



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Diego Brunelli Ghisi

Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxo em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento

Florianópolis
2019

Diego Brunelli Ghisi

Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxo em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Mauricio Luiz Sens, Dr.

Florianópolis

2019

Ficha de identificação da obra

Ghisi, Diego

Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxo em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento / Diego Ghisi ; orientador, Mauricio Luiz Sens, 2019.
200 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. filtração rápida. 3. filtração direta. 4. filtração bifluxo. I. Luiz Sens, Mauricio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Diego Brunelli Ghisi

Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxo em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Ramon Lucas Dalsasso, Dr.(a)
Instituição UFSC

Prof.(a) Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.(a)
Instituição UFSC

Prof.(a) Thyara Campos Nonato, Dr.(a)
Instituição UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em engenharia ambiental.

Prof.(a) Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.(a)
Coordenador(a) do Programa

Prof.(a) Mauricio Luiz Sens, Dr.(a)
Orientador(a)

Florianópolis, 2019.

Este trabalho é dedicado a minha família e aos meus colegas de laboratório.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador pelo auxílio durante a execução deste trabalho, assim como a meus colegas de laboratório.

RESUMO

Filtros rápidos bifluxos possuem como vantagens a maior vazão de água filtrada, o controle da expansão do meio filtrante e a economia nos custos de implantação, tendo sido aplicados na antiga União Soviética a partir de 1950. À época foram empregados tubos de policloreto de vinila (PVC) com ranhuras para a coleta do filtrado, cujo entupimento recorrente limitou a aplicação desta modalidade de filtros. Nesta pesquisa estudou-se um filtro rápido bifluxo acrescentando-se outras tecnologias atuais, como dupla camada filtrante, descarga de fundo com injeção na interface e coleta do filtrado por bocal desmontável. O sistema de tratamento foi a filtração direta, com coagulação realizada pela dosagem de policloreto de alumínio, sendo a água bruta proveniente da Lagoa do Peri, em Florianópolis, Santa Catarina. Na fase 1-A do estudo a taxa de filtração foi constante e igual a $400 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, com metade da taxa total aplicada em cada fluxo do filtro, com carga hidráulica variável e câmaras de carga independentes. Na Fase 1-B, foram realizadas carreiras de filtração em fluxo único, cada um com uma taxa de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. Já na Fase 2, o sistema foi operado com uma taxa total de $400 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e câmara única de carga. Foram avaliados resultados quanto à duração da carreira de filtração, recuperação do filtro e retrolavagem, possibilitando a obtenção da sua produção efetiva de água. Com o uso de piezômetros ao longo do leito filtrante, também foi estudada a ação de profundidade da filtração. Analisaram-se, ainda, os critérios de projeto, especialmente no que tange ao sistema de coleta do filtrado. Na Fase 1-A verificou-se uma baixa ação de profundidade, uma duração média da carreira de filtração igual a 3,0 h, o que resultou em uma produção efetiva de 75%, sendo que o fluxo descendente dispôs de 1,0 m de carga hidráulica disponível. Durante a Fase 1-B ficou evidente a existência de uma contrapressão na filtração bifluxo. Na Fase 2, com uma carga hidráulica disponível de 1,75 m, as carreiras de filtração tiveram uma duração de 5,50 h até a execução da primeira descarga de fundo intermediária com injeção de água na interface (DFI). O prolongamento foi de até 63% na duração da carreira de filtração com o emprego de DFIs, chegando a se obter uma produção efetiva de 90,8%. Foi constatada, após 42 h totais de filtração (14 carreiras), a obstrução do bocal utilizado para a drenagem do filtrado, sendo essa ocorrência associada essencialmente ao fato de que os diâmetros mínimos dos materiais filtrantes serem menores à abertura dos sulcos por onde a água adentra a peça. Com a adequada seleção dos materiais filtrantes, portanto, inclusive determinando-se os diâmetros mínimos, a obstrução do bocal pode ser prevenida. A água filtrada teve um resultado médio de turbidez de 0,90 uT na Fase 1-A e de 0,76 uT na Fase 2, valores não adequados para os padrões da legislação aplicável, dado que a água bruta utilizada não é apropriada para a tecnologia de filtração direta, visto sua alta concentração de fitoplâncton. O filtro rápido bifluxo demonstrou potencialidade de ser uma opção vantajosa, principalmente quanto aos custos de implantação e área necessária, devido à sua taxa de filtração ser consideravelmente maior à de filtros de fluxo único.

Palavras-chave: tratamento de água; filtração rápida; filtração direta; filtração bifluxo; filtro bifluxo.

ABSTRACT

Biflow rapid filters have the advantages of increased filtered water flow, control of expansion of the media and cost savings in deployment, having been widely applied in the previous Soviet Union after 1950. At the time polyvinyl chloride (PVC) tubes with grooves were used to collect the filtrate, whose recurrent clogging limited the application of this type of filter. In this research a biflow rapid filter was studied by adding other current technologies, such as dual-media bed, intermediate downflush and the use of detachable nozzles to collect the filtrate. The treatment system was direct filtration, with coagulation performed by the dosage of aluminum polychloride and the raw water from Lagoa do Peri, in Florianópolis, Santa Catarina. In Phase 1-A of the study the filtration rate was constant and equal to $400 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, with half of the total rate applied to each sense flow, being the hydraulic load variable in time and each sense flow having an independent loading chamber. In Phase 1-B, single flow filtration runs were performed, each with a rate of $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. In Phase 2, the system was operated with a total rate of $400 \text{ m}^3 / \text{m}^2.\text{d}$ and single loading chamber. Results were evaluated regarding the duration of the filtration runs, filter recovery and backwash, allowing to obtain its effective water production. Using piezometers along the filter bed, the depth action of filtration was also studied. The design criteria were also analyzed, especially regarding the filtrate collection system. In Phase 1-A a low depth action was observed, an average filtering duration of 3.0 h, which resulted in an effective production of 75%, having the downstream flow 1.0 m of available hydraulic load. During Phase 1-B, it was evident that there is a back pressure in the biflow filtration, which tends to reduce the available hydraulic load in the same system. In Phase 2, with an available hydraulic load of 1.75 m, the filtration runs lasted 5.50 h until the first intermediate injection bottom discharge (DFI) was performed. The career extension was 63% with the use of DFIs, reaching an effective production of 90.8%. After 42 hours of total filtration (14 rows), the obstruction of the nozzle used for the filtrate drainage was detected. This occurrence was essentially associated with the fact that the minimum diameters of the filtering materials were smaller than the opening of the grooves through which the water enters the piece. Filtered water had an average turbidity result of 0.90 uT in Phase 1-A and 0.76 uT in Phase 2, which is not appropriate for the standards of the applicable legislation as the raw water used is not suitable for direct filtration technology, given its high concentration of phytoplankton. Rapid biflow filter has shown the potential to be an advantageous option, especially in terms of deployment costs and required area because its filtration rate is considerably higher than that of single flow filters.

Keywords: water treatment; rapid filtration; direct filtration; biflow filtration, biflow filter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Disposição da camada suporte proposta por Baylis.....	25
Figura 2: Esquema geral de um filtro ascendente que utiliza água filtrada de fonte externa para introdução na interface pedregulho/areia durante as descargas de fundo intermediárias.	28
Figura 3: Seção típica de tubo para introdução de água na interface durante as descargas de fundo intermediárias.....	29
Figura 4: Princípio básico de um filtro bifluxo	33
Figura 5: Proposta de Filtro Bifluxo com dupla camada filtrante de Vignesan et al. (1983)	40
Figura 6 - Sistema piloto nas Fases 1 e 2 do estudo.....	47
Figura 7: Bocal desmontável utilizado no estudo	51
Figura 8 - Disposição dos piezômetros no sistema piloto.....	55
Figura 9: Imagem do filtro piloto executado.....	56
Figura 10: Imagem da porção inferior do filtro e suas conexões	57
Figura 11: Imagem da saída do filtrado.....	57
Figura 12: Comportamento médio das perdas de carga totais no meio filtrante (cm) no escoamento descendente e ascendente durante em dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes.....	61
Figura 13: Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes	64
Figura 14: Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes.....	66
Figura 15: Ação da profundidade no filtro, nas porções descendente e ascendente (a porcentagem é em relação à duração da carreira de filtração) em dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes.....	68
Figura 16: Comparação da evolução da perda de carga na camada compreendida entre os piezômetros P10 e P12 e perda de carga entre P7 e P12, em dez carreiras de filtração	69
Figura 17: Comparação da evolução da perda de carga média na camada suporte, na subcamada 1 de areia e perda de carga total no escoamento ascendente em dez carreiras de filtração.....	70

Figura 18: Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em dez carreiras com câmaras de carga independentes.....	72
Figura 19 - Comportamento médio do piezômetro de nível do fluxo descendente (P13) em dez carreiras de filtração da Fase 1-A do estudo e em três carreiras em fluxo descendente da Fase 1-B.....	73
Figura 20 - Evolução média do nível do piezômetro P14 ao longo de dez carreiras de filtração (Fase 1-A) e três carreiras em fluxo ascendente da Fase 1-B	75
Figura 21: Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de três carreiras de filtração no fluxo descendente	76
Figura 22 - Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de três carreiras de filtração no fluxo ascendente	76
Figura 23: Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em três carreiras de filtração no fluxo descendente.....	78
Figura 24 - Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em três carreiras de filtração no fluxo ascendente.....	78
Figura 25 - Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em três carreiras de filtração em fluxo descendente.....	79
Figura 26 - Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em três carreiras de filtração em fluxo ascendente.....	80
Figura 27 - Evolução média da perda de carga no leito filtrante ao longo de seis carreiras de filtração com câmara única de carga.....	82
Figura 28: Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de seis carreiras de filtração com câmara única de carga.....	84
Figura 29 - Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em seis carreiras de filtração com câmara única de carga.....	85
Figura 30 - Ação da profundidade no filtro, nas porções descendente e ascendente (a porcentagem é em relação à duração da carreira de filtração) em seis carreiras de filtração com câmara única de carga.....	87
Figura 31: Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em seis carreiras de filtração com câmara única de carga.....	89
Figura 32: Aspecto do bocal obstruído e içado	91
Figura 33: Detalhe dos sulcos do bocal obstruídos por material filtrante	91
Figura 34: Desmontagem do bocal obstruído para sua limpeza.....	92

Figura 35: Detalhe das passagens entre os discos, obstruídas por material filtrante..	92
Figura 36: Quantidade de material depositado no bocal, após desobstrução	93
Figura 37: Composição do material depositado no bocal, após desobstrução	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do carvão antracitoso brasileiro	24
Tabela 2: Aspectos de projeto do Filtro Bifluxo	33
Tabela 3: Critérios de projeto do Filtro Bifluxo.....	35
Tabela 4: Detalhes de projeto quanto ao Filtro Bifluxo	35
Tabela 5: Comparação de critérios de projeto de filtros descendentes convencionais, filtros ascendentes de camada profunda e filtros bifluxos.....	36
Tabela 6: Características da camada filtrante.....	48
Tabela 7: Configuração da camada suporte proposta para o filtro bifluxo	49
Tabela 8: Produção efetiva do filtro rápido bifluxo, valores médios obtidos com a análise de dez carreiras de filtração. Sendo: VF é a velocidade de filtração, m/h; VR é a velocidade de retrolavagem, m/h; VD é a velocidade na operação da DFI, m/h; tF é a duração da carreira de filtração, h; tR é o tempo de retrolavagem, h; tRec é o tempo de recuperação, h; td é o tempo de descarga de fundo com injeção na interface, h; UVCF é o volume durante a carreira; UVR é o volume de retrolavagem do filtro; UVD é o volume de descarga de fundo com injeção na interface; UVRec é o volume utilizado no período de recuperação.....	66
Tabela 9: Produção efetiva do filtro rápido bifluxo, valores obtidos a partir da extrapolação da linha de tendência de evolução da perda de carga no meio filtrante, considerando uma carga hidráulica disponível de 2,0 m. Sendo: VF é a velocidade de filtração, m/h; VR é a velocidade de retrolavagem, m/h; VD é a velocidade na operação da DFI, m/h; tF é a duração da carreira de filtração, h; tR é o tempo de retrolavagem, h; tRec é o tempo de recuperação, h; td é o tempo de descarga de fundo com injeção na interface, h; UVCF é o volume durante a carreira; UVR é o volume de retrolavagem do filtro; UVD é o volume de descarga de fundo com injeção na interface; UVRec é o volume utilizado no período de recuperação.....	67
Tabela 10 - Duração de cada parcela de três carreiras de filtração no fluxo ascendente, em relação à execução de DFIs.....	77
Tabela 11 - Duração de cada etapa de cada uma das seis carreiras de filtração bifluxo com câmara única de carga, em relação à execução de DFIs.....	81
Tabela 12 - Média e desvio padrão da fração da água filtrada no fluxo descendente em cada etapa da filtração bifluxo com câmara única de carga, em relação à execução das DFIs	83

Tabela 13: Produção efetiva do filtro rápido bifluxo, valores médios obtidos com a análise de dez carreiras de filtração. Sendo: VF é a velocidade de filtração, m/h; VR é a velocidade de retrolavagem, m/h; VD é a velocidade na operação da DFI, m/h; tF é a duração da carreira de filtração, h; tR é o tempo de retrolavagem, h; tRec é o tempo de recuperação, h; td é o tempo de descarga de fundo com injeção na interface, h; UVCF é o volume durante a carreira; UVR é o volume de retrolavagem do filtro; UVD é o volume de descarga de fundo com injeção na interface; UVRec é o volume utilizado no período de recuperação..... 85

Tabela 14: Turbidez média e desvio-padrão de turbidez ao meio e ao final da descarga de fundo com injeção na interface previamente à lavagem de dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes..... 94

Tabela 15 - Turbidez média e desvio-padrão de turbidez ao meio e ao final da descarga de fundo com injeção na interface previamente à lavagem de seis carreiras de filtração com câmara única de carga 95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DFI: Descarga de Fundo Intermediária com injeção de água na interface

LAPOA: Laboratório de Potabilização das Águas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Tratamento de água para abastecimento	17
2.2	Processo de filtração	18
2.2.1	Critérios de desempenho da filtração	20
2.3	Material filtrante	22
2.4	Camada suporte	24
2.5	Lavagem dos filtros	25
2.5.1	Descarga de fundo intermediária com injeção de água na interface areia/pedregulho	26
2.6	Filtros de fluxo descendente	29
2.7	Filtros de fluxo ascendente	30
2.8	Filtro bifluxo.....	32
2.8.1	Descrição básica de funcionamento	32
2.8.2	Aspectos de projeto.....	33
2.8.3	Filtro bifluxo de dupla camada filtrante	38
2.8.4	Perspectivas, vantagens e desvantagens	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	Água de estudo	42
3.2	Mistura rápida.....	43
3.3	Filtro rápido bifluxo.....	44
3.3.1	Fase 1 do estudo – Duas câmaras de carga independentes	44
<i>3.3.1.1</i>	<i>Fase 1-A: Filtração bifluxo</i>	<i>44</i>

3.3.1.2	<i>Fase 1-B: Filtração em fluxo único</i>	45
3.3.2	Fase 2 do estudo – Filtração bifluxo, com câmara de carga única	45
3.3.3	Camada filtrante	47
3.3.4	Camada suporte	48
3.3.5	Fundo do filtro	49
3.3.6	Descarga de fundo com injeção de água na interface	49
3.4	Drenagem da água filtrada.....	51
3.5	Medição da perda de carga ao longo do leito filtrante.....	54
3.6	Retrolavagem.....	58
3.6.1	Expansão desejada do leito filtrante e velocidade ascensional da água de lavagem	58
3.6.2	Vazão de água para retrolavagem	58
3.6.3	Tempo nominal e volume de água de lavagem	58
3.6.4	Operação da lavagem do filtro	59
3.7	Análises de qualidade da água.....	59
3.7.1	Análises de turbidez na água bruta e durante a filtração	60
3.7.2	Análises de turbidez durante a descarga de fundo e retrolavagem	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1	FASE 1-A	61
4.1.1	Capacidade de filtração	61
4.1.2	Avaliação da produção efetiva	63
4.1.2.1	<i>Recuperação</i>	63
4.1.2.2	<i>Descarga de fundo com injeção na interface</i>	64
4.1.2.3	<i>Retrolavagem</i>	64
4.1.2.4	<i>Determinação da produção efetiva</i>	66
4.1.3	Grau de profundidade da filtração	68
4.1.4	Qualidade da água (Turbidez)	71

4.2	FASE 1-B	72
4.2.1	Capacidade de filtração.....	73
4.2.2	Recuperação	75
4.2.3	Descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface (DFIs)	76
4.2.4	Retrolavagem	77
4.2.5	Qualidade da água (Turbidez).....	79
4.3	FASE 2	81
4.3.1	Capacidade de filtração.....	81
4.3.2	Avaliação da produção efetiva.....	83
4.3.2.1	<i>Recuperação</i>	83
4.3.2.2	<i>Descarga de fundo com injeção de água na interface</i>	84
4.3.2.3	<i>Retrolavagem.....</i>	84
4.3.2.4	<i>Determinação da produção efetiva</i>	85
4.3.3	Grau de profundidade da filtração	86
4.3.4	Qualidade da água (Turbidez).....	89
4.4	Análise dos critérios de projeto adotados	90
4.4.1	Sistema de drenagem do filtrado.....	90
4.4.2	Descarga de fundo com injeção na interface e retrolavagem	94
4.4.3	Camadas e materiais filtrantes	95
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
	APÊNDICE 1 - Dimensionamento do Sistema Piloto	103
	Apêndice 2.....	111
	APÊNDICE 3 - Resultados Experimentais.....	115
	ANEXO – Granulometria dos materiais filtrantes.....	197

1 INTRODUÇÃO

Praticamente toda água que se encontra na natureza, principalmente em corpos de água superficiais, demanda tratamento para ser utilizada no abastecimento público. Isso se deve à grande variedade e volume de contaminantes liberados pelas atividades antrópicas, e, por vezes, mesmo processos naturais (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 1991).

