	0,833	0,840	61,63	205,273	207,122	-1,85	13,73	-0,90	5,153	8,63
144	0,837	0,825	0,837	0,836	59,25	198,458	198,102	0,36	14,09	0,18	5,229	8,87
148	0,827	0,819	0,832	0,822	63,38	210,944	208,504	2,44	16,53	1,16	5,330	9,12
152	0,828	0,818	0,828	0,819	61,38	203,213	201,003	2,21	18,73	1,09	5,405	9,37
156	0,809	0,818	0,819	0,818	64,13	210,009	209,785	0,22	18,96	0,11	5,494	9,63
160	0,816	0,819	0,813	0,819	60,38	196,219	197,668	-1,45	17,51	-0,74	5,544	9,87
164	0,826	0,812	0,821	0,816	60,75	199,473	198,227	1,25	18,76	0,62	5,632	10,11
168	0,824	0,823	0,825	0,818	62,38	205,775	203,972	1,80	20,56	0,88	5,746	10,36
172	0,818	0,805	0,821	0,814	61,50	201,935	200,158	1,78	22,34	0,88	5,821	10,61
176	0,813	0,813	0,815	0,809	60,38	196,883	195,313	1,57	23,91	0,80	5,884	10,85
180	0,824	0,803	0,818	0,808	61,50	201,290	198,737	2,55	26,46	1,27	5,985	11,09
184	0,804	0,801	0,814	0,802	60,13	195,797	192,851	2,95	29,40	1,50	6,035	11,33
188	0,810	0,809	0,807	0,805	61,13	197,336	196,792	0,54	29,95	0,28	6,111	11,58
192	0,805	0,810	0,808	0,809	60,88	196,651	197,052	-0,40	29,55	-0,20	6,174	11,82
196	0,820	0,812	0,813	0,811	60,00	195,000	194,670	0,33	29,88	0,17	6,243	12,06
200	0,812	0,811	0,816	0,812	62,63	204,392	203,375	1,02	30,89	0,50	6,313	12,31
204	0,799	0,810	0,805	0,811	62,25	200,523	201,846	-1,32	29,57	-0,66	6,376	12,56
208	0,815	0,817	0,807	0,814	62,00	200,043	201,810	-1,77	27,80	-0,88	6,476	12,81
212	0,799	0,809	0,807	0,813	63,38	204,606	206,159	-1,55	26,25	-0,76	6,514	13,06
216	0,808	0,810	0,804	0,809	62,38	200,536	201,939	-1,40	24,85	-0,70	6,628	13,31
220	0,792	0,805	0,800	0,807	63,25	202,400	204,266	-1,87	22,98	-0,92	6,703	13,57
224	0,800	0,804	0,796	0,804	62,25	198,235	200,289	-2,05	20,93	-1,04	6,779	13,81
228	0,797	0,808	0,799	0,806	61,75	197,291	199,051	-1,76	19,17	-0,89	6,842	14,06
232	0,800	0,804	0,799	0,806	63,13	201,706	203,515	-1,81	17,36	-0,90	6,905	14,31
236	0,818	0,804	0,809	0,804	60,88	196,982	195,774	1,21	18,57	0,61	6,955	14,56
240	0,797	0,795	0,807	0,799	61,50	198,559	196,671	1,89	20,46	0,95	7,031	14,80
Média	0,837	0,836			61,68					0,16		

C. ent = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO H - Dados do filtro de discos *mesh* 155, vazão média de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $0,841 \text{ g L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro de 381 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat.ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	L min.^{-1}	g	g	g 4,0min.^{-1}	g	%	m	m^3
0	0,887	0,887	-	-	-	-	-	-	-	-	0,536	-
4	0,869	0,864	0,878	0,875	29,75	104,527	104,182	0,35	0,35	0,33	0,573	0,12
8	0,837	0,835	0,853	0,849	28,88	98,565	98,074	0,49	0,84	0,50	0,586	0,23
12	0,857	0,851	0,847	0,843	29,50	99,976	99,444	0,53	1,37	0,53	0,599	0,35
16	0,862	0,858	0,860	0,854	30,38	104,444	103,807	0,64	2,00	0,61	0,611	0,47
20	0,863	0,855	0,862	0,856	30,25	104,362	103,606	0,76	2,76	0,72	0,624	0,60
24	0,846	0,841	0,855	0,848	30,00	102,570	101,745	0,82	3,59	0,80	0,636	0,72
28	0,847	0,844	0,847	0,842	30,38	102,910	102,349	0,56	4,15	0,55	0,649	0,84
32	0,843	0,833	0,845	0,838	29,75	100,614	99,781	0,83	4,98	0,83	0,662	0,96
36	0,841	0,839	0,842	0,836	31,00	104,439	103,695	0,74	5,73	0,71	0,674	1,08
40	0,841	0,836	0,841	0,837	29,13	97,962	97,554	0,41	6,13	0,42	0,687	1,20
44	0,849	0,841	0,845	0,838	30,88	104,311	103,539	0,77	6,90	0,74	0,687	1,32
48	0,856	0,850	0,852	0,846	30,50	103,944	103,182	0,76	7,67	0,73	0,693	1,44
52	0,842	0,840	0,849	0,845	29,88	101,426	100,978	0,45	8,12	0,44	0,712	1,56
56	0,844	0,836	0,843	0,838	30,63	103,283	102,655	0,63	8,74	0,61	0,712	1,68
60	0,850	0,846	0,847	0,841	29,50	99,946	99,253	0,69	9,44	0,69	0,712	1,80
64	0,848	0,838	0,849	0,842	30,13	102,289	101,491	0,80	10,23	0,78	0,725	1,92
68	0,845	0,842	0,847	0,840	30,13	102,018	101,235	0,78	11,02	0,77	0,750	2,04
72	0,855	0,850	0,850	0,846	30,63	104,156	103,635	0,52	11,54	0,50	0,762	2,17
76	0,859	0,851	0,857	0,850	30,00	102,870	102,060	0,81	12,35	0,79	0,762	2,29
80	0,853	0,848	0,856	0,849	31,00	106,144	105,338	0,81	13,15	0,76	0,775	2,41
84	0,854	0,859	0,853	0,853	29,75	101,522	101,566	-0,04	13,11	-0,04	0,781	2,53
88	0,845	0,848	0,849	0,853	29,88	101,456	101,948	-0,49	12,62	-0,49	0,794	2,65
92	0,849	0,836	0,847	0,842	30,50	103,319	102,678	0,64	13,26	0,62	0,794	2,77
96	0,848	0,851	0,848	0,843	30,00	101,820	101,190	0,63	13,89	0,62	0,806	2,89
100	0,854	0,841	0,851	0,846	29,63	100,799	100,221	0,58	14,47	0,57	0,819	3,01
104	0,836	0,836	0,845	0,838	29,88	100,948	100,186	0,76	15,23	0,75	0,832	3,13
108	0,835	0,837	0,835	0,837	29,88	99,827	99,977	-0,15	15,08	-0,15	0,857	3,25
112	0,839	0,841	0,837	0,839	29,63	99,140	99,407	-0,27	14,81	-0,27	0,857	3,37
116	0,846	0,842	0,843	0,841	29,88	100,679	100,559	0,12	14,93	0,12	0,869	3,49
120	0,834	0,822	0,840	0,832	29,50	99,150	98,191	0,96	15,89	0,97	0,869	3,60
124	0,834	0,834	0,834	0,828	30,13	100,482	99,729	0,75	16,64	0,75	0,882	3,72
128	0,864	0,848	0,849	0,841	29,75	101,031	100,049	0,98	17,62	0,97	0,882	3,84
132	0,837	0,843	0,851	0,846	30,00	102,075	101,475	0,60	18,22	0,59	0,895	3,96
136	0,828	0,836	0,833	0,839	30,13	100,316	101,160	-0,84	17,38	-0,84	0,907	4,08
140	0,823	0,825	0,825	0,830	30,00	99,030	99,660	-0,63	16,75	-0,64	0,920	4,20