O projetista de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) deve definir as etapas de tratamento, suas modalidades e dimensionamento, de acordo com a água a ser tratada, assim como considerar, minimamente, aspectos técnicos, econômicos e ambientais. A filtração é uma das unidades componentes do tratamento de água mais antigas e largamente utilizadas, sendo que os filtros podem ser classificados como: descendentes ou ascendentes, de acordo com o sentido do fluxo da água; e em lentos ou rápidos, dependendo da faixa de taxa de filtração em que as unidades operam. Ainda, podem ser classificados de acordo com a disposição e composição da camada filtrante e conforme a pressão existente (LEME, 1990).

Entre as modalidades de filtros empregadas está o filtro rápido ascendente, em que a água entra na unidade pela parte inferior, passando pelo leito de material filtrante, como a areia, e a água filtrada é coletada na parte superior. Esse é um tipo de filtro de uso difundido, com a vantagem de a água a ser tratada passar primeiramente por grãos maiores do leito filtrante, que vão diminuindo ao longo do caminho que ela percorre (DI BERNARDO, 2003). Isso ocorre porque naturalmente os grãos de areia maiores ficam na parte de baixo do filtro, diminuindo de tamanho continuamente até a sua porção superior. Assim, as impurezas maiores são retidas logo que entram em contato com o filtro e as menores são retidas ao longo da camada filtrante, de forma a elevar a qualidade da água filtrada e aumentar o tempo de filtração até que seja necessário lavar o filtro.

A sua desvantagem é a possibilidade de expansão do material filtrante enquanto o filtro opera, causada pelo próprio fluxo da água, o que provoca a liberação de impurezas, reduzindo a qualidade da água filtrada. Uma das formas de se evitar essa expansão é o desvio de parte da vazão da água a ser filtrada para a parte superior do filtro, constituindo então um fluxo duplo da água no filtro, parte descendente, parte ascendente. Dessa forma, a coleta da água filtrada deixa de ser acima da camada filtrante e passa a ser no interior dela. Essa alternativa consiste no denominado filtro bifluxo (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 1991).

O filtro bifluxo tem como vantagens a maior vazão de água filtrada - por meio da utilização de ambos os fluxos ascendente e descendente, o controle da expansão do meio filtrante e a economia nos custos de implantação. Tais vantagens têm destaque no cenário

atual, em que há aumento das demandas por água potável e, portanto, de tecnologias com maior produção efetiva e economicamente viáveis. Um problema relativamente comum em sua operação é o entupimento da canalização de coleta da água filtrada, realizado geralmente via tubos plásticos perfurados.

Diante da carência de estudos sobre filtros bifluxos, foi realizada uma análise das potencialidades e pontos fracos desse tipo de filtro. Este trabalho pretende avaliar uma unidade em escala piloto composta por critérios de projeto selecionados e de acordo com os relatos da literatura. O projeto foi executado e estudado em escala piloto na Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, de modo a elucidar a aplicação desse tipo de filtro e potencializar o seu uso em Estações de Tratamento de Água para abastecimento público.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar um filtro rápido bifluxo de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária, com o emprego de bocal desmontável para coleta do filtrado, quanto aos aspectos hidráulicos, dados os critérios de projeto adotados.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a produção efetiva de água filtrada e ação de profundidade da filtração ao longo da camada filtrante;
- Analisar a adequabilidade dos critérios de projeto adotados, principalmente no que tange ao sistema de coleta do filtrado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contempla os fundamentos envolvidos e estudos realizados sobre o tema proposto, sendo abordados assuntos como: processo de filtração de água para abastecimento e avaliação do seu desempenho, critérios de projeto de filtros e filtro rápido bifluxo.

2.1 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

Sob o ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, teoricamente, transformada em água com padrões adequados de potabilidade. Porém, os custos e a confiabilidade na operação e manutenção do sistema de tratamento podem inviabilizar totalmente o uso de determinado curso d'água como fonte de abastecimento. Existe uma relação intrínseca entre o meio ambiente e as tecnologias de tratamento, ou seja, em função da qualidade da água de determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, há tecnologias específicas para que o tratamento seja realizado de forma eficiente (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Pelo ponto de vista do usuário, o termo “qualidade da água” é usado para se referir às características químicas, físicas, biológicas e radiológicas da água relacionadas à sua aceitabilidade para o referido uso. O tratamento de água para abastecimento público se originou na Escócia, onde John Gibb desenvolveu o primeiro filtro lento. No Brasil, a filtração rápida foi iniciada na cidade de Campos, Rio de Janeiro, em 1880 (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Os sistemas públicos de abastecimento de água têm como finalidade tornar a água bruta captada no corpo d'água em água potável e distribuí-la à população dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação, através de operações que envolvem a adição de produtos químicos e processos físicos (ANDREOLI et al., 2006). Conforme Richter e Azevedo Netto (1991), os serviços públicos de abastecimento de água devem fornecer continuamente água que atenda às seguintes finalidades:

- higiênicas: remoção de microrganismos, substâncias nocivas ou venenosas, redução do excesso de impurezas e dos teores elevados de substâncias orgânicas;
- estéticas: correção de odor, cor e sabor; e
- econômicas: redução de dureza, corrosividade, turbidez, cor, ferro, manganês, sabor e odor.

No caso do abastecimento público de água em território brasileiro, segundo Brasil (2017), é a Portaria de Consolidação N° 05 do Ministério da Saúde, de 2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água e seus padrões de potabilidade. De acordo com as propriedades da água bruta e os parâmetros constantes na referida portaria, o projetista planejará os processos e operações unitárias que devem compor a Estação de Tratamento de Água (ETA), considerando, no mínimo, aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

2.2 PROCESSO DE FILTRAÇÃO

Segundo a *American Water Works Association – AWWA* (1971), filtração é o processo de passagem de um fluido através de um meio poroso para remoção de matéria em suspensão. No processo de tratamento de água, a matéria a ser removida inclui sedimentos em suspensão, argila, coloides, além de microrganismos, como algas, bactérias e vírus. De acordo com Ahsan (1995), além da filtração, a floculação e a sedimentação podem ocorrer simultaneamente durante o fluxo da água através de um meio granular e dessa combinação resulta o desempenho do meio filtrante nessa etapa.

No que se refere ao tratamento de água para abastecimento, a filtração se constitui na etapa que tem como função primordial a remoção das partículas responsáveis pela cor e turbidez, cuja presença reduziria a eficácia da etapa de desinfecção, cujo objetivo é a inativação dos microrganismos patogênicos. Em estações de tratamento de água convencionais ou de ciclo completo, cabe à filtração provavelmente o papel mais relevante, por se constituir na etapa em que as falhas – eventualmente ocorridas na coagulação, floculação e sedimentação/flotação – podem ser corrigidas, assegurando a qualidade da água tratada (LIBÂNIO, 2008). Moran et al. (1993) afirmam que é necessário submeter a água a um processo de filtração eficiente para a remoção de contaminantes biológicos que são resistentes à desinfecção, tais como cistos de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium* e vírus entéricos.

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a descrição quantitativa da filtração abrange formulações matemáticas dos mecanismos envolvidos na retenção de partículas no meio granular. Esses modelos têm sido aplicados sem muito sucesso no que se refere à previsão do comportamento da filtração, motivo pelo qual, até nos dias atuais, é necessária a combinação da análise teórica com os resultados de pesquisas para o projeto e operação de filtros de uma estação de tratamento de água.

Na filtração ocorre não somente uma ação mecânica de coar a água, mas também processos químicos de oxidação, ações biológicas e de ordem bioquímica. O cascalho fino e a areia, dispostos em camadas conforme granulação minuciosamente estabelecida, compõem o material mais amplamente utilizado, por ser eficiente e de baixo custo. Empregam-se também filtros de antracito e areia e, em alguns casos, filtros de carvão ativado, potencializando a eliminação de odor, cor, cloro, entre outros (MACINTYRE, 1991).

A eficiência da filtração está relacionada às características da suspensão (tipo, tamanho e massa específica das partículas, resistência das partículas às forças de cisalhamento, temperatura da água, concentração de partículas, potencial Zeta, pH da água). Ainda, está relacionada às características do meio filtrante (tipo de material granular, tamanho efetivo, tamanho do maior e menor grão, coeficiente de uniformidade, massa específica do material granular, espessura da camada filtrante) e características hidráulicas (taxa de filtração, carga hidráulica disponível, método de controle) (DI BERNARDO, 1993).

Segundo Di Bernardo et al. (2003), a retenção de impurezas no processo de filtração é considerada o resultado de dois mecanismos distintos e complementares: o transporte e a aderência. Primeiramente, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos do leito filtrante e, após, têm de permanecer aderidas a esses de forma a resistir às forças de cisalhamento ocasionadas pelas características hidrodinâmicas do fluxo ao longo da camada filtrante. Os mecanismos de transporte sofrem influência, majoritariamente, das características físicas e químicas do aflente, do pré-tratamento químico, da taxa de filtração, do leito filtrante e do método de operação. Tem-se, entre os mecanismos de transporte geralmente apontado para explicar a aproximação das impurezas aos grãos do leito filtrante, os seguintes: impacto inercial, interceptação, sedimentação, difusão e ação hidrodinâmica.

Se próximas à superfície dos grãos (coletores) da camada filtrante, as partículas são retidas e aderem-se a esses por intermédio de mecanismos de aderência. A eficiência da aderência entre impurezas transportadas e grãos depende especialmente das propriedades das superfícies de ambos. Podem as partículas aderir propriamente às superfícies dos grãos ou a partículas anteriormente aderidas. Atribui-se a aderência a duas categorias de fenômenos: interação entre as forças elétricas e as de Van der Waals, e interação superficial de origem química (DI BERNARDO, 1993).

Macintyre (1991) destaca que no projeto de filtros em uma estação de tratamento de água, deve-se atentar ainda às condições hidráulicas previstas no dimensionamento dos mesmos, envolvendo a carga hidráulica disponível e a taxa de filtração. Assim, como resultado, tem-se carreiras de filtração com duração aceitável e produção de água com

pequena quantidade de impurezas, com o objetivo de que a desinfecção final seja realizada de forma satisfatória.

Segundo Leme (1990), os filtros se classificam da seguinte forma:

a) De acordo com o tipo de material do meio filtrante:

- Areia
- Carvão ou antracito;
- Carvão e areia;
- Carvão, areia e granada;
- Terra diatomácea

b) Conforme a disposição do material filtrante no leito:

• Em camadas superiores de areia com granulometrias diferentes (um só meio filtrante);

• Em camadas superpostas de areia e carvão, com granulometrias diferentes;

• Em camadas de areia, carvão e granada com granulometrias diferentes (meio de múltiplas camadas);

• De carvão, areia e granada misturados (meio misturado).

c) De acordo com o sentido do escoamento da água:

- Escoamento descendente;
- Escoamento ascendente;
- Escoamento nos dois sentidos (bifluxo).

d) De acordo com a taxa ou velocidade de filtração:

- Lentos (menores valores de velocidade de filtração, em geral até $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$);
- Rápidos (com valores de taxa de filtração acima de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$);
- De taxas elevadas (superiores às do filtro rápido).

e) Conforme a pressão existente:

- Depressão ou com a superfície sob pressão;
- De gravidade ou com a superfície livre.

2.2.1 Critérios de desempenho da filtração

Os principais aspectos para avaliar a performance de um filtro no tratamento de água são: a qualidade do filtrado, a duração da carreira de filtração e a razão entre o filtrado que segue para a desinfecção e toda a água consumida. A totalidade da água consumida inclui a água que é filtrada e aproveitada, a água filtrada e descartada e a água de lavagem,

englobando também as descargas de fundo intermediárias, quando for o caso. O projeto dos filtros precisa considerar critérios relacionados ao capital, incluindo custos de manutenção/operação, confiabilidade e facilidade de manutenção (SCHÖNTAG, 2015).

Qualidade da água filtrada: O método mais comum de verificar se uma água contém impurezas em forma de particulados é determinando sua turbidez. Na análise desse parâmetro mede-se a luz dispersa pelas partículas presentes na água. A turbidez é utilizada como substituto para a concentração de partículas na água. A Portaria de Consolidação Nº 05 do Ministério da Saúde, de 2017, estabelece para águas tratadas por filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) um valor máximo permitido de 0,5 uT (unidades de turbidez) em 95% das amostras. A concentração de material em suspensão na água filtrada pode variar conforme a variação dessa concentração na água bruta (DI BERNARDO, 2003).

Ação de profundidade: Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a ação de profundidade expressa-se como consequência de uma sucessão de estágios com relação à colmatação das subcamadas que formam o leito filtrante. A primeira subcamada em contato com a água a ser filtrada retém partículas até o instante no qual as forças de cisalhamento, devidas ao escoamento, superam as forças que mantêm as partículas aderidas aos grãos do meio filtrante ou outras partículas, arrastando-as para a subcamada seguinte.

O índice de saturação de cada subcamada poderá ser verificado por meio da coleta de amostras ao longo da altura do leito filtrante ou pela observação do nível de água em cada piezômetro. A saturação dessa subcamada se dá a partir do instante em que a diferença de leitura piezométrica entre dois piezômetros consecutivos (correspondente a uma subcamada qualquer) não muda com o passar do tempo de filtração. Tal fato indica que aquela subcamada encontra-se saturada, ou seja, a quantidade de impurezas que sai da mesma para a subcamada subsequente é igual à quantidade de partículas que entra (DI BERNARDO et. al., 2017).

Preferencialmente, o processo de filtração rápida deve ocorrer por ação de profundidade, uma vez que nos casos de predominância de ação superficial as carreiras de filtração tendem a ser mais curtas, com baixa produção efetiva de água.

Duração da Carreira de Filtração: A duração da carreira de filtração está relacionada à frequência com que é necessário interromper o processo de filtração na unidade e retrolavar o filtro, tendo impacto na produção efetiva. Em geral, a frequência da retrolavagem impacta diretamente na quantidade de água produzida e no trabalho envolvido na operação.

Produção Efetiva: É a razão entre a quantidade de água filtrada e encaminhada ao processo subsequente na ETA e o total de água que foi filtrada. Parcelas de água filtrada são

usadas na retrolavagem e parte é descartada durante o tempo de recuperação da unidade. A produção efetiva é avaliada usando o conceito de unidade de volume de carreira de filtração (UVCF) e unidade de volume da retrolavagem (UVR) (TRUSSELL *et al.*, 1999). Considera-se ainda a UVRec, a qual se refere à unidade de volume descartada durante a recuperação, ou amadurecimento do filtro.

A UVCF (m^3/m^2) é o volume de água que passa através do filtro durante a carreira, a UVR (m^3/m^2) é o volume necessário para a retrolavagem do filtro e UVRec (m^3/m^2) é o volume utilizado no período de recuperação, sendo:

$$\text{UVCF} = v_F \cdot t_F$$

$$\text{UVR} = v_R \cdot t_R$$

$$\text{UVRec} = v_F \cdot t_{\text{rec}}$$

Onde:

v_F : Velocidade de filtração, m/h;

v_R : Velocidade de retrolavagem, m/h;

t_F : Duração da carreira de filtração, h;

t_R : Tempo de retrolavagem, h;

t_{rec} : Tempo de recuperação, h.

A razão entre a quantidade de água líquida e total filtrada é a produção efetiva (PE), conforme equação a seguir:

$$\text{PE} = \frac{\text{UVCF} - \text{UVR} - \text{UVRec}}{\text{UVCF}}$$

CRITTENDEN *et al.* (2011) citam que projetos de filtros podem ser projetados para se obter uma produção efetiva de 95%, mas para isso é necessário que a UVCF alcance ao menos $200 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Por vezes, operadores de filtros creem que uma maior taxa empregada na retrolavagem ou uma operação de limpeza por um tempo mais longo converte-se em uma carreira de filtração também maior, ou com reduzida turbidez. Entretanto, uma retrolavagem em excesso é contraprodutiva, uma vez que demanda um período maior de recuperação, de forma a reduzir a produção efetiva (SCHÖNTAG, 2015).