144	0,848	0,834	0,835	0,830	30,25	101,050	100,385	0,67	17,42	0,66	0,932	4,32
148	0,834	0,831	0,841	0,833	30,00	100,920	99,930	0,99	18,41	0,98	0,932	4,44
152	0,843	0,836	0,839	0,834	30,75	103,151	102,551	0,60	19,01	0,58	0,958	4,57
156	0,833	0,829	0,838	0,833	30,75	103,074	102,398	0,68	19,68	0,66	0,958	4,69
160	0,840	0,832	0,836	0,831	31,38	104,965	104,228	0,74	20,42	0,70	0,970	4,82
164	0,839	0,838	0,839	0,835	30,50	102,419	101,870	0,55	20,97	0,54	0,970	4,94
168	0,840	0,830	0,840	0,834	30,50	102,419	101,763	0,66	21,62	0,64	0,995	5,06
172	0,835	0,830	0,837	0,830	30,38	101,711	100,830	0,88	22,51	0,87	1,008	5,18
176	0,831	0,837	0,833	0,833	31,00	103,261	103,307	-0,05	22,46	-0,05	1,008	5,31
180	0,825	0,824	0,828	0,830	31,13	103,102	103,351	-0,25	22,21	-0,24	1,021	5,43
184	0,825	0,823	0,825	0,823	30,38	100,253	100,010	0,24	22,45	0,24	1,021	5,55
188	0,827	0,823	0,826	0,823	30,50	100,787	100,406	0,38	22,83	0,38	1,033	5,67
192	0,823	0,820	0,825	0,821	31,00	102,300	101,866	0,43	23,27	0,42	1,033	5,80
196	0,825	0,818	0,824	0,819	31,38	103,381	102,753	0,63	23,90	0,61	1,046	5,92
200	0,819	0,820	0,822	0,819	30,50	100,284	99,872	0,41	24,31	0,41	1,046	6,04
204	0,828	0,822	0,823	0,821	30,25	99,628	99,341	0,29	24,59	0,29	1,058	6,17
208	0,826	0,823	0,827	0,823	30,75	101,660	101,198	0,46	25,06	0,45	1,058	6,29
212	0,828	0,826	0,827	0,824	30,75	101,660	101,398	0,26	25,32	0,26	1,071	6,41
216	0,820	0,824	0,824	0,825	30,25	99,689	99,810	-0,12	25,20	-0,12	1,071	6,53
220	0,827	0,828	0,824	0,826	30,88	101,718	102,026	-0,31	24,89	-0,30	1,096	6,66
224	0,824	0,823	0,825	0,826	31,13	102,759	102,806	-0,05	24,84	-0,05	1,096	6,78
228	0,820	0,820	0,822	0,821	31,13	102,339	102,261	0,08	24,92	0,08	1,096	6,91
232	0,819	0,821	0,819	0,820	31,13	102,012	102,090	-0,08	24,84	-0,08	1,109	7,03
236	0,845	0,836	0,832	0,828	31,25	103,984	103,547	0,44	25,28	0,42	1,109	7,15
240	0,837	0,837	0,841	0,837	30,75	103,455	102,923	0,53	25,81	0,51	1,134	7,28
Média	0,841	0,837			30,32					0,42		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO I - Dados do filtro de discos *mesh* 155, vazão média de $3,61 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $1,489 \text{ g L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro de 384 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat. ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	C. ent. g L^{-1}	C. saída g L^{-1}	C. ent. g L^{-1}	C. saída g L^{-1}	L min.^{-1}	g	g	g 4,0min.^{-1}	g	%	m	m^3
0	1,513	1,513	-	-	-	-	-	-	-	-	2,066	-
4	1,505	1,485	1,509	1,499	59,38	358,388	356,013	2,37	2,38	0,66	2,841	0,24
8	1,494	1,475	1,500	1,480	61,63	369,627	364,851	4,78	7,15	1,29	3,881	0,48
12	1,495	1,483	1,494	1,479	59,13	353,420	349,784	3,64	10,79	1,03	4,612	0,72
16	1,503	1,492	1,499	1,487	58,75	352,206	349,533	2,67	13,46	0,76	5,500	0,96
20	1,519	1,509	1,511	1,501	61,00	368,684	366,183	2,50	15,96	0,68	6,395	1,20
24	1,508	1,496	1,514	1,503	60,50	366,327	363,696	2,63	18,59	0,72	7,169	1,44
28	1,504	1,492	1,506	1,494	60,63	365,235	362,295	2,94	21,53	0,81	8,329	1,68
32	1,502	1,490	1,503	1,491	61,50	369,769	366,786	2,98	24,52	0,81	9,236	1,93