2.3 MATERIAL FILTRANTE

Provavelmente, a característica proeminente dos meios filtrantes relaciona-se ao tamanho e distribuição dos grãos e dois parâmetros são comumente utilizados para caracterizar o conjunto dos mesmos: o tamanho efetivo e o coeficiente de uniformidade. O primeiro se refere ao diâmetro da peneira que permite a passagem de 10% em peso de uma amostra de grãos. O segundo é composto pelo quociente entre o diâmetro da peneira que admite a passagem de 60% em peso da mesma amostra e o seu tamanho efetivo ($C_u = d_{60}/d_{10}$), sendo, pois, adimensional e indicando o quão desuniforme é o meio filtrante (LIBÂNIO, 2008).

A areia, os seixos e o antracito são especificados de acordo com suas características granulométricas. A areia deve ser constituída essencialmente de quartzo, resultante da desagregação ou decomposição de rochas que possuam em sua composição em torno de 99% de sílica, e apresentar massa específica de 2,5 a 2,7 t/m³. Deve ser fornecida em sacos de cerca de 50 kg, resistentes ao manuseio, transporte e armazenamento. A inspeção do material é realizada no local de produção, sendo o número de sacos examinados dependente da quantidade a ser adquirida. Quanto ao tamanho efetivo e coeficiente de uniformidade, são admitidos, na prática, desvios máximos de 5% em relação ao especificado pelo projetista. Os seixos são fragmentos de rochas, arredondados, encontrados em leitos de rios ou em jazidas, cujos tamanhos variam na faixa de 2 a 50 mm. Geralmente são fornecidos em sacos de 50 kg, os quais devem ter resistência ao manuseio, transporte e armazenamento, além de possuir a indicação de seus tamanhos. Sua massa específica deve ser maior ou igual a 2,5 t/m³ e no máximo 8%, em massa, pode ter tamanho maior ou menor que os limites especificados (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

O antracito nacional, geralmente, provém do Estado de Santa Catarina, e possui propriedades com valores diferentes dos importados e encontrados em algumas estações de tratamento de água no Brasil. A Tabela 1 apresenta algumas das principais características do carvão antracitoso produzido no Brasil. Atenção especial deve ser dada ao parâmetro dureza, pois uma menor resistência dos grãos aos efeitos abrasivos durante a lavagem dos filtros provoca problemas como perda de material fino durante a lavagem, passagem do mesmo junto ao filtrado, redução da granulometria da camada de carvão e redução da duração da carreira de filtração, entre outros (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Tabela 1: Características do carvão antracitoso brasileiro

Característica	Faixa de valores
Umidade (%)	2 a 5
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	1,4 a 1,7
Massa específica aparente ou do meio granular (g/cm ³)	0,8 a 0,9
Porosidade do meio filtrante limpo (%)	45 a 55
Coefficiente de desuniformidade	1,5 a 2,0
Tamanho efetivo (mm)	0,9 a 1,2
Coefficiente de esfericidade	0,55 a 0,70
Dureza na Escala Mohs	> 2,5

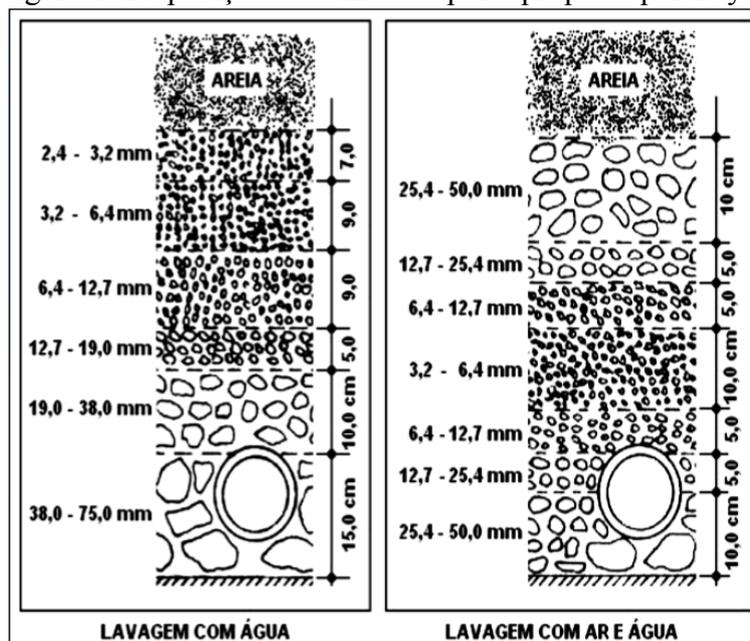
Fonte: Di Bernardo e Dantas, 2005 (adaptada).

2.4 CAMADA SUPORTE

A principal função da camada suporte está em evitar que grãos do meio filtrante passem através dos orifícios dos dispositivos de coleta de água filtrada e sejam carregados junto ao efluente. Somam-se a essa função, no caso de filtros rápidos, a adequada distribuição da água de lavagem e, para unidades de escoamento ascendente, ainda, a retenção de partículas (LIBÂNIO, 2008).

A camada suporte é em geral constituída de seixos rolados ou pedregulhos. Há uma relação entre o tamanho dos seixos e a espessura da subcamada em questão, cujos tamanhos comumente diminuem a partir do fundo, configuração que pode gerar caminhos preferenciais e desarranjo das camadas superiores, além da formação de bolas de lodo (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Para se evitar tais problemas, Baylis (1959) sugeriu que os tamanhos dos seixos diminuam a partir do fundo e, em seguida, aumentem de tamanho. A Figura 1 ilustra tal configuração, no caso de lavagem apenas com água e de lavagem com ar e água. O objetivo é evitar problemas relacionados à mistura do pedregulho mais fino com a areia ou até mesmo o carregamento de pedregulho para o topo da camada filtrante, quando ar é utilizado na lavagem.

Figura 1: Disposição da camada suporte proposta por Baylis



Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

A camada suporte, no caso de filtros ascendentes, é a região do filtro onde se inicia a retenção das impurezas, e possui importância no prolongamento da duração das carreiras quando são realizadas descargas de fundo intermediárias. Tem-se constatado que a perda de carga nessa região atinge valores da ordem de 30% a 70% da perda de carga total no filtro. Portanto, a camada suporte desempenha papel semelhante à de um pré-filtro. Assim, com a adequada escolha granulométrica para essa camada, pode-se proporcionar ganhos significativos em termos de duração das carreiras de filtração, principalmente com a realização de descargas de fundo intermediárias (DI BERNARDO, 2003).

2.5 LAVAGEM DOS FILTROS

Conforme Richter e Azevedo Neto (1991), um ciclo de operação do filtro finaliza-se devido à perda de carga se elevar de modo que o mesmo perde a capacidade de produzir água na taxa almejada, ou em razão de, em virtude da ocorrência de rompimentos de flocos, a sua eficiência quanto à qualidade da água filtrada se reduz. Então, o filtro necessita ser lavado. Di Bernardo e Dantas (2005) ressaltam que a lavagem inadequada dos filtros apresenta problemas diversos, como: desenvolvimento de bolas de lodo no interior do meio filtrante; menor volume de água produzido por carreira de filtração; filtrado de pior qualidade; e aumento da perda de carga no leito filtrante.

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), em geral, os filtros rápidos são lavados por fluxo no sentido ascendente, com uma vazão capaz de assegurar uma expansão adequada do leito filtrante. Essa expansão deve proporcionar um adequado roçamento dos grãos sem que haja perda de material, sendo que geralmente se consideram expansões entre 25 e 50% como satisfatórias, e 40% um valor comum. A velocidade ascensional da água para lavagem deve ser determinada por meio da granulometria do material filtrante empregado e da temperatura da água. Utilizam-se, em geral, velocidades a partir de 0,80 m/min, para que a retrolavagem promova a expansão e limpeza citados. Após o cálculo da velocidade ascensional calcula-se a vazão necessária tomando-se para isso a área do filtro a ser lavado e, então, com essa vazão, calcula-se o tamanho do reservatório que conterá o volume de água necessária para a lavagem da unidade por um tempo de 7 a 10 min (DI BERNARDO et. al., 2017).

A drenagem da água de lavagem dos filtros é realizada por meio de calhas que devem ter sua altura definida em projeto de modo que se evite fuga do material filtrante durante a lavagem e para uma apropriada remoção das impurezas retidas. Sua altura é calculada dependendo da expansão que se definiu para o meio filtrante e recomenda-se uma altura mínima de 60 cm do leito filtrante para o fundo da calha de coleta (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). Geralmente, a coleta de água de lavagem é efetuada por meio de calhas que descarregam livremente em um canal frontal, lateral ou central, onde há a comporta de descarga. Tais calhas podem ser de concreto, executadas no local ou pré-moldadas, ou feitas de resinas, com diferentes seções transversais (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A lavagem com ar e água é uma opção e tem sido empregada por propiciar uma lavagem mais uniforme e completa, com conservação do meio filtrante e menor consumo de água para lavagem. Está relacionada, ainda, com a eliminação do problema de localização ou de duplicidade de lavagem superficial nos filtros de dupla camada, eliminação dos problemas mecânicos da lavagem superficial com torniquetes e dos problemas de atravancamento que ocorrem no caso de sistema fixo, além da redução da altura da camada suporte, quando existente (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). Di Bernardo e Dantas (2005) ressaltam que a lavagem com ar e água é mais eficiente à lavagem apenas com água.

2.5.1 Descarga de fundo intermediária com injeção de água na interface areia/pedregulho

No caso da filtração ascendente, principalmente se for filtração direta, o filtro deve

ter fundo e sistema de drenagem apropriada, camada de pedregulho adequada e meio filtrante constituído unicamente de areia. Na camada de pedregulho inicia o processo de filtração e há formação intensa de flocos, removendo boa parte das impurezas. Devido às dificuldades na retirada das impurezas do interior da camada de pedregulho, torna-se fundamental a execução de descarga de fundo intermediária antes da lavagem do filtro (DI BERNARDO, 2003).

Essa técnica consiste em interromper por curto intervalo de tempo a carreira do filtro e realizar uma descarga de fundo e pode ser executada de diferentes maneiras. Com esse procedimento faz-se uma limpeza parcial do filtro, removendo o material retido basicamente na camada suporte e em alguns centímetros da camada de areia próxima ao pedregulho. O material retido nessa região é responsável por aproximadamente 30% da perda de carga total do filtro no momento da descarga. A introdução de água na interface entre a camada suporte e a camada de areia impede que durante a realização da descarga de fundo ocorra a entrada de ar no interior do filtro. Ao ser expulso com a recolocação do filtro em operação, o ar provocaria perturbações no leito filtrante, deteriorando a qualidade da água produzida, aspecto observado pela ocorrência de picos de turbidez após a realização das descargas de fundo intermediárias (DI BERNARDO, 2003).

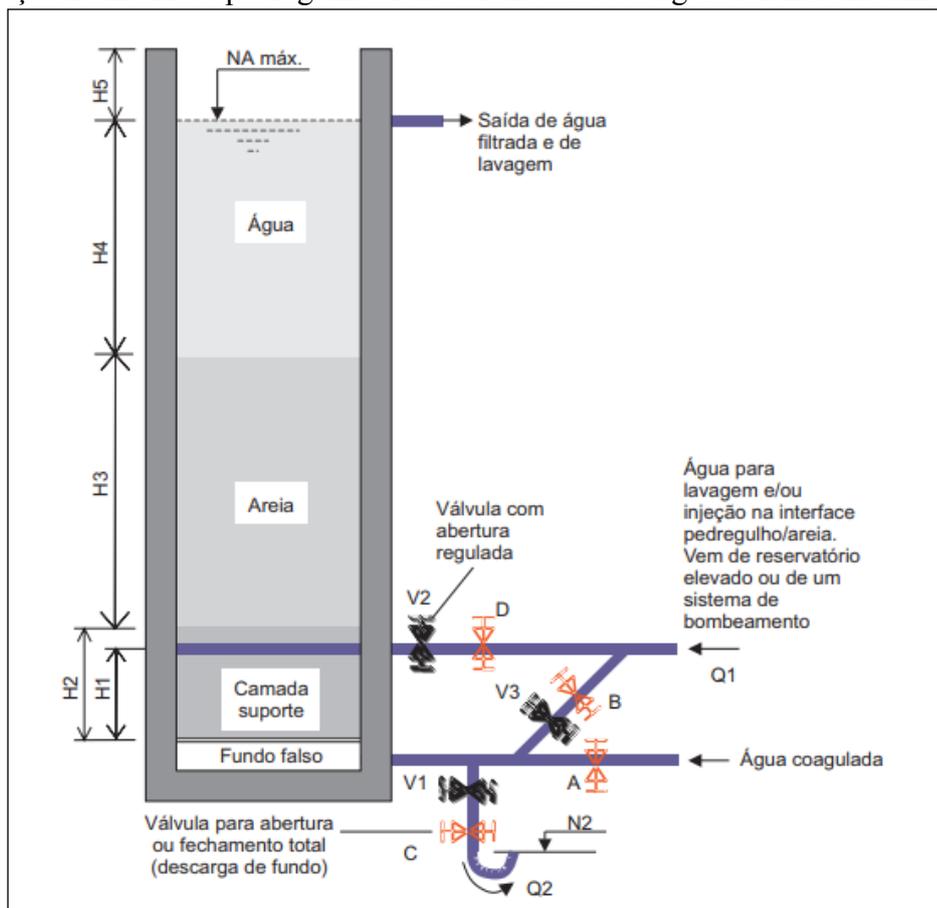
Com o objetivo de melhorar o funcionamento de sistemas de filtração direta ascendente, Di Bernardo et al. (1987), estudaram diferentes formas de realização das descargas de fundo intermediárias. Os ensaios foram realizados em sistema-piloto composto de três filtros de pedregulho e areia. As taxas de filtração variaram de 160 a 280 m³/m².d. O número de descargas variou de 2 a 8, com durações de 5 a 25 s, e taxa de 800 a 1.200 m³/m².d. Foram estudadas quatro formas de realização das descargas de fundo intermediárias:

- a) Descarga sem introdução de água na interface pedregulho/areia, permitindo o abaixamento do nível de água até 15 cm acima do topo da camada de areia;
- b) Descarga com introdução de água na interface pedregulho/areia, utilizando a água filtrada acumulada acima do leito de areia;
- c) Descarga sem introdução de água na interface. Manutenção do nível de água no filtro constante, por meio de sua alimentação pelo topo, com água proveniente de fonte externa;
- d) Descarga de fundo com introdução de água na interface. Manutenção do nível de água no filtro constante, por meio de sua alimentação com água proveniente de fonte externa.

Os resultados dessa investigação mostraram que, independentemente do método de realização das descargas intermediárias, houve boa atenuação dos picos de turbidez e coliformes totais, por ocasião da recolocação dos filtros em operação. O método D, que utiliza

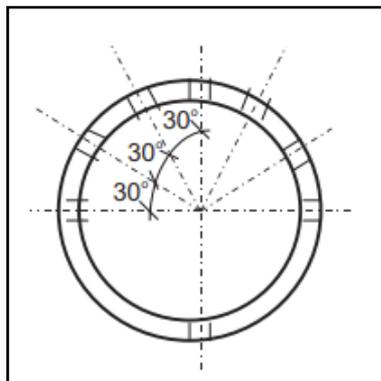
água de fonte externa para introdução na interface, com manutenção do nível de água no filtro praticamente constante, resultou o mais eficiente, com picos de turbidez praticamente desprezíveis e NMP de coliformes totais também reduzido após a recolocação do filtro em operação com água coagulada. A Figura 2 ilustra um esquema geral desse método e a Figura 3, a seção típica da tubulação para descarga de fundo intermediária (DFI).

Figura 2: Esquema geral de um filtro ascendente que utiliza água filtrada de fonte externa para introdução na interface pedregulho/areia durante as descargas de fundo intermediárias.



Fonte: Di Bernardo (2003).

Figura 3: Seção típica de tubo para introdução de água na interface durante as descargas de fundo intermediárias.



Fonte: Di Bernardo, 2003 (adaptada).

2.6 FILTROS DE FLUXO DESCENDENTE

Filtros descendentes de camada simples foram os primeiros a serem utilizados em estações para abastecimento público. Quase que exclusivamente são empregados em estações convencionais e constituem o tipo de unidade filtrante mais utilizado no país, mesmo que o volume de água produzido por filtros de camada dupla deva ser superior, pela prevalência em estações de médio e grande porte. Em idênticas condições de operação, essas unidades apresentam carreiras de filtração menores se comparadas a filtros de camada dupla ou de escoamento ascendente. Isso ocorre, pois, como a água a ser filtrada escoar primeiramente através das partículas menores do leito filtrante, as impurezas tendem a ser retidas logo no topo do mesmo, colmatando o filtro de maneira mais rápida (LIBÂNIO, 2008).

Em filtros de escoamento descendente, a pressão em qualquer ponto do meio filtrante será a altura da água até a superfície livre (a parcela dessa altura relativa ao sobrenadante eleva-se com o evoluir da carreira) subtraída da perda de carga. Caso a perda de carga seja maior que essa altura d'água, ocorrerá pressão negativa no interior da camada filtrante. Se a pressão absoluta nesse ponto for inferior à pressão de vapor da água, haverá desprendimento do ar dissolvido formando bolhas que irão favorecer o desenvolvimento de caminhos preferenciais no interior do meio filtrante, pelo aumento da velocidade intersticial na vizinhança, e a conseqüente ocorrência do transpasse. Tal fenômeno pode ser evitado pelo encerramento da carreira antes de elevação tão significativa da perda de carga e com a construção de um vertedor na saída do filtrado cuja crista esteja localizada acima do topo da camada filtrante, assegurando a submersão dessa última (LIBÂNIO, 2008).

No filtro descendente, todas as partículas removidas da água ficam retidas no meio

filtrante (a água não passa pela camada suporte anteriormente), assim, é muito importante que as impurezas sejam distribuídas em profundidade, com o objetivo de evitar a interrupção da carreira de filtração. Por isso, principalmente na filtração direta descendente (FDD), são empregadas unidades de dupla ou mesmo tripla camada filtrante, de forma a possibilitar a filtração em profundidade (DI BERNARDO, 2003).

2.7 FILTROS DE FLUXO ASCENDENTE

A ideia da filtração ascendente não é recente. Segundo Hamann e Mckinney (1968), em 1827 em Greenock, Escócia, foi construída a primeira instalação municipal utilizando a filtração ascendente. Mas conforme Calise e Homer (1958), foi a partir da metade do século XX que um grande impulso foi dado pelos soviéticos, que desenvolveram os chamados “clarificadores de contato”, ou filtros russos, atingindo qualidade do filtrado similar à de estações convencionais. No Brasil, a primeira experiência com esse filtro foi realizada em 1971, por Grinplasht, na cidade de Colatina (ES), onde o afluente ao filtro com escoamento ascendente podia ser água coagulada ou decantada, em função da turbidez da água bruta. As pesquisas sobre a filtração direta ascendente (FDA) iniciaram, no Brasil, somente em 1977, especialmente na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (ESSC-USP), com o objetivo de estudar aspectos teóricos e práticos e aprimorar essa tecnologia (DI BERNARDO, 1993).

Richter e Azevedo Netto (1991) afirmam que os filtros de regime ascendente foram largamente utilizados na antiga União Soviética, com a função de clarificar águas de baixa turbidez e matéria mineral. Essa variação de filtro fora originalmente utilizada como unidade completa de clarificação, isto é, recebendo água bruta coagulada, sem passar por floculadores ou decantadores. O efluente obtido é diretamente enviado para a desinfecção e reservação/distribuição. Enquanto a água coagulada atravessa a camada filtrante, as impurezas passam a ser em parte retidas e em parte deslocadas na forma de flocos, de uma subcamada para a subsequente, o que acarreta uma retenção e uma nova locomoção parcial. Na camada filtrante ocorrem dois processos ao mesmo tempo:

- a remoção de impurezas da água e sua aderência aos grãos do meio poroso, por efeito de forças moleculares de adesão; e
- desprendimento de partículas previamente presas (fracamente aderidas) e sua locomoção, por consequência das forças hidrodinâmicas de escoamento relacionadas ao aumento de velocidade.

Ao predominar o primeiro processo, a água é clarificada.

Observa-se, então, que no filtro ascendente, toda a camada filtrante trabalha no processo de clarificação e que a acumulação de impurezas não acontece apenas na primeira porção do leito filtrante em contato com a água a ser filtrada (subcamada inferior). Com tal disposição do meio filtrante relativa ao sentido do fluxo da água, a mesma passa primeiramente pelo material mais grosseiro, de maior porosidade. Conforme a água se livra das impurezas, no seu movimento de baixo pra cima, vai passando por meios cada vez mais finos e de menor porosidade (DI BERNARDO, 2003).

O emprego da filtração direta ascendente (FDA) foi bem-sucedido em vários países, destacando-se entre eles a ex-União Soviética, Inglaterra e Holanda, e a partir de 1980 passou a ser consideravelmente utilizada no Brasil. Nos anos 80 e 90, vários estudos foram desenvolvidos por Luiz Di Bernardo e colaboradores, de forma a tornar essa tecnologia ainda mais promissora pela técnica de descargas de fundo intermediárias. Na filtração direta, 100% dos sólidos removidos são retidos no filtro e, assim, para proporcionar carreira de filtração adequada (≥ 24 horas), a camada filtrante necessita ser bastante espessa (de 1,6 a 2,0 m) (DI BERNARDO, 2003).

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), um problema descrito com certa frequência quanto ao uso desse tipo de filtro é quando a perda de carga, em um nível qualquer do meio filtrante, ultrapassa o peso da camada submergida acima desse nível, fluidificando-o e permitindo que flocos anteriormente depositados sejam liberados junto ao efluente. Devido ao fato descrito, tem-se buscado alternativas para melhorar resultados no uso dos filtros de fluxo ascendentes, ou seja, para evitar a fluidificação da camada filtrante. Para prevenir tal inconveniente, foram sugeridas duas soluções, além da limitação e controle da perda de carga:

- na Holanda foi desenvolvido o filtro chamado *Immedium*, que conta com uma grelha junto ao topo do material filtrante, com o objetivo de mantê-lo em posição;
- na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) foi adotado, em alguns casos, o sistema A.K.X., em que uma parcela da vazão é aplicada acima da camada filtrante, e a água clarificada é drenada no interior dessa camada, pouco abaixo da superfície. Tal variedade de filtro é também chamada de Filtro Bifluxo.

2.8 FILTRO BIFLUXO

2.8.1 Descrição básica de funcionamento

Assim como em filtros convencionais, no filtro bifluxo o meio filtrante é disposto com material de granulação maior na sua porção inferior. O processo de filtração ocorre em fluxo ascendente, o que proporciona uma remoção progressiva das impurezas e um emprego total da camada filtrante. Partículas anteriormente adsorvidas e que eventualmente se locomovem de baixo para cima pela corrente de água são retidas nas subcamadas superiores, de material menos poroso, o que possibilita uma alta taxa de percolação. No filtro bifluxo, a compactação da camada filtrante durante sua operação se dá pela aplicação de uma parcela da vazão no sentido descendente. A coleta da água filtrada é realizada no interior do meio filtrante de menor granulação, por meio de drenos projetados para esse fim. A camada sobre os drenos de água filtrada opera como um filtro convencional, de fluxo descendente, mas sua atribuição principal é a de manter a espessa camada filtrante inferior, a qual opera em fluxo ascendente, compactada. A lavagem do filtro pode ocorrer de modo convencional, utilizando fluxo ascendente, fluidizando o leito filtrante e fazendo com que as partículas retidas no meio poroso se desprendam e saiam junto à água de lavagem (MACINTYRE, 1991).

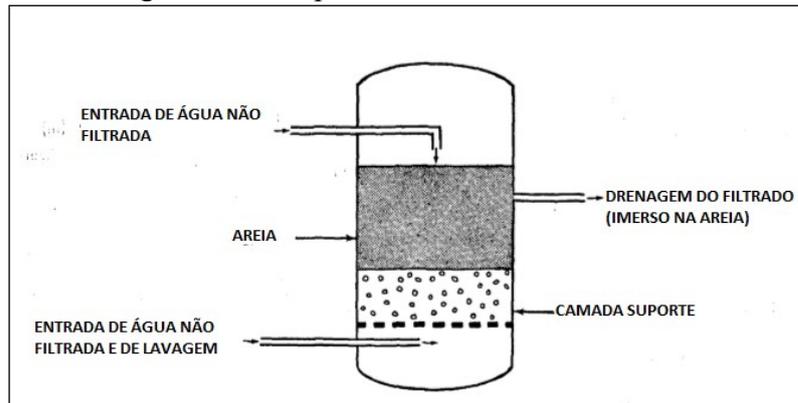
Segundo Leme (1990), quando a água a ser filtrada é proveniente da mesma fonte, a perda de carga existente através das seções superior e inferior é a mesma. Consequentemente, as vazões existentes através das duas seções são diferentes, embora se consiga manter uma vazão total constante para o dreno da água filtrada. Conforme os poros são obstruídos, iguais perdas de carga se mantêm através das duas seções, em virtude do autoajustamento da vazão entre essas seções. Se, por exemplo, a camada superior mais fina tende a se tornar obstruída mais rapidamente, ocorre automaticamente uma redução na sua vazão de escoamento e um consequente aumento de carga para a seção inferior, cujo escoamento é ascendente. Acrescenta-se que, em essência, as partes inferior e do topo do filtro constituem dois filtros independentes, possibilitando uma economia na estrutura e sistema de drenagem.

No caso de se usar apenas areia como material filtrante, a taxa de filtração descendente no início de uma carreira de filtração bifluxo é relativamente alta. Conforme a carreira progride, no entanto, o fluxo via sentido descendente passa a diminuir à medida que a porção de areia fina torna-se obstruída. Se o fluxo total ocorre a uma taxa constante, a quantidade de água que é filtrada por fluxo ascendente através da porção inferior do filtro aumenta com o tempo. A uma dada perda de carga, uma quantidade maior de água pode ser

filtrada através do filtro de fundo (fluxo ascendente). A média de saída do filtrado pela parte superior do filtro é normalmente de 20 a 30 por cento do total (HAMANN; MCKINNEY, 1968).

Um esquema básico de operação de um filtro bifluxo pode ser visualizado na Figura 4:

Figura 4: Princípio básico de um filtro bifluxo



Fonte: Ray, 1974 (adaptado).

A literatura indica que a filtração bifluxo foi patenteada por uma indústria de filtros britânica em 1918, mas foi a partir de 1950 que essa modalidade de filtração passou a ser utilizada para tratamento de água municipal e industrial (HAMANN; MCKINNEY, 1968).

2.8.2 Aspectos de projeto

Hamann e Mckinney (1968) especificaram alguns critérios de projeto dos filtros bifluxo empregados na antiga URSS à época, conforme a Tabela 2:

Tabela 2: Aspectos de projeto do Filtro Bifluxo

Parâmetro	Descrição ou Faixa de Valores
Material filtrante	Areia
Profundidade do leito filtrante	1,50 a 1,65 m
Taxa de filtração do fluxo descendente	120 a 150 m ³ /m ² .d
Taxa de filtração do fluxo ascendente	180 a 210 m ³ /m ² .d

(continuação)

Parâmetro	Descrição ou Faixa de Valores
Taxa de filtração total	300 a 360 m ³ /m ² .d
Localização do sistema de coleta do filtrado	0,45 a 0,60 m abaixo do limite superior da areia
Composição do sistema de coleta do filtrado	Tubos de plástico vinílico com fendas
Operação da retrolavagem	Água em fluxo ascendente a uma taxa de 1.140 a 1320 m ³ /m ² .d por 5 a 6 min.

Fonte: Hamman e Mckinney, 1968 (adaptado).

Hamann e Mckinney (1968) ressaltaram, ainda, que experiências com filtros tubulares de fluxo ascendente pareceram indicar que uma combinação de ar e água é necessária para limpar a camada filtrante completamente, e que tal fato pode se aplicar a filtros bifluxos.

Arboleda (1973) também elencou algumas especificações dos filtros A.K.X., nomeado pelos soviéticos aos filtros bifluxos. A maioria dos critérios de projeto descritos é idêntica ao citado por Hamman e Mckinney (1968), exceto a profundidade da camada de areia, estabelecida como variando de 1,50 a 1,60 m.

Segundo Ray (1974), a retrolavagem no filtro bifluxo é efetuada pela passagem de água de lavagem através da entrada de fluxo ascendente, ou por meio de bicos espaçados na área de fundo, como em geral ocorre em um filtro de gravidade rápido convencional. O meio filtrante no regime de fluxo ascendente se regrada adequadamente durante a retrolavagem; enquanto que no regime de fluxo descendente isso não ocorre de forma tão efetiva. Por esta razão, procura-se filtrar a maior parcela possível da vazão de água não filtrada pelo fluxo ascendente, sem que se prejudique a qualidade do filtrado e o grau de expansão do leito filtrante. É importante que o meio filtrante de fluxo ascendente seja cuidadosamente graduado para assegurar que não ocorra o levantamento de camada prematuramente devido a obstruções localizadas. A prática normal é ter duas ou mais camadas no regime de fluxo ascendente, graduado do mais graúdo ao mais fino na direção do fluxo. A camada superior do regime de fluxo ascendente é continuada na seção de fluxo descendente para que problemas de mistura não surjam durante a retrolavagem.

Ray (1974) também descreve alguns parâmetros importantes de projeto, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios de projeto do Filtro Bifluxo

Parâmetro	Valor
Tamanho do grão mínimo	0,5 mm
Tamanho do grão máximo	1,5 mm
Tamanho efetivo do grão	0,9 mm
Taxa de filtração (total)	288 – 360 m ³ /m ² .d
Altura da camada	1,45 – 1,65 m
Relação entre profundidade da porção de fluxo ascendente pela profundidade da porção descendente	Aprox. 3:1

Fonte: Ray, 1974 (adaptado).

Vignesan et al. (1983), por fim, também destacam alguns critérios de projeto conforme Tabela 4. Além disso, tais autores relacionaram e compararam alguns aspectos de projeto e financeiros de filtros convencionais, filtros ascendentes de camada profunda e filtros bifluxos, o que se observa na Tabela 5.

Tabela 4: Detalhes de projeto quanto ao Filtro Bifluxo

Parâmetro	Descrição ou Faixa de Valores
1. Meio filtrante	
Composição	Areia
Granulometria	0,9 – 1,2 mm
Profundidade	1,5 – 1,7 m
(Filtro de dupla camada - antracito e areia - como opção mais recomendada)	
2. Taxa de filtração	
Fluxo descendente	120 – 150 m ³ /m ² .d
Fluxo ascendente	180 – 210 m ³ /m ² .d
(Taxa total de filtração pode ser elevada para até 480 m ³ /m ² /d se usada dupla camada filtrante)	

(continuação)

Parâmetro	Descrição ou Faixa de Valores
3. Sistema de coleta do filtrado	Localizado entre 0,5 e 0,6 m abaixo do topo da camada
4. Taxa de retrolavagem	1.140 – 1.320 m ³ /m ² .d por 5 a 6 minutos
(Sistema com água e ar é requerido no caso de emprego de dupla camada filtrante)	

Fonte: Vignesán et al., 1983 (adaptado).

Tabela 5: Comparação de critérios de projeto de filtros descendentes convencionais, filtros ascendentes de camada profunda e filtros bifluxos

Parâmetro	Filtro Convencional	Filtro Ascendente de camada profunda	Filtro Bifluxo
1. Taxa de filtração	120 m ³ /m ² .d	120 – 150 m ³ /m ² .d	300 – 360 m ³ /m ² .d
2. Meio filtrante			
- Material	Areia	Areia	Areia/Antracito (recomendado)
- Granulometria	Geralmente Tamanho efetivo: 0,6 mm Coeficiente de Uniformidade: 1,5 (Depende das características da água bruta e da qualidade exigida do filtrado)	Areia grossa de 0,9 – 11 mm	Areia: Tamanho efetivo: 0,6 mm Coeficiente de Unif.: 1,5 Antracito: Tamanho efetivo: 0,9 mm Coeficiente de Unif.: 1,5

(continuação)

- Profundidade	Geralmente 1 m (depende da água bruta e da qualidade do filtrado)	2 – 2,5 m	Depende da granulometria, da qualidade da água bruta e do filtrado
- Procedimento de limpeza (retrolavagem)	Contra fluxo em alta taxa, de água ou água e ar	Contra fluxo em alta taxa (água ou ar e água)	Contra fluxo em alta taxa, de água ou água e ar
3. Lâmina de água sobre o meio filtrante	0,8 – 1,0 m	1,0 m	Sistema de coleta abaixo do topo da camada filtrante
4. Turbidez da água a ser filtrada	10 uT	<80 uT	<80 uT
5. Camada ativa do meio filtrante	Alguns centímetros ao topo da camada	Toda a profundidade da camada	Toda a profundidade da camada
6. Carreira de filtração	Geralmente 24 h	Acima de 24 h	Acima de 24 h
7. Porcentagem da água tratada usada na retrolavagem	3%	Acima do filtro convencional, cerca de 5%	3% ou menos
8. Equipamentos especiais necessários	-	Aqueles relacionados à retrolavagem com água e ar	Válvulas de controle mais sofisticadas
9. Mão de obra qualificada	Para a operação de retrolavagem	Para a operação de retrolavagem	Para o controle de fluxo e para a operação de retrolavagem

(continuação)

10. Custos de operação e manutenção			
a) Consumo de energia por volume de filtrado	Alto	Baixo (carreira de filtração mais longa)	Mais baixo (carreira de filtração mais longa e taxa de filtração mais elevada)
b) Manutenção de equipamentos		Alto	Alto
c) Custos de operação e manutenção relacionados à retrolavagem		Alto	Igual ou mais baixo
11. Custo de implantação		Pode ser pouco maior que no caso de filtros convencionais, mas pode-se suprimir tratamento antecedente	15 – 30% menor que em filtros convencionais
12. Custo com produtos químicos		Mesmo do caso de filtros convencionais	

Fonte: Vignesán et al.,1983 (adaptado).