36	1,484	1,491	1,493	1,491	58,75	350,884	350,356	0,53	25,04	0,15	10,168	2,17
40	1,482	1,483	1,483	1,487	59,50	352,954	353,995	-1,04	24,00	-0,30	10,975	2,40
44	1,482	1,473	1,482	1,478	58,75	348,270	347,359	0,91	24,91	0,26	11,819	2,64
48	1,488	1,482	1,485	1,478	59,25	351,915	350,168	1,75	26,66	0,50	12,682	2,88
52	1,482	1,484	1,485	1,483	60,88	361,506	361,080	0,43	27,09	0,12	13,532	3,12
56	1,485	1,486	1,483	1,485	59,13	350,789	351,114	-0,33	26,76	-0,09	14,452	3,36
60	1,485	1,479	1,485	1,482	61,00	362,309	361,669	0,64	27,40	0,18	15,158	3,60
64	1,479	1,471	1,482	1,475	60,88	360,806	359,102	1,70	29,11	0,47	16,260	3,84
68	1,493	1,472	1,486	1,471	63,38	376,669	372,930	3,74	32,85	0,99	16,928	4,10
72	1,468	1,467	1,481	1,470	59,75	353,899	351,211	2,69	35,54	0,76	17,716	4,34
76	1,470	1,452	1,469	1,460	59,00	346,772	344,484	2,29	37,82	0,66	18,591	4,57
80	1,461	1,455	1,466	1,453	60,38	353,979	350,972	3,01	40,83	0,85	19,410	4,81
84	1,465	1,462	1,463	1,458	59,38	347,552	346,275	1,28	42,11	0,37	20,494	5,05
Média	1,489	1,481			60,12					0,56		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO J - Dados do filtro de discos *mesh* 155, vazão média de 1,83 m³ h⁻¹, sólidos suspensos 1,496 g L⁻¹ e pressão média na entrada do filtro de 384 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	(1) M. ent.	(2) M. saída	(3) M. ret.	(4) M. ac.	Porc. mat. ret.	hf	(5) V. ac.
min.	C. ent. g L ⁻¹	C. saída g L ⁻¹	C. ent. g L ⁻¹	C. saída g L ⁻¹	L min. ⁻¹	g	g	g 4,0min. ⁻¹	g	%	m	m ³
0	1,525	1,525	-	-	-	-	-	-	-	-	0,517	-
4	1,530	1,522	1,527	1,523	31,25	190,937	190,406	0,53	0,53	0,28	0,573	0,13
8	1,520	1,508	1,525	1,515	30,88	188,322	187,056	1,27	1,80	0,67	0,611	0,25
12	1,524	1,512	1,522	1,510	31,50	191,788	190,244	1,54	3,34	0,80	0,636	0,37
16	1,515	1,511	1,520	1,512	32,75	199,087	198,023	1,06	4,40	0,53	0,687	0,51
20	1,526	1,511	1,521	1,511	30,88	187,797	186,624	1,17	5,58	0,62	0,725	0,63
24	1,515	1,513	1,520	1,512	29,50	179,419	178,445	0,97	6,55	0,54	0,737	0,75
28	1,514	1,502	1,515	1,508	30,00	181,740	180,915	0,83	7,38	0,45	0,762	0,87
32	1,515	1,514	1,515	1,508	30,13	182,542	181,714	0,83	8,21	0,45	0,788	0,99
36	1,519	1,511	1,517	1,513	30,38	184,376	183,814	0,56	8,77	0,30	0,825	1,11
40	1,514	1,504	1,517	1,508	30,13	182,753	181,699	1,05	9,82	0,58	0,851	1,23
44	1,514	1,513	1,514	1,508	30,38	183,936	183,283	0,65	10,47	0,36	0,876	1,35
48	1,516	1,500	1,515	1,506	30,13	182,542	181,533	1,01	11,48	0,55	0,901	1,47
52	1,509	1,504	1,512	1,502	30,38	183,754	182,539	1,22	12,70	0,66	0,951	1,59
56	1,510	1,509	1,509	1,507	30,25	182,649	182,302	0,35	13,05	0,19	0,989	1,71
60	1,508	1,502	1,509	1,506	31,00	187,147	186,682	0,46	13,51	0,25	1,014	1,84
64	1,504	1,505	1,506	1,504	30,38	182,994	182,675	0,32	13,83	0,17	1,040	1,96
68	1,501	1,503	1,503	1,504	30,38	182,554	182,706	-0,15	13,68	-0,08	1,084	2,08
72	1,476	1,496	1,488	1,500	30,25	180,108	181,455	-1,35	12,33	-0,75	1,140	2,20
76	1,522	1,502	1,499	1,499	30,13	180,599	180,660	-0,06	12,27	-0,03	1,166	2,32
80	1,513	1,515	1,517	1,509	30,38	184,361	183,313	1,05	13,32	0,57	1,203	2,44
84	1,503	1,503	1,508	1,509	31,13	187,746	187,917	-0,17	13,15	-0,09	1,254	2,57