2.8.3 Filtro bifluxo de dupla camada filtrante

A maioria dos filtros bifluxos utiliza apenas areia em ambos os fluxos. Hamann e McKinney (1968) sugeriram a utilização de uma camada de antracito sobre a areia para a parte de escoamento descendente do filtro, de modo a melhorar o filtrado desta parte da unidade.

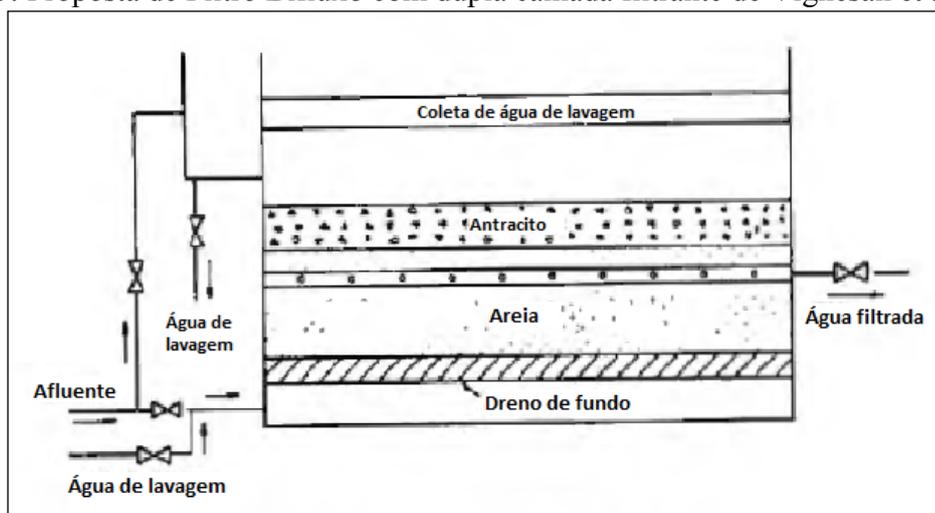
Hamann e McKinney (1968) completam que ao fornecer uma camada de antracito na parte superior do leito filtrante, e mantendo o sistema de coleta de filtrado a certa distância abaixo do topo da camada de areia, o filtro superior pode ser operado como um filtro de dupla camada, com o fluxo passando por material mais poroso primeiramente. Esta inovação tende a proporcionar um melhor equilíbrio de fluxo entre as partes superior e inferior do filtro e deve resultar numa melhoria da qualidade do filtrado.

O emprego da dupla camada filtrante deve também aumentar substancialmente a taxa de filtração total da unidade. O uso de polímeros auxiliares à filtração seria útil em determinados casos e pode ser uma necessidade para se operar a taxas elevadas de filtração. Com condicionamento adequado da água bruta, acredita-se que um filtro bifluxo de dupla camada poderia ser operado a taxas de filtração de 480 m³/m².d ou superior, com a mesma margem de segurança tal como existe em filtros de gravidade de dupla camada em uso (HAMANN; MCKINNEY, 1968).

Ray (1974) relata que testes na U.R.S.S. visando a aumentar a taxa de filtração viável em filtros bifluxo acrescentando à parte superior da camada de escoamento descendente uma camada de antracito foram efetuados com sucesso, e tais filtros foram aplicados na prática. Verificou-se, ainda, ser possível alcançar aceitavelmente uma taxa de filtração de 360 a 430 m³/m².d, mantendo-se os padrões de qualidade do filtrado na faixa de valores aceitáveis. Em tais instalações, a força descendente que resiste à fluidificação é reduzida porque em primeiro lugar o antracito é mais leve do que a areia substituída, e em segundo lugar o arraste para baixo é menor. Por conseguinte, é possível e necessário aumentar a taxa de filtração no regime de fluxo descendente, apesar de que o aumento do rendimento global é pequeno uma vez que o regime de fluxo ascendente executa a maior contribuição.

Vignesan et al. (1983) afirmam que se apenas areia compõe a camada filtrante do filtro bifluxo, a taxa do fluxo descendente decresceria mais rapidamente conforme a carreira de filtração decorre, devido à obstrução localizada junto aos grãos mais finos do material. Para contornar esse problema, o autor também sugere o uso de uma camada de antracito sobre a areia da camada de fluxo descendente. Essa modificação melhoraria o filtrado da camada superior da unidade. Um esquema do filtro bifluxo de dupla camada é mostrado na Figura 5.

Figura 5: Proposta de Filtro Bifluxo com dupla camada filtrante de Vignesan et al. (1983)



Fonte: Vignesan et al. (1983) – adaptado.

2.8.4 Perspectivas, vantagens e desvantagens

Alpe e Barrett (1971) relatam que à época, cerca de 14.000 L/s de água eram tratados por filtros bifluxos para uso em sistemas de abastecimento municipal em território soviético.

Hamann e Mckinney (1968) afirmam que apesar de não terem realizado experiências com tal modalidade de filtração, consideram que o processo definitivamente parece ter potencial. Ressaltam, ainda, que o filtro bifluxo apresenta como vantagem sua maior capacidade de filtração. Dessa forma, por exemplo, o mesmo poderia ser operado com a mesma taxa de um filtro convencional, resultando em carreiras mais longas, ou ser operado a taxas mais elevadas, requerendo menor área do que com a filtração convencional. Os custos iniciais de tais filtros são estimados em 15 a 30% menos do que para os filtros convencionais na União Soviética, apesar de tubulações, válvulas e controles serem considerados mais complexos. Uma análise criteriosa, sem dúvida, deve ser voltada à configuração do sistema de drenagem de filtrado e ao processo de lavagem do filtro. Experiências com os filtros piloto de fluxo ascendente parecem indicar que uma combinação de ar e água é necessária para limpar a camada filtrante completamente. Os autores concluem que o processo de filtração bifluxo parece combinar as vantagens de ambos o fluxo ascendente e o de gravidade convencional e que mais pesquisas são necessárias para demonstrar as vantagens desse processo.

Ray (1974) também menciona ser possível, com a utilização de filtros bifluxos, operar a taxas que fornecem uma economia de 15 a 30% em custos de implantação, assim como há possibilidade de se reduzir a dose de coagulante em comparação ao caso do emprego de filtros descendentes convencionais.

Vignesan et al. (1983) destacam, além da mesma faixa de economia nos custos iniciais supracitados, a vantagem dos filtros bifluxos operarem a uma elevada taxa de filtração, reduzindo a área necessária para as unidades de filtração, especialmente quando opera com dupla camada e quando recebe água a ser filtrada de acordo com os demais critérios de projeto adotados. Os autores alegam que as aplicações de filtros bifluxo na Holanda, Reino Unido e União Soviética, além de duas instalações em Cingapura, indicavam ser este tipo de filtro uma solução econômica. São salientadas como desvantagens do seu uso o fato de que seu sistema de coleta do filtrado, em geral composto por tubos de policloreto de vinila (PVC) com ranhuras, vinha sendo problemático e estando sujeito à obstrução. Além disso, seu sistema mais sofisticado de válvulas e controles poderia limitar seu uso em países em desenvolvimento.

Di Bernardo e Dantas (2005), ao tecerem algumas considerações sobre o filtro A.K.X., ou bifluxo, ressaltam que a maior dificuldade apresentada pelo sistema é de caráter operacional, em razão da obstrução nos bocais de coleta do filtrado, fato constatado pela sua aplicação em várias cidades soviéticas.

Como perspectiva, conforme descrito no item anterior, Hamann e Mckinney (1968), Ray (1974) e Vignesan et al. (1983) recomendam o emprego de uma camada de antracito sobre a camada de areia, fazendo com que a porção superior do filtro opere como filtro de dupla camada. Tal configuração deve aumentar a taxa de filtração da unidade como um todo e melhorar a qualidade do filtrado da fração da unidade que efetua a filtração descendente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo projetou-se e executou-se em escala piloto um filtro rápido bifluxo de dupla camada (antracito e areia) com emprego de descarga de fundo intermediária. O sistema piloto foi construído e operado nas instalações do Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ), na unidade anexa à Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, estando esta última sob responsabilidade da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Na operação da unidade, a água bruta passou pelo processo de mistura rápida (coagulação) imediatamente antes de ser filtrada, isto é, o filtro compôs um sistema de filtração direta.

3.1 ÁGUA DE ESTUDO

A água utilizada nesse estudo foi proveniente da Lagoa do Peri (LP), localizada ao sul da ilha de Florianópolis. O manancial da Lagoa do Peri possui uma área superficial de 5,1 km² (LAPOLLI et al., 1990), sendo alimentado majoritariamente por dois rios, o rio Cachoeira Grande e o rio Ribeirão Grande. Seu contato com o mar ocorre através do canal Sangradouro, sendo o desnível entre o mar e o manancial de aproximadamente 3 m, fazendo com que a lagoa não receba água salgada e seja formada por água totalmente doce. A lagoa tem um volume de aproximadamente $(21,2 \pm 0,1) \times 10^6$ m³, profundidade média de 4,2 m e máxima de 11 m, comprimento máximo de 3,8 km (eixo NE/SW) e largura máxima de 1,8 km (eixo E/W) (SCHÖNTAG, 2015).

A água desse manancial é utilizada para o abastecimento de parte da população do sul e do leste desta ilha, após tratamento por meio de filtração direta descendente. A ETA da Lagoa do Peri foi projetada com o uso da tecnologia de filtração direta descendente com dupla camada de antracito e areia. Essa concepção, de acordo com DALSSASSO & SENS (2006) é compatível com os parâmetros de turbidez e cor verdadeira do manancial, em geral inferiores a 10 uT e 20 uH, respectivamente. Entretanto, após cerca de um ano de operação da ETA, observou-se a elevação da concentração de fitoplâncton na Lagoa do Peri, passando de cerca de 10.000 ind/mL para ocorrências que chegavam a 250.000 ind/mL.

As espécies dominantes de fitoplâncton desse manancial são *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudanabaena galeata*. Ambas são filamentosas e potencialmente produtoras de hepatotoxinas e neurotoxinas, substâncias capazes de causar intoxicações agudas e crônicas às células do fígado e no sistema neuromuscular, podendo levar animais à morte em

minutos, horas ou dias (MONDARDO; SENS; FILHO, 2006). De Souza et. al. (2017) em seu estudo analisaram a água da Lagoa do Peri, encontrando uma concentração média de $9,1 \times 10^5$ cél/mL. Além disso, a grande quantidade de cianobactérias presentes na água da Lagoa do Peri faz com que a penetração, ou filtração em profundidade, seja baixa (SCHÖNTAG, 2015). Apesar de as características da água bruta a tornarem inapropriada para aplicação da filtração direta, a mesma proporcionou um aceleração das carreiras de filtração, obtendo-se assim respostas mais rapidamente para o estudo.

No experimento, a água bruta foi recalçada por uma bomba centrífuga de potência igual a $\frac{1}{2}$ cv até uma câmara de nível constante, localizada aproximadamente 6,40 m acima do fundo do sistema piloto estudado. Após a realização da mistura rápida pelo uso de agitador mecânico, a água fluía em direção a orifícios calibrados, de forma a direcionar a vazão especificada para o filtro.

3.2 MISTURA RÁPIDA

A coagulação química foi realizada com solução de policloreto de alumínio (PAC) com teor mínimo de Al_2O_3 de 10,5%, fornecido para a CASAN e cedido pela mesma para a realização desta pesquisa. A solução desse coagulante foi introduzida na câmara de mistura rápida, por meio de bomba dosadora, sendo a dispersão do produto realizada por meio de agitador mecânico. Para o gradiente de velocidade foi adotado 1200 s^{-1} em todo o estudo, conforme indicado por Dalsasso (2005).

A dosagem de PAC foi definida por meio de experimentos de bancada em equipamento de teste de jarros da marca Nova Ética modelo LDB 310, composto por jarros de volume igual a 2 L. Foi empregada a rotação de 500 rpm (1200 s^{-1}) para a mistura. Após a aplicação da dosagem de PAC, variável em cada amostra, foi realizada a mistura rápida do coagulante por 30 segundos. Em seguida ao processo de mistura rápida, o gradiente de mistura foi reduzido para 90 rpm, o equivalente a 120 s^{-1} , sendo então efetuada a aferição do pH de coagulação em cada um dos jarros. A filtração foi realizada pelo uso de papel filtro Whatman 40, sendo os primeiros 50 mL filtrados desprezados e, então, coletados os 100 mL seguintes para a análise de turbidez. Os ensaios em Teste de Jarros foram realizados anteriormente às carreiras de filtração.

3.3 FILTRO RÁPIDO BIFLUXO

Os itens 3.3.1 e 3.3.2 a seguir tratam dos critérios utilizados de forma diferenciada entre as fases do estudo. Já os aspectos tratados entre o item 3.3.3 e 3.7 são válidos para todos os testes realizados no presente trabalho.

3.3.1 Fase 1 do estudo – Duas câmaras de carga independentes

O filtro piloto foi executado em um segmento de tubo de policloreto de vinila (PVC) de 250 mm de diâmetro e com 4,91 m de altura. Essa tubulação pertence à linha de produtos de esgotamento sanitário. A câmara de carga para o trecho de fluxo ascendente do filtro consistiu também em um segmento de tubo de PVC, de 75 mm de diâmetro e com 5,80 m de altura em relação ao fundo do filtro. Essa câmara foi fixada lateralmente ao filtro, e ligada a este pelo fundo por meio de tubulação de PVC de 32 mm. A carga hidráulica para a parcela do filtro de fluxo descendente foi composta pela própria água acumulada sobre o leito filtrante. Portanto, as câmaras de carga para cada uma das porções do filtro foram independentes uma em relação à outra, e suas cargas hidráulicas variáveis ao longo do tempo durante a filtração.

A Fase 1 do estudo, com a configuração do sistema piloto descrita acima, foi realizada em duas etapas:

3.3.1.1 Fase 1-A: Filtração bifluxo

Foram executadas carreiras de filtração com uma taxa de filtração total constante e igual a $400 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, sendo $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ no fluxo descendente e $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ no ascendente. Com tais taxas de filtração e com a área de seção da unidade, seguem as vazões de filtração:

- No fluxo descendente: $9,82 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $6,82 \text{ L}/\text{min}$;
- No fluxo ascendente: $9,82 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $6,82 \text{ L}/\text{min}$;
- Total: $19,64 \text{ m}^3/\text{d}$ ou $13,64 \text{ L}/\text{min}$.

Nesta fase foram realizadas 15 carreiras de filtração, tendo sido 10 consideradas consistentes e selecionadas para serem analisadas neste trabalho. Quanto às carreiras não consideradas, foi identificada alguma questão com potencial de tornar os resultados não

confiáveis ou então foi necessário interrompê-las por razões como problemas na bomba centrífuga ou bomba dosadora.

3.3.1.2 Fase 1-B: Filtração em fluxo único

Foram executadas três carreiras de filtração no fluxo descendente e três carreiras no fluxo ascendente, todas com a aplicação da mesma taxa de filtração utilizada em cada fluxo individualmente na Fase 1-A, a saber: 200 m³/m².d. Dessa forma, em cada uma das seis carreiras foi filtrada uma vazão igual a 9,82 m³/d ou 6,82 L/min, em seu respectivo fluxo.

3.3.2 Fase 2 do estudo – Filtração bifluxo, com câmara de carga única

Após a conclusão dos experimentos da Fase 1, foi adaptado o mesmo sistema piloto de forma a serem unidas as câmaras de carga dos fluxos descendente e ascendente. Utilizou-se um segmento de tubo de PVC de 32 mm de diâmetro com uma válvula tipo globo (abre/fecha). Tal segmento foi flangeado em suas duas extremidades, de forma a unir ambas as câmaras de carga a uma altura de 5,0 cm acima do topo do leito filtrante.

Dessa forma, conforme descrito no item 2.8.1, ao se operar com câmara única de carga para ambos os fluxos, iguais perdas de carga se mantêm através das duas seções do filtro, em virtude do autoajustamento da vazão entre essas seções. Por exemplo, ao ocorrer uma obstrução mais acelerada ao longo de um dos fluxos do filtro, ocorre automaticamente uma redução na sua vazão de escoamento e um conseqüente aumento de carga para o outro fluxo.