88	1,502	1,512	1,502	1,507	30,00	180,300	180,885	-0,59	12,56	-0,32	1,304	2,69
92	1,503	1,508	1,503	1,510	30,75	184,823	185,699	-0,88	11,69	-0,47	1,342	2,81
96	1,511	1,494	1,507	1,501	30,00	180,855	180,120	0,74	12,42	0,41	1,386	2,93
100	1,501	1,485	1,506	1,489	30,25	182,241	180,214	2,03	14,45	1,11	1,418	3,05
104	1,485	1,475	1,493	1,480	30,75	183,631	182,025	1,61	16,06	0,87	1,468	3,18
108	1,478	1,481	1,481	1,478	30,50	180,705	180,316	0,39	16,44	0,22	1,506	3,30
112	1,483	1,468	1,481	1,474	30,25	179,141	178,384	0,76	17,20	0,42	1,569	3,42
116	1,483	1,466	1,483	1,467	30,75	182,455	180,426	2,03	19,23	1,11	1,619	3,54
120	1,486	1,471	1,485	1,469	30,50	181,124	179,157	1,97	21,20	1,09	1,682	3,66
124	1,468	1,469	1,477	1,470	30,75	181,671	180,764	0,91	22,11	0,50	1,745	3,79
128	1,458	1,464	1,463	1,466	30,88	180,696	181,082	-0,39	21,72	-0,21	1,796	3,91
132	1,467	1,465	1,462	1,465	30,50	178,394	178,699	-0,30	21,41	-0,17	1,846	4,03
136	1,513	1,511	1,490	1,488	30,88	183,984	183,799	0,19	21,60	0,10	1,871	4,16
140	1,511	1,501	1,512	1,506	30,13	182,181	181,443	0,74	22,34	0,41	1,896	4,28
144	1,509	1,499	1,510	1,500	30,50	184,220	182,985	1,24	23,57	0,67	1,947	4,40
148	1,493	1,491	1,501	1,495	30,63	183,857	183,153	0,70	24,28	0,38	1,997	4,52
152	1,491	1,488	1,492	1,489	29,88	178,234	177,965	0,27	24,55	0,15	2,048	4,64
156	1,496	1,494	1,493	1,491	30,00	179,205	178,890	0,32	24,86	0,18	2,111	4,76
160	1,498	1,487	1,497	1,490	30,63	183,398	182,571	0,83	25,69	0,45	2,167	4,88
164	1,491	1,485	1,495	1,486	30,63	183,092	182,035	1,06	26,74	0,58	2,237	5,01
168	1,483	1,484	1,487	1,485	30,50	181,445	181,124	0,32	27,06	0,18	2,287	5,13
172	1,510	1,474	1,496	1,479	30,50	182,558	180,438	2,12	29,18	1,16	2,325	5,25
176	1,495	1,485	1,502	1,480	30,00	180,240	177,570	2,67	31,85	1,48	2,363	5,37
180	1,478	1,473	1,486	1,479	30,50	181,323	180,468	0,85	32,71	0,47	2,413	5,49
184	1,501	1,459	1,490	1,466	30,00	178,740	175,920	2,82	35,53	1,58	2,463	5,61
188	1,483	1,489	1,492	1,474	30,25	180,532	178,339	2,19	37,72	1,21	2,514	5,73
192	1,482	1,472	1,483	1,481	30,38	180,139	179,881	0,26	37,98	0,14	2,577	5,85
196	1,463	1,451	1,473	1,462	30,38	178,939	177,572	1,37	39,35	0,76	2,615	5,98
200	1,459	1,449	1,461	1,450	30,63	179,003	177,610	1,39	40,74	0,78	2,652	6,10
204	1,483	1,446	1,471	1,448	30,00	176,550	173,715	2,84	43,58	1,61	2,703	6,22
208	1,469	1,458	1,476	1,452	30,63	180,810	177,885	2,92	46,50	1,62	2,753	6,34
212	1,492	1,457	1,480	1,458	30,63	181,315	178,559	2,76	49,26	1,52	2,816	6,46
216	1,477	1,466	1,484	1,462	30,13	178,837	176,141	2,70	51,95	1,51	2,854	6,58
220	1,469	1,460	1,473	1,463	30,63	180,427	179,202	1,22	53,18	0,68	2,923	6,71
224	1,452	1,450	1,461	1,455	29,25	170,893	170,235	0,66	53,84	0,39	2,980	6,82
228	1,454	1,461	1,453	1,456	30,38	176,570	176,874	-0,30	53,53	-0,17	3,018	6,94
232	1,479	1,475	1,467	1,468	30,50	178,944	179,081	-0,14	53,39	-0,08	3,056	7,07
236	1,496	1,488	1,488	1,481	30,63	182,219	181,468	0,75	54,14	0,41	3,106	7,19
240	1,482	1,464	1,489	1,476	30,50	181,649	180,096	1,55	55,70	0,85	3,141	7,31
Média	1,496	1,488			30,46					0,51		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

(1) M. entr. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

(2) M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

(3) M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

(4) M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

(5) V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO K - Dados do filtro de discos *mesh* 155, vazão média de $3,62 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $2,024 \text{ g L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro de 380 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat. ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	C. ent. g L^{-1}	C. saída g L^{-1}	C. ent. g L^{-1}	C. saída g L^{-1}	L min^{-1}	g	g	g 4,0min^{-1}	g	%	m	m^3
0	2,026	2,026	-	-	-	-	-	-	-	-	2,117	-
4	2,027	2,001	2,027	2,013	60,75	492,476	489,250	3,23	3,23	0,66	2,539	0,24
8	2,013	2,009	2,020	2,005	59,88	483,880	480,138	3,74	6,97	0,77	3,068	0,48
12	2,029	2,005	2,021	2,007	60,00	485,100	481,590	3,51	10,48	0,72	4,032	0,72
16	2,023	2,010	2,026	2,007	62,38	505,487	500,778	4,71	15,19	0,93	5,065	0,97
20	2,028	2,001	2,026	2,005	59,13	479,031	474,242	4,79	19,98	1,00	6,098	1,21
24	2,017	1,999	2,023	2,000	60,38	488,494	483,030	5,46	25,44	1,12	7,352	1,45
28	2,010	1,992	2,014	1,995	61,38	494,339	489,865	4,47	29,91	0,91	8,562	1,70
32	2,029	2,015	2,020	2,003	59,00	476,626	472,738	3,89	33,80	0,82	10,011	1,93
36	2,024	2,005	2,027	2,010	64,75	524,896	520,558	4,34	38,14	0,83	11,479	2,19
40	2,018	2,004	2,021	2,004	59,00	477,015	473,003	4,01	42,15	0,84	13,274	2,43
44	2,032	2,019	2,025	2,011	59,00	477,929	474,714	3,22	45,37	0,67	15,114	2,66
48	2,030	2,007	2,031	2,013	59,38	482,333	478,177	4,16	49,52	0,86	16,834	2,90
52	2,027	2,005	2,029	2,006	60,75	492,956	487,428	5,53	55,05	1,12	18,497	3,14
56	2,024	2,047	2,025	2,026	59,00	477,989	478,136	-0,15	54,91	-0,03	20,437	3,38
60	2,023	2,018	2,023	2,033	60,63	490,668	492,972	-2,30	52,60	-0,47	21,767	3,62
64	2,023	2,001	2,023	2,009	59,63	482,545	479,266	3,28	55,88	0,68	22,964	3,86
68	2,022	2,009	2,023	2,005	60,50	489,517	485,147	4,37	60,25	0,89	23,455	4,10
Média	2,024	2,009			60,32					0,72		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

ANEXO L - Dados do filtro de discos *mesh* 155, vazão média de $1,82 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sólidos suspensos $1,951 \text{ g L}^{-1}$ e pressão média na entrada do filtro de 379 kPa