De modo a se determinar a parcela da vazão total de água filtrada que passou por cada uma das porções do filtro, foi instalado um medidor de vazão no trecho de tubo de PVC DN 32 que conecta a câmara de carga do fluxo ascendente ao fundo do filtro. Foi verificada a parcela da vazão total que foi filtrada em casa porção do filtro durante toda a carreira de filtração, inclusive após a realização de descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface (DFIs). O medidor de fluxo instalado é do modelo K24, o qual possui 1 polegada de rosca interna, conta com uma precisão de $\pm 1\%$ em vazão de até 120 L/min, opera com pressão de trabalho de até 20 bar. No visor do aparelho se observa a vazão instantânea que passa pelo mesmo e também o volume acumulado. Foram avaliados os volumes acumulados indicados pelo dispositivo até a primeira DFI de cada carreira de filtração, assim como em cada período decorrido após a realização das DFIs.

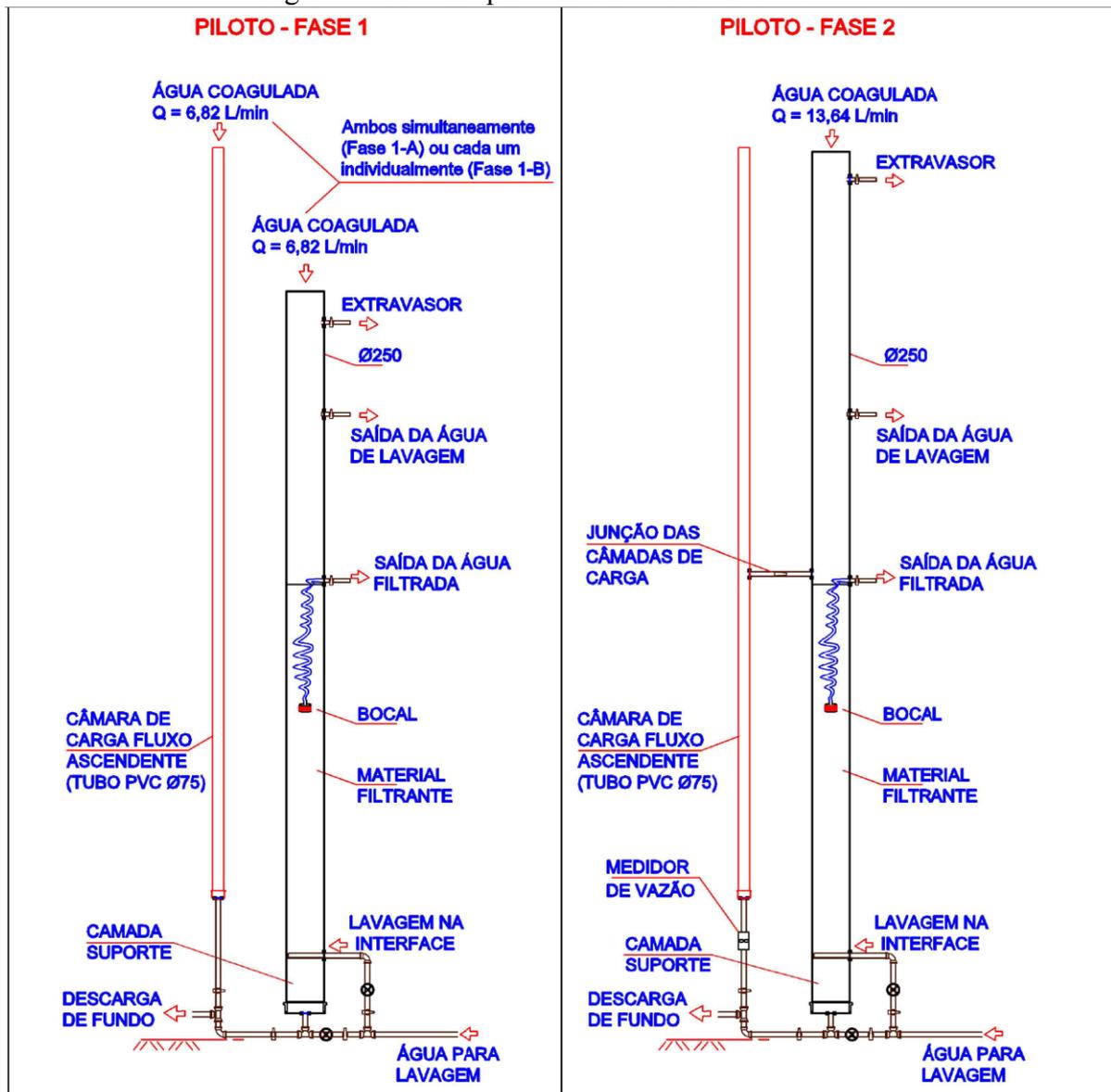
Como a perda de carga inicial referente à porção de fluxo ascendente ficaria apenas 0,39 m abaixo do nível do extravasor da Fase 1 do estudo, na Fase 2 o extravasor foi deslocado, de forma a viabilizar uma maior carga hidráulica para a filtração. Foi conectado um segmento de tubo de PVC da mesma linha (esgotamento sanitário) sobre o tubo da coluna filtrante, alterando a altura do filtro de 4,91 m para 5,86 m. Locou-se o extravasor, na Fase 2 do estudo, 0,95 m acima da sua posição na Fase 1.

Na Fase 2 do estudo o filtro foi operado com uma vazão igual a 13,64 L/min de água a ser filtrada, isto é, manteve-se a taxa total de filtração de filtração aplicada nas carreiras de fluxo duplo da Fase 1.

A figura 6 expõe a configuração do sistema piloto nas Fases 1 e 2 do estudo, na qual ficam claras as alterações quanto à(s) câmara(s) de carga, posição do extravasor e a inclusão do medidor de vazão.

Os cálculos para o dimensionamento do filtro, suas unidades e acessórios, assim como o desenho técnico do sistema piloto nas Fases 1 e 2, se encontram nos Apêndices 1 e 2.

Figura 6 - Sistema piloto nas Fases 1 e 2 do estudo



3.3.3 Camada filtrante

Conforme recomendado por Hamann e Mckinney (1968), Ray (1974) e Vignesán et al. (1983) para filtros rápidos bifluxos, adota-se no projeto em questão uma camada dupla para a unidade de filtração em sua porção acima do sistema de coleta do filtrado, composta por areia e antracito. A porção inferior é composta apenas por areia.

Di Bernardo (1993) dispõe que em filtros de dupla camada de fluxo descendente, com antracito e areia, são recomendadas as seguintes profundidades: 0,20 a 0,30 m para a areia, e 0,45 a 0,60 m para o antracito. Portanto, para a porção superior do filtro bifluxo, que se comporta como um filtro descendente, adotou-se 0,25 m como profundidade da areia e 0,60

m de espessura da camada de antracito. A parcela da camada filtrante que opera como filtro ascendente contou com 1,70 m de altura. Tal critério de projeto vai ao encontro da concepção da filtração direta, que com camadas filtrantes mais espessas pode operar com carreiras de filtração adequadas mesmo se constituindo na única unidade de remoção de impurezas da água a ser filtrada.

O leito filtrante foi implantado no interior do trecho de tubo de 250 mm citado anteriormente. A camada filtrante teve a seguinte configuração, conforme disposto na Tabela 6, sendo que o dreno de água filtrada foi posicionado no limite entre a porção superior e a inferior do filtro.

Tabela 6: Características da camada filtrante

	Parâmetro	Valor/Descrição
Porção superior do filtro (fluxo descendente)	Espessura da camada de antracito	0,60 m
	Diâmetro efetivo do antracito	1,07 mm
	Coefficiente de uniformidade do antracito	1,55
	Espessura da camada de areia	0,25 m
	Diâmetro efetivo da areia	0,51 mm
	Coefficiente de uniformidade da areia	1,47
Porção inferior do filtro (fluxo ascendente)	Espessura da camada de areia	1,70 m
	Tamanho efetivo da areia usada nos 0,30 m superiores	0,51 mm
	Coefficiente de uniformidade da areia usada nos 0,30 m superiores	1,47
	Tamanho efetivo da areia usada nos 1,40 m inferiores	0,58 mm
	Coefficiente de uniformidade da areia usada nos 1,40 m inferiores	1,74

Fonte: o autor.

A análise granulométrica dos materiais filtrantes pode ser visualizada no Anexo.

3.3.4 Camada suporte

A camada suporte contou com uma profundidade total de 30 cm, de forma que seus grãos têm a sua menor granulometria na porção central, sendo simétricas as suas parcelas inferior e superior. Segundo Baylis (1959), tal configuração previne problemas relacionados à mistura do pedregulho mais fino com a areia do leito filtrante, assim como o carreamento de

pedregulho para o topo da camada filtrante. A camada suporte do filtro piloto, composta por seixos rolados de 3,2 mm a 25,4 mm, possui a configuração que consta na tabela 7. Seixos rolados com dimensões acima de 25,4 mm foram dispensados por se tratar de um filtro piloto e, portanto, com uma área de seção reduzida.

Tabela 7: Configuração da camada suporte proposta para o filtro bifluxo

Subcamada	Tamanho dos grãos (mm)	Espessura (cm)
2	12,7 – 25,4	5
3	6,4 – 12,7	5
4	3,2 – 6,4	10
5	6,4 – 12,7	5
6	12,7 – 25,4	5

Fonte: o autor.

3.3.5 Fundo do filtro

O fundo do filtro foi composto por um cap de 200 mm de diâmetro em PVC, na posição invertida em relação ao fundo do segmento de tubo de mesmo material, ficando fixado no interior deste último. O cap invertido foi perfurado uniformemente em sua área circular com orifícios de mesmo diâmetro, de forma a distribuir de maneira adequada a água a ser filtrada e, da mesma forma, a água para lavagem. Dessa forma evita-se a ocorrência de caminhos preferenciais, o que prejudicaria o funcionamento do filtro.

Os orifícios executados no cap possuem cerca de 3,0 mm de diâmetro, assim, com dimensões menores que o menor grão da camada suporte, 3,2 mm. Pretendeu-se, assim, evitar que o mesmo fosse colmatado e comprometesse a função do fundo do filtro.

3.3.6 Descarga de fundo com injeção de água na interface

Conforme descrito por Di Bernardo (2002), no caso de filtros ascendentes a camada suporte também retém impurezas, principalmente no caso de filtração direta, e há dificuldade na retirada das mesmas apenas com retrolavagem de fluxo ascendente, tornando-se essencial a execução de descarga de fundo intermediária antes da lavagem do filtro. Como a porção inferior de um filtro bifluxo opera como um filtro de fluxo ascendente, a previsão de descarga de fundo intermediária, na interface entre a camada suporte e a camada filtrante, torna-se uma escolha importante neste trabalho.

Adotou-se o método de descarga de fundo em que a mesma ocorre

concomitantemente à introdução de água na interface e essa etapa é executada com a manutenção do nível de água no filtro constante. A alimentação com água foi proveniente de fonte externa, o mesmo reservatório de água filtrada utilizada para a retrolavagem. As injeções de água na interface foram executadas sob uma taxa de $1224 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, ou $51 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, tendo sido aferida a vazão ($41,7 \text{ L}/\text{min}$) ao início do estudo por meio da coleta de água na saída da retrolavagem com uso de proveta graduada e cronômetro, manobrando-se a válvula de controle de fluxo.

Na Fase 1-A do estudo, a descarga de fundo com injeção na interface foi realizada sempre que a colmatação ocorreu primeiramente na parcela do filtro que opera no fluxo ascendente, durante o andamento da carreira de filtração.

Na Fase 1-B fixou-se o número de duas execuções de DFI nas carreiras de filtração em fluxo ascendente. Já nas carreiras em fluxo descendente, não foram realizadas descargas de fundo durante a filtração.

Na Fase 2, com o total de seis carreiras de filtração realizadas, em duas delas executou-se apenas uma DFI; em outras duas, utilizou-se de duas DFIs; finalmente, no último par de carreiras, foram executadas três descargas de fundo com o objetivo de prolongar o tempo de filtração.

Com exceção das carreiras de filtração em fluxo único descendente, após o encerramento de todas as carreiras do estudo empregou-se a descarga de fundo com injeção de água na interface como atividade prévia à retrolavagem do filtro.

A tubulação que transporta a água de lavagem para a realização da injeção na interface consiste em uma derivação da tubulação de água para a retrolavagem de fluxo ascendente, sendo o material e o diâmetro de ambas, PVC e 32 mm, contando com um cap em sua extremidade. No trecho da tubulação da injeção na interface que se localiza dentro do filtro, no interior da subcamada superior da camada suporte, foram executados orifícios para a distribuição da água ao longo do seu comprimento. Foram 12 orifícios distribuídos angularmente de maneira uniforme, com suas linhas de centro espaçadas a cada 30° em sua seção. Cada orifício possui um diâmetro de 1,0 mm e os grupos contendo 12 deles são distanciados 10 mm entre si.

A duração da descarga de fundo juntamente à injeção de água na interface foi fixada em 25 s, tempo que, de acordo com Di Bernardo (2003), é suficiente para a limpeza da camada suporte e de alguns centímetros da base da camada filtrante, composta por areia. Com esse tempo e taxa especificados, cada realização dessa etapa consumiu um volume aproximado de 17 L.

3.4 DRENAGEM DA ÁGUA FILTRADA

O uso de tubulações de material plástico com fendas ou perfurações para a coleta do filtrado em filtros bifluxos não se mostrou adequado devido a problemas de obstrução. Nesse sentido, buscou-se uma alternativa para a coleta do filtrado que potencialmente não apresente problemas de obstrução e que, caso tal inconveniente ocorra, haja um meio viável de se promover sua desobstrução. Adotou-se, então, a utilização de um item empregado geralmente no fundo de filtros de fluxo descendente, qual seja, o bocal desmontável. Conjuntos desse tipo de peça drenante são usados em geral junto à laje de fundo de filtros de fluxo único e podem, além de coletar a água filtrada, ainda operar a distribuição da água (ou ar e água) para a lavagem do filtro.

Tais bocais, também chamados de crepinas, por terem um uso no tratamento de água que envolve seu contato direto com material filtrante (areia, em geral), possuem potencialmente menores chances de sofrer obstrução e forçar a interrupção da carreira de filtros bifluxos. A Figura 7 ilustra o bocal descrito, na sua forma encaixada e desencaixada, assim como seus elementos para encaixe e drenagem da água filtrada.

Figura 7: Bocal desmontável utilizado no estudo



Fonte: O autor.

Os bocais propostos possuem corpo composto por nylon e fibra de vidro, que suporta e fixa discos em polipropileno, os quais possuem sulcos uniformes com direção radial em

relação à peça. Os sulcos por onde o filtrado adentra ao corpo da crepina possuem aberturas com dimensões menores que 0,40 mm (HIDRO SOLO, 2019), valor abaixo do tamanho efetivo dos materiais filtrantes geralmente empregados, inclusive da areia empregada nesse projeto (0,50 e 0,60 mm). Esse fato reduz as possibilidades de colmatação da peça. Ainda, diferentemente de outros bocais, os desse tipo são desmontáveis, sendo facilmente desencaixados e permitindo uma rápida limpeza e retorno à operação. Suas partes inferior e superior são rosqueáveis, ambas mantendo os discos comprimidos e encaixados na sua porção intermediária. O diâmetro externo dos discos é de 80 mm; o interno junto aos discos é de 32 mm; e o diâmetro interno da saída do bocal é de 18 mm.

O elemento de sua parte interior apresenta quatro aberturas em contato com os sulcos dos discos, que levam a água para seu orifício central, o qual continua até a extremidade exterior da crepina. Essa parte do elemento central pode se prolongar, no caso de uso dessas peças para lavagem com ar e água, ou pode se encerrar no elemento rosqueável. Esse prolongamento no exterior da base para os discos possibilita o encaixe da peça em tubos ou outro elemento.

No presente estudo, o bocal descrito foi conectado e colado a um segmento de mangueira corrugada de PVC com diâmetro de 25 mm. Adotou-se tal material visto que a mangueira deveria, além de não dobrar, ter flexibilidade suficiente para fazer curvas no interior do filtro durante a operação de filtração. Ainda, deveria se posicionar em forma praticamente retilínea nas eventuais limpezas do bocal, evitando-se assim comprimentos maiores de mangueira. A função desta última, então, consiste em recolher a água filtrada da unidade e captada pelo bocal e permitir o içamento deste último para o exterior do filtro sem comprometer a integridade do sistema de coleta do filtrado.