Tempo	Concentrações		Conc. Média		Q	⁽¹⁾ M. ent.	⁽²⁾ M. saída	⁽³⁾ M. ret.	⁽⁴⁾ M. ac.	Porc. mat. ret.	hf	⁽⁵⁾ V. ac.
min.	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	g L^{-1}	L min.^{-1}	g	g	g 4,0min.^{-1}	g	%	m	m^3
0	2,001	2,001	-	-	-	-	-	-	-	-	0,649	-
4	1,998	1,996	2,000	1,998	30,00	239,946	239,808	0,14	0,14	0,06	0,699	0,12
8	2,016	2,000	2,007	1,998	30,50	244,833	243,741	1,09	1,23	0,45	0,737	0,24
12	2,007	1,990	2,011	1,995	30,13	242,359	240,419	1,94	3,17	0,80	0,775	0,36
16	2,010	1,990	2,008	1,990	30,13	241,994	239,801	2,19	5,36	0,91	0,813	0,48
20	2,005	1,992	2,007	1,991	30,63	245,888	243,882	2,01	7,37	0,82	0,851	0,61
24	2,000	1,977	2,002	1,984	30,38	243,258	241,071	2,19	9,56	0,90	0,914	0,73
28	2,010	2,000	2,005	1,988	30,00	240,540	238,605	1,94	11,49	0,80	0,951	0,85
32	2,005	1,980	2,007	1,990	30,38	243,899	241,806	2,09	13,58	0,86	1,002	0,97
36	1,985	1,975	1,995	1,977	30,25	241,413	239,268	2,14	15,73	0,89	1,052	1,09
40	2,019	1,991	2,002	1,983	30,38	243,228	240,889	2,34	18,07	0,96	1,128	1,21
44	1,998	1,989	2,008	1,990	30,38	244,002	241,785	2,22	20,28	0,91	1,191	1,33
48	1,990	1,968	1,994	1,979	30,13	240,256	238,409	1,85	22,13	0,77	1,241	1,45
52	1,999	1,992	1,995	1,980	30,00	239,364	237,540	1,82	23,96	0,76	1,323	1,57
56	1,981	1,954	1,990	1,973	30,38	241,831	239,720	2,11	26,07	0,87	1,392	1,69
60	1,978	1,980	1,980	1,967	30,50	241,499	239,989	1,51	27,58	0,63	1,474	1,82
64	1,980	1,992	1,979	1,986	30,13	238,454	239,283	-0,83	26,75	-0,35	1,556	1,94
68	1,989	1,950	1,985	1,971	30,13	239,147	237,521	1,63	28,37	0,68	1,613	2,06
72	1,973	1,964	1,981	1,957	30,88	244,684	241,736	2,95	31,32	1,21	1,726	2,18
76	1,969	1,945	1,971	1,955	30,50	240,508	238,479	2,03	33,35	0,84	1,789	2,30
80	1,954	1,967	1,962	1,956	30,25	237,387	236,673	0,71	34,07	0,30	1,928	2,42
84	1,976	1,967	1,965	1,967	30,38	238,778	238,942	-0,16	33,90	-0,07	1,953	2,55
88	1,944	1,917	1,960	1,942	30,50	239,151	236,909	2,24	36,14	0,94	2,041	2,67
92	1,962	1,942	1,953	1,930	30,25	236,343	233,500	2,84	38,99	1,20	2,142	2,79
96	1,948	1,948	1,955	1,945	30,38	237,578	236,333	1,25	40,23	0,52	2,224	2,91
100	1,945	1,947	1,947	1,947	30,00	233,625	233,685	-0,06	40,17	-0,03	2,331	3,03
104	1,964	1,945	1,954	1,946	30,38	237,457	236,393	1,06	41,24	0,45	2,432	3,15
108	1,940	1,938	1,952	1,941	30,25	236,177	234,861	1,32	42,55	0,56	2,545	3,27
112	1,942	1,946	1,941	1,942	30,13	233,891	233,966	-0,08	42,48	-0,03	2,665	3,39
116	1,926	1,901	1,934	1,923	30,50	235,918	234,652	1,27	43,74	0,54	2,722	3,52
120	1,935	1,914	1,930	1,908	30,75	237,436	234,638	2,80	46,54	1,18	2,810	3,64
124	1,931	1,911	1,933	1,913	29,88	230,964	228,559	2,40	48,94	1,04	2,911	3,76
128	1,940	1,928	1,935	1,919	30,50	236,085	234,149	1,94	50,88	0,82	3,062	3,88
132	1,938	1,910	1,939	1,919	30,13	233,634	231,224	2,41	53,29	1,03	3,175	4,00
136	1,932	1,926	1,935	1,918	30,38	235,133	233,037	2,10	55,39	0,89	3,263	4,12
140	1,936	1,911	1,934	1,918	30,50	235,978	234,011	1,97	57,35	0,83	3,377	4,24
144	1,915	1,917	1,925	1,914	29,63	228,142	226,750	1,39	58,75	0,61	3,478	4,36
148	1,917	1,920	1,916	1,918	30,50	233,722	234,027	-0,30	58,44	-0,13	3,566	4,48
152	1,940	1,918	1,928	1,919	30,75	237,190	236,006	1,18	59,63	0,50	3,667	4,61
156	1,925	1,908	1,933	1,913	29,75	229,968	227,632	2,34	61,96	1,02	3,780	4,73
160	1,931	1,916	1,928	1,912	30,63	236,211	234,251	1,96	63,92	0,83	3,862	4,85
164	1,936	1,936	1,933	1,926	30,13	232,972	232,098	0,87	64,79	0,37	3,988	4,97
168	1,930	1,932	1,933	1,934	30,13	232,896	233,047	-0,15	64,64	-0,06	4,057	5,09
172	1,939	1,906	1,935	1,919	31,25	241,844	239,859	1,98	66,63	0,82	4,208	5,21
176	1,925	1,920	1,932	1,913	31,13	240,581	238,153	2,43	69,06	1,01	4,297	5,34
180	1,929	1,900	1,927	1,910	31,63	243,813	241,615	2,20	71,25	0,90	4,467	5,47
184	1,920	1,911	1,925	1,905	29,88	229,978	227,692	2,29	73,54	0,99	4,523	5,59
188	1,935	1,900	1,927	1,906	30,00	231,285	228,660	2,62	76,16	1,13	4,605	5,71
192	1,910	1,917	1,923	1,909	30,13	231,706	229,974	1,73	77,90	0,75	4,706	5,83
196	1,924	1,933	1,917	1,925	30,50	233,889	234,804	-0,92	76,98	-0,39	4,794	5,95
200	1,908	1,906	1,916	1,919	30,63	234,710	235,108	-0,40	76,58	-0,17	4,900	6,07
204	1,929	1,900	1,919	1,903	30,00	230,250	228,375	1,88	78,46	0,81	4,989	6,19
208	1,912	1,902	1,921	1,901	30,25	232,411	230,021	2,39	80,85	1,03	5,065	6,31
212	1,899	1,872	1,906	1,887	30,63	233,470	231,142	2,33	83,18	1,00	5,242	6,43
216	1,913	1,898	1,906	1,885	30,50	232,547	229,955	2,59	85,77	1,11	5,324	6,56
220	1,900	1,882	1,906	1,890	30,25	230,641	228,660	1,98	87,75	0,86	5,456	6,68
224	1,899	1,876	1,899	1,879	30,38	230,759	228,283	2,48	90,23	1,07	5,544	6,80
228	1,925	1,912	1,912	1,894	30,63	234,235	232,030	2,20	92,43	0,94	5,632	6,92
232	1,902	1,876	1,913	1,894	30,25	231,518	229,174	2,34	94,77	1,01	5,733	7,04
236	1,912	1,903	1,907	1,889	30,63	233,592	231,418	2,17	96,95	0,93	5,846	7,16
240	1,906	1,900	1,909	1,901	30,75	234,810	233,878	0,93	97,88	0,40	5,947	7,29
Média	1,951	1,938			30,36					0,69		

C. ent. = Concentração na entrada do filtro

C. saída = Concentração na saída do filtro

⁽¹⁾ M. ent. = Massa de sólidos suspensos que entrou no filtro.

⁽²⁾ M. saída = Massa de sólidos suspensos que saiu do filtro.

⁽³⁾ M. ret. = Massa de sólidos suspensos retida.

⁽⁴⁾ M. ac. = Massa de sólidos suspensos retida acumulada.

⁽⁵⁾ V. ac. = Volume acumulado da solução que atravessou o filtro

Bancada experimental

Reservatório
Cap. = 4829,3 L

Agitador hidráulico I

Agitador hidráulico II

Sólidos em suspensão

Hidrômetro

Medidor de vazão e medidor de pressão

Coletor: afluente e efluente

Material armazenado

Buretas

Balança

Estufa

Cadinhos na estufa

Filtros de discos *mesh* 120

Filtros de discos *mesh* 155

Filtros de discos *mesh* 120

Filtros de discos *mesh* 155

Filtros de discos *mesh* 155

Filtros de discos *mesh* 155

Filtros de discos *mesh* 120

Discos *mesh* 155