O encaminhamento para o exterior da unidade filtrante se dá por uma saída em PVC com diâmetro de 25 mm, flangeada, posicionada logo acima da superfície da camada filtrante, à qual está conectada a mangueira corrugada de PVC. Nesse trecho de tubo foi instalada uma válvula de esfera, para operar aberta enquanto o filtro opera e fechada enquanto o mesmo estiver em modo de retrolavagem. A saída da água filtrada foi posicionada acima da camada filtrante para se evitar a formação de pressão negativa, conforme explicado no item 3.6. A saída da água filtrada se dá por drenagem livre, sendo captada em um recipiente e encaminhada, por tubos de PVC e ao final por mangueira de silicone, ao reservatório de água para lavagem do filtro. Durante a recuperação do filtro a água filtrada foi direcionada ao esgotamento da ETA. A coleta das amostras de água filtrada para as análises de sua qualidade se deu logo na saída da mesma do filtro, antes de a mesma entrar em contato com o recipiente,

sendo o tempo de carreira iniciado no momento em que a vazão que sai do filtro é igual a 13,64 L/min.

Foi empregado, ainda, um sistema para possibilitar a condução do bocal para o exterior da unidade filtrante, em caso de eventuais operações de desobstrução / manutenção, uma vez que essa atividade fica impossibilitada com o dispositivo no interior do filtro. A suspensão do bocal foi realizada por um cabo de aço fixado à mesma, o qual foi preso na borda superior do filtro enquanto o mesmo opera no modo filtração ou lavagem. Assim, a crepina permanece na sua correta profundidade em relação à camada filtrante, devido ao comprimento especificado do cabo, que é flexível, porém inelástico.

O içamento da peça serve para casos em que o nível dos piezômetros instalados ao longo do leito filtrante estejam em rápida ascensão (acima de 10 cm dentro de um intervalo de 15 min) e a vazão de saída do filtrado ao menos 20% abaixo de 13,64 L/min. A aferição da vazão de filtrado foi realizada sempre que necessário, com o uso de proveta graduada e cronômetro, sendo coletada água diretamente na saída da água filtrada. Ao ser indicada a obstrução do sistema de drenagem do filtrado, procede-se com as seguintes atividades, na ordem indicada:

- Interrompe-se a operação do filtro, deixando de introduzir água não filtrada na unidade;
- Realiza-se uma descarga de fundo com injeção de água na interface, conforme descrito no item 3.3.4. Injeta-se água de lavagem no fluxo ascendente de modo a fluidificar o leito filtrante. No caso de a constatação de obstrução do bocal não ocorrer logo de imediato ao início da carreira de filtração, retrolava-se o filtro da mesma forma como ao fim das carreiras de filtração, conforme descrito no item 3.6;
- O bocal é içado até o topo do filtro, estando o meio fluidificado, de forma que a peça não seja submetida a maiores esforços, preservando a integridade da mesma;
- Desliga-se a injeção de água de lavagem e realiza-se a limpeza/manutenção do dispositivo, registrando as prováveis causas da colmatação e como se procedeu para a resolução do problema;
- Remonta-se o bocal, então desobstruído, junto à mangueira corrugada de PVC;
- Injeta-se novamente água de lavagem no fluxo ascendente de modo a fluidificar o leito filtrante e, enquanto isso, coloca-se o bocal novamente na sua posição, no interior da camada filtrante;
- Encerra-se a fluidificação do leito filtrante e espera-se que o mesmo se assente na

sua devida posição para, então, continuar a carreira de filtração ou iniciar a seguinte, a depender da limpeza do leito filtrante.

A frequência da retirada do bocal do interior do leito filtrante para sua limpeza/manutenção foi registrada, assim como o estado em que o mesmo se encontrou quando da sua retirada e as atividades realizadas para que recuperasse sua capacidade de drenagem do filtrado.

O desenho do filtro rápido bifluxo executado, com detalhes da saída do filtrado da unidade, se encontra no Apêndice 2.

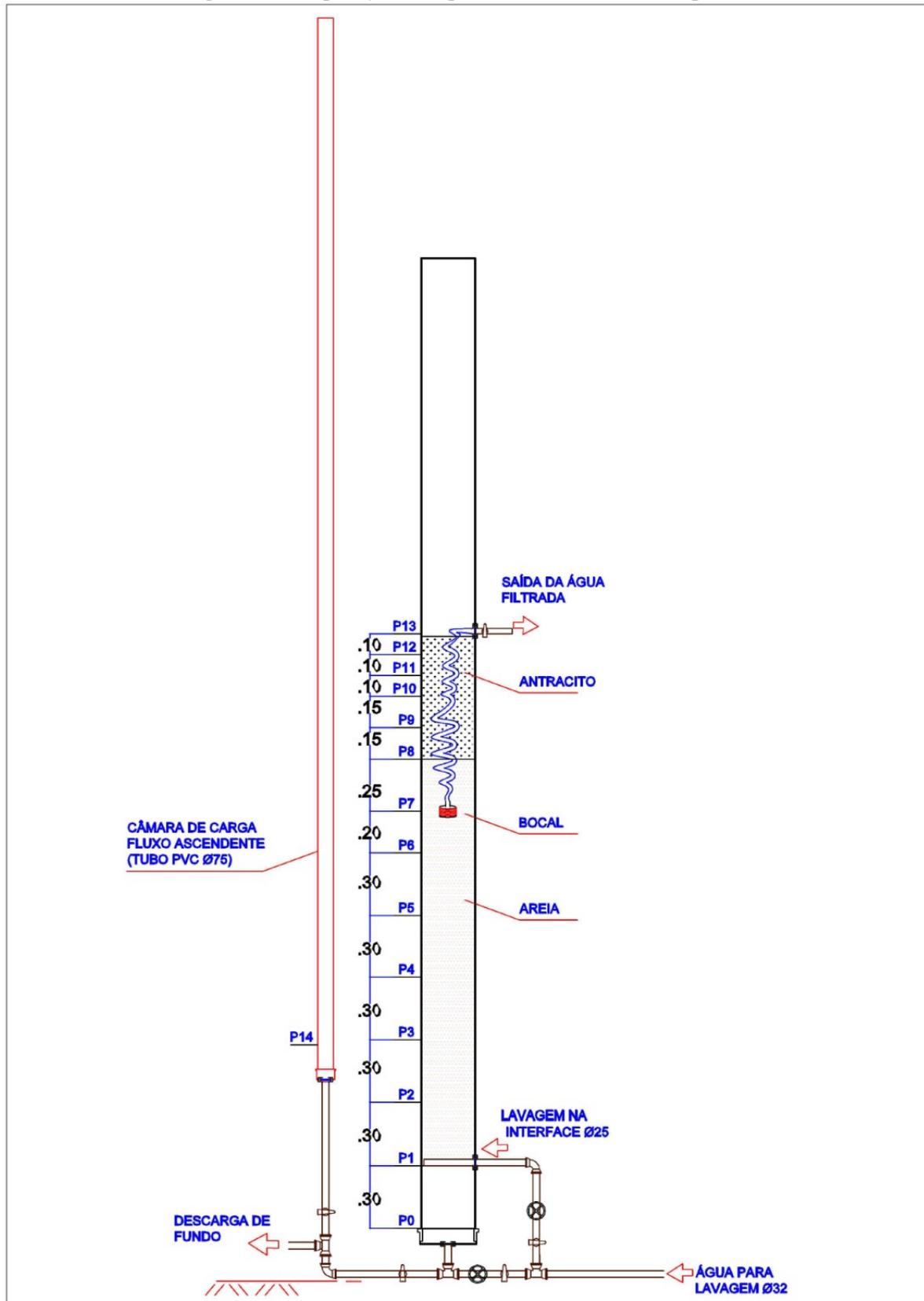
3.5 MEDIÇÃO DA PERDA DE CARGA AO LONGO DO LEITO FILTRANTE

Foram implantados piezômetros por meio de mangueiras de nível de material plástico transparente nos seguintes pontos do filtro:

- Na extremidade inferior da camada suporte;
- Na interface entre camada suporte e leito filtrante
- Na porção de fluxo ascendente - de baixo para cima: 30; 60; 90; 120; 150 cm e na altura do bocal;
- Na interface entre areia e antracito;
- Ao longo da camada de antracito – de baixo para cima: 15; 30; 40 e 50 cm;
- Acima do topo da camada filtrante (P13);
- Na base da câmara de carga da porção ascendente (P14).

A disposição dos piezômetros no sistema piloto pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 - Disposição dos piezômetros no sistema piloto

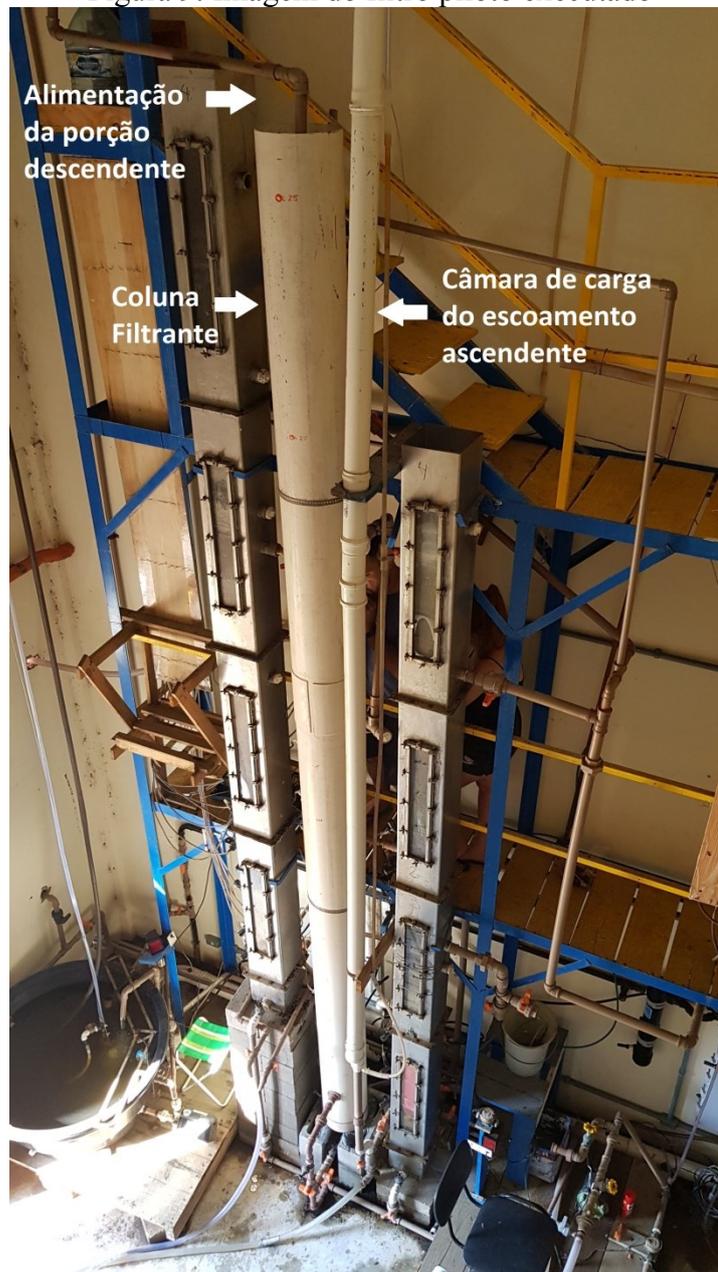


Fonte: o autor.

Os piezômetros foram fixados em uma régua e seus níveis foram verificados a cada 15 minutos, de forma a se avaliar a participação de cada subcamada do leito filtrante na retenção de impurezas ao longo das carreiras de filtração. Além disso, a leitura dos piezômetros P13 e P14 foram úteis para se verificar a altura da água em cada uma das câmaras de carga, prevendo-se a proximidade do fim da carreira de filtração.

A figura 9 consiste em uma imagem do filtro piloto executado e as figuras 10 e 11 são imagens do fundo do filtro e da saída do filtrado, respectivamente.

Figura 9: Imagem do filtro piloto executado



Fonte: o autor.

Figura 10: Imagem da porção inferior do filtro e suas conexões



Fonte: o autor.

Figura 11: Imagem da saída do filtrado



Fonte: o autor.

3.6 RETROLAVAGEM

3.6.1 Expansão desejada do leito filtrante e velocidade ascensional da água de lavagem

No dimensionamento do sistema piloto foi considerada uma velocidade durante a lavagem de 0,85 m/min, estando de acordo com o indicado no item 2.8.2 pelos autores citados. Essa velocidade ascensional de lavagem equivaleria a uma taxa de 1.224 m³/m².d, de forma a expandir o leito filtrante até uma altura de 0,95 m acima da superfície do mesmo quando em filtração.

Entretanto, durante a fase inicial de operação do sistema piloto, verificou-se que essa velocidade de retrolavagem ocasionaria a perda de material filtrante. Com o uso da válvula de controle de fluxo instalada no trecho de recalque da retrolavagem, foram testadas outras vazões a serem empregadas. A velocidade ascensional mais adequada obtida e utilizada ao longo desse estudo foi 0,77 m/min, ou 46 m³/m².h. Essa taxa é ligeiramente inferior à faixa recomendada por Hamann e Mckinney (1968) e Vignesan et al. (1983) para lavagem de filtros bifluxos, 47,5 a 55 m³/m².h, porém a expansão de todos os materiais ficou acima de 20%, conforme é recomendado para lavagem de filtros.

3.6.2 Vazão de água para retrolavagem

A vazão de água para retrolavagem é dada pelo produto entre a taxa e a área da seção do filtro, qual seja, 0,0378 m³/min ou 37,8 L/min.

3.6.3 Tempo nominal e volume de água de lavagem

Di Bernardo et. al. (2017) recomendam um tempo nominal de 7 a 10 minutos para lavagem dos filtros. Adotou-se, em fase de projeto, um tempo nominal de 10,0 minutos para lavagem do filtro. Tendo-se esse tempo estabelecido e a vazão de lavagem calculada, calculou-se que o volume de lavagem do filtro corresponde a 0,42 m³. Assim, o reservatório de lavagem deveria possuir um volume maior que esse valor, em que se adotou um reservatório com capacidade de 1.000 litros.

Esse volume se mostrou adequado, dado que na operação do filtro se obteve um tempo nominal de lavagem de 14 minutos (1,5 min até que saísse água da retrolavagem no ponto de coleta e 12,5 min de coleta de água para análise da turbidez remanescente), tempo

necessário para que a água de lavagem estabilizasse em uma turbidez entre 10 e 20 uT, de forma que o filtro fosse limpo de forma produtiva. Dessa forma, o volume reservado possibilitou, com segurança, a operação de retrolavagem, além de viabilizar a execução da descarga de fundo com injeção de água na interface, sempre realizada previamente à lavagem do filtro e que consumiu cerca de 17 L por operação.

3.6.4 Operação da lavagem do filtro

Ao término de cada carreira de filtração, o fornecimento de água coagulada foi interrompido e, na sequência, realizada a descarga de fundo com injeção na interface (exceto em carreiras de filtração em fluxo único descendente) e a retrolavagem. Ambas últimas operações foram realizadas com a válvula de saída do filtrado fechada, de modo que não adentrasse água de lavagem no bocal ou no restante do sistema de coleta da água filtrada.

A lavagem se deu por meio do uso de um conjunto motor-bomba centrífuga de potência igual a 1 cv conectado a um segmento de tubulação de PVC com 32 mm de diâmetro, com a outra extremidade ligada ao fundo do filtro. Esse esquema ainda contou com um registro para o controle da vazão, de forma a se garantir o fornecimento da vazão especificada para a adequada expansão do leito filtrante. A água utilizada nessa operação foi água filtrada pela própria unidade a partir dos 30 minutos de cada carreira (o filtrado durante a fase de recuperação foi descartado), sem que a mesma tenha passado por processo de desinfecção.

3.7 ANÁLISES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Visto que a avaliação dos resultados de qualidade da água não é foco do presente estudo, o único parâmetro qualitativo analisado foi turbidez. Tal parâmetro é um dos parâmetros exigidos pela Portaria Consolidada N° 05 de 2017 do Ministério da Saúde, para se considerar a potabilidade da água filtrada em estudo.

A turbidez também foi considerada na avaliação quantitativa do filtro: na determinação do tempo de lavagem e na indicação do tempo de recuperação do filtro.

Os procedimentos das análises seguiram os protocolos definidos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2017). As análises de turbidez foram efetuadas no equipamento Turbidímetro modelo HACH 2100P, tendo seus resultados a unidade uT (unidades de turbidez). Todas as análises foram realizadas no LAPOA, em suas

instalações junto à ETA da Lagoa do Peri.

3.7.1 Análises de turbidez na água bruta e durante a filtração

Previamente ao início de cada carreira de filtração foram coletadas amostras da água bruta, especificamente no reservatório inferior de água a ser filtrada. Durante os 30 minutos iniciais de cada carreira de filtração, foram coletadas amostras de água filtrada de dois em dois minutos, para o estudo do tempo de recuperação do filtro, item essencial na avaliação da produção efetiva do filtro. Após esse tempo, a água filtrada foi amostrada em intervalos de 30 minutos.

A análise de turbidez durante a filtração compõe o objetivo de avaliar a adequabilidade dos critérios de projeto utilizados no presente estudo.

3.7.2 Análises de turbidez durante a descarga de fundo e retrolavagem

Em todas as operações de retrolavagem do filtro, a cada 30 segundos, foi coletada uma amostra da água de lavagem para análise de turbidez, a fim de verificar a adequabilidade do tempo de lavagem determinado. O ponto de coleta das amostras foi junto ao final da tubulação de drenagem da água de lavagem, a qual encaminha ao esgoto da ETA Lagoa do Peri. Nesse ponto foi conectado um segmento de mangueira de silicone transparente. Esse segmento de mangueira foi manobrado para ora encaminhar a água diretamente à tubulação de esgoto, ora possibilitar a amostragens.

As amostras para análise de turbidez durante a injeção de água na interface juntamente à descarga de fundo foram coletadas no meio dessa operação, ou seja, próximo aos 12,5 segundos após o seu início, interceptando o fluxo da água em direção ao tubo de esgoto da ETA. O mesmo procedimento foi realizado ao final da operação, próximo aos 25 segundos, pouco antes de encerrar essa operação. Esse monitoramento foi realizado nas descargas de fundo intermediárias (durante a carreira de filtração) e nas realizadas previamente à retrolavagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa são avaliados observando-se os seguintes critérios:

capacidade de filtração, produção efetiva, grau de profundidade da filtração, qualidade da água (turbidez) e análise dos critérios de projeto adotados.

A melhor dosagem de PAC para a água do estudo foi igual a 15,0 mg/L. Com essa dosagem obteve-se os melhores resultados de turbidez após a filtração descrita anteriormente para uma faixa de pH entre 6,0 e 8,0. Ainda, com sua aplicação, o pH teve uma variação desprezível. Os resultados dos testes de jarros realizados constam no Apêndice 3.

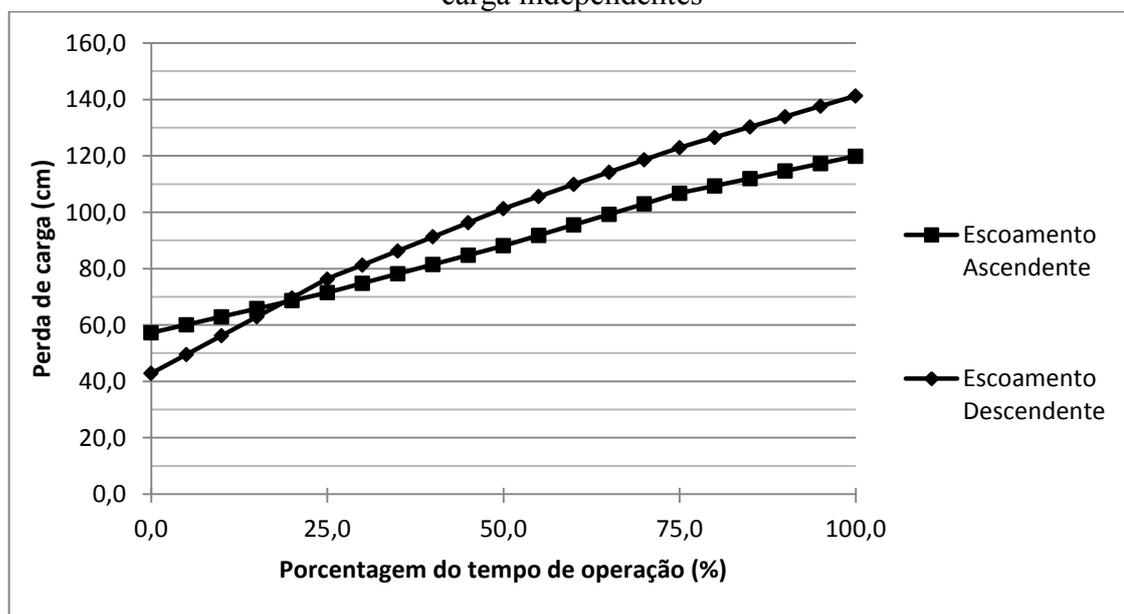
Os demais resultados foram divididos por fase do estudo, conforme segue.

4.1 FASE 1-A

4.1.1 Capacidade de filtração

Devido à qualidade da água bruta (alta concentração de fitoplâncton), a duração média das dez carreiras analisadas foi baixa e igual a $3,0 \pm 0,2$ h. Deve ser considerado que a carga hidráulica disponível aplicada na parte de escoamento descendente (cerca de 1,0 m) foi menor ao geralmente empregado em estações de tratamento em escala real. Todas as carreiras de filtração foram encerradas devido à carga hidráulica disponível para o fluxo descendente. A Figura 12 ilustra a evolução média da perda de carga ao longo da carreira de filtração no fluxo descendente e no fluxo ascendente.

Figura 12: Comportamento médio das perdas de carga totais no meio filtrante (cm) no escoamento descendente e ascendente durante em dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes



A elevação acentuada da perda de carga no meio filtrante, especialmente no fluxo descendente, está associada ao fato de que a água da Lagoa do Peri não é adequada para a tecnologia por filtração direta. A grande quantidade de cianobactérias presentes na lagoa do Peri, faz com que a penetração (filtração em profundidade) seja baixa, aspecto mais impactante no fluxo descendente ao ascendente, dado que no primeiro a água a ser filtrada passa primeiramente entre as partículas menores do meio filtrante. Os filamentos produzidos por algumas espécies de fitoplâncton obstruem os poros do meio filtrante, dificultando a penetração das impurezas. De acordo com Laudares (1999), as dimensões dos tricomas (filamentos) das espécies *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudoanabaena galeata*, encontradas na Lagoa do Peri, variam entre 42,0 e 162,0 μm para a primeira e 33,0 a 769,0 μm para a última.

No fluxo ascendente os resultados indicam que a presença considerável de fitoplâncton impactou menos, o que fica claro na evolução da perda de carga ao longo da carreira. Enquanto no fluxo descendente a perda de carga variou cerca de 1,0 m até o encerramento das carreiras, no ascendente variou aproximadamente 60 cm em média. Esse fato está associado ao fato de que o fluxo ascendente é hidraulicamente mais eficiente, dado que a água passa por grãos cada vez menores ao longo do leito filtrante.

Todas as carreiras de filtração foram encerradas devido ao consumo da carga hidráulica do fluxo descendente. Não houve transpasse de turbidez.

Com o objetivo de se obter uma estimativa da duração da carreira de filtração para o caso de se possuir uma carga hidráulica disponível de 2,0 m, mantendo-se os demais critérios de operação, como a taxa de filtração, foram determinadas as linhas de tendências de avanço da perda de carga ao longo do tempo, pelo método de regressão linear. No fluxo descendente a perda de carga no meio filtrante se elevou em média 33,8 cm a cada hora de carreira de filtração, já no ascendente esse valor foi de 20,1 cm. Assumindo-se a mesma tendência de avanço da perda de carga em cada um dos fluxos do filtro e que não se atingisse o transpasse no decorrer desse período, uma carga hidráulica disponível de 2,0 m no fluxo descendente seria atingida após 5,92 h, ou 5h55min. Para a porção ascendente, isso ocorreria após 9,95 h, ou seja, 9h57min. Dessa forma, a carreira seria encerrada após cerca de 6,00 h para o caso de haver 2,0 m de carga hidráulica disponível, ou seja, descontada a carga inicial, referente ao filtro limpo.

Seguindo-se o mesmo raciocínio, para ocorrer o consumo da carga hidráulica de ambos os fluxos ao mesmo tempo, o fluxo descendente deveria dispor de uma carga hidráulica disponível 68% maior à do fluxo ascendente. Duas estratégias utilizadas por

autores distintos para prolongamento da carreira de filtração, em estudos com filtração direta e com o emprego de água bruta do mesmo manancial, são descritos nos parágrafos a seguir.

Carreiras de filtração com duração próxima ao obtido pela extrapolação dos resultados do presente estudo, qual seja $6,4 \pm 0,8$ h, foram obtidas por Dalsasso (2005), com utilização de água bruta proveniente do mesmo manancial. O autor avaliou um filtro por filtração direta descendente, sob taxa constante de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ e carga hidráulica variável, sendo as carreiras de filtração encerradas quando a perda de carga total no meio filtrante atingia 2,0 m. A camada filtrante possuía características próximas ao empregado na ETA: 90 cm de antracito com tamanho efetivo 1,1 e coeficiente de uniformidade (CU) de 1,1 sobre uma camada de 30 cm de areia com tamanho efetivo de 0,50 mm e CU menor a 2. A coagulação foi realizada com uso de sulfato de alumínio. O autor obteve carreiras com duração 68% maior com testes de aplicação de pré-floculação.

Mondardo & Melo Filho (2003) aplicaram pré-ozonização ($1,0 \text{ mg O}_3/\text{L}$) para então proceder com a filtração direta, em que foi demonstrado obter carreiras até 50% mais longas.

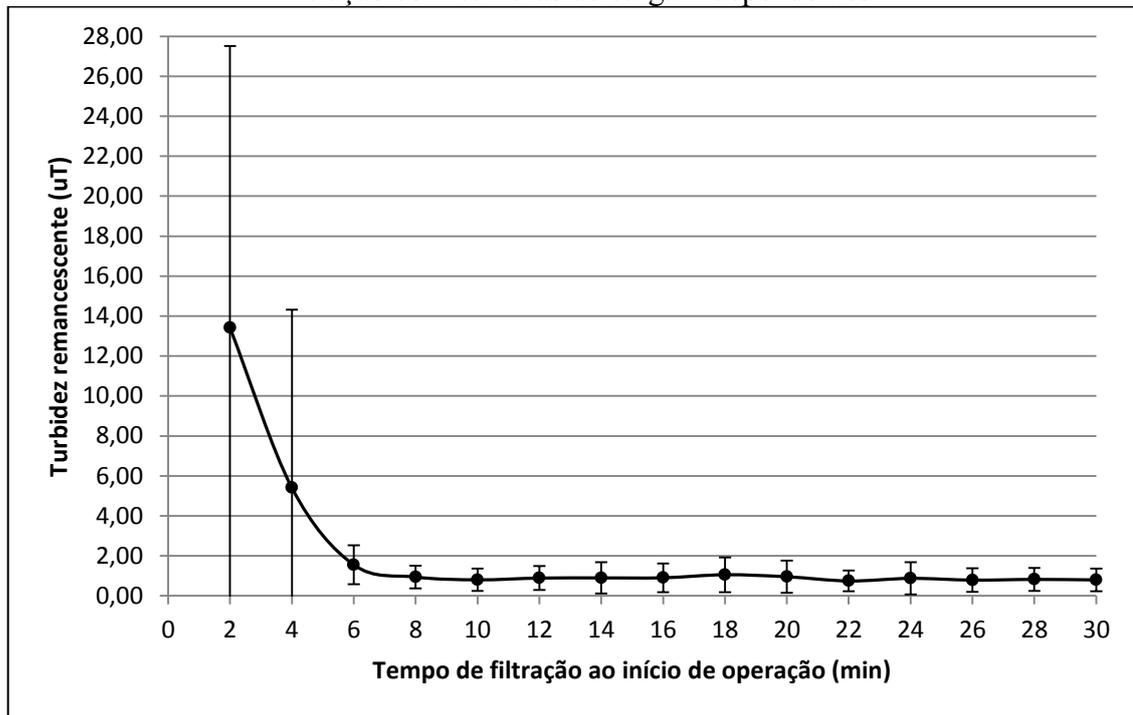
4.1.2 Avaliação da produção efetiva

Para a determinação da produção efetiva do filtro foram considerados os dados práticos das seguintes etapas: recuperação do filtro, filtração, descarga de fundo na interface e retrolavagem.

4.1.2.1 Recuperação

O período de recuperação é o tempo necessário até que o filtro tenha estabilizadas as características da água filtrada e foi verificado para as dez carreiras de filtração. As médias e desvio padrão da turbidez aos 30 primeiros minutos de filtração são apresentados na Figura 13, em que se pode observar que o tempo de recuperação foi de 8 minutos.

Figura 13: Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes



4.1.2.2 Descarga de fundo com injeção na interface

Como não houve casos entre as 10 carreiras de filtração analisadas em que a carga hidráulica máxima no fluxo ascendente foi atingida anteriormente à do fluxo descendente, a descarga de fundo com injeção na interface não foi realizada durante a carreira de filtração e, sim, anteriormente a cada retrolavagem. Essas operações duraram 25 s e utilizaram uma taxa de $1.224 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

4.1.2.3 Retrolavagem

Na etapa de projeto do sistema piloto foi estipulada uma vazão de 41 L/min para o processo de retrolavagem, o que significa uma velocidade ascensional de 0,85 m/min, por um período de 10 minutos. Ao ser testado essa vazão, durante a fase de *start up* do filtro, constatou-se que a mesma provocaria perda de material filtrante, sendo, portanto, muito elevada na prática.

A vazão de retrolavagem foi então reduzida, por meio de manobras na válvula de controle de fluxo, chegando-se à vazão mais próxima à determinada em projeto e que não acarretou em perda de material filtrante, a saber, 37,8 L/min. Tal vazão corresponde a uma

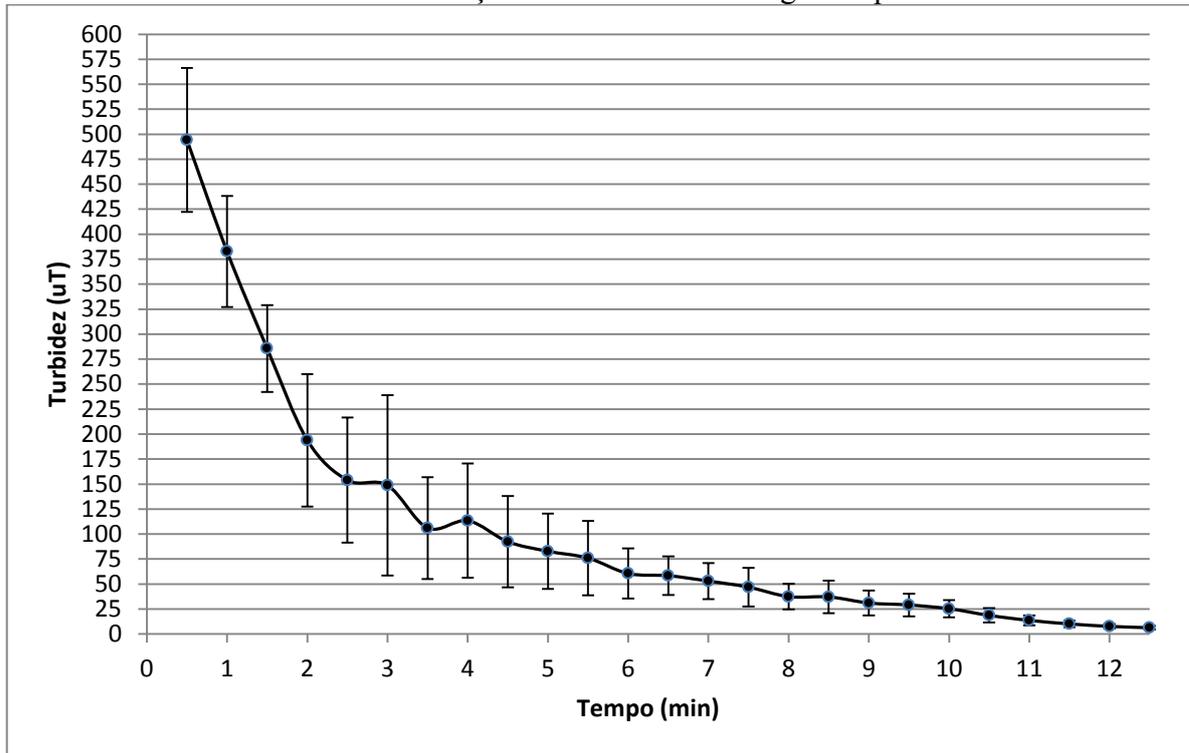
velocidade ascensional de 0,77 m/min, ou a uma taxa de 1.104 m³/m².d. Essa taxa é ligeiramente inferior à faixa recomendada por Hamann e Mckinney (1968) e Vignesan et al. (1983) para lavagem de filtros bifluxos, 1.140 a 1.320 m³/m².d.

Ainda durante a fase de pré-operação do sistema piloto, analisou-se a turbidez a cada 30 segundos durante a retrolavagem, com o objetivo de fixar a duração dessa operação dessa fase em diante. Com o emprego da vazão de 37,8 L/min, a água de retrolavagem demorava aproximadamente 1min30s para chegar ao ponto de amostragem, que fica na parte inferior da sala do piloto, junto à tubulação de esgoto da ETA. Tanto durante a pré-operação quanto na realização das carreiras do estudo, a turbidez estabiliza em um valor adequado (abaixo de 20 uT) entre a coleta correspondente ao tempo de 10min30s e o de 11min. Dessa forma, fixou-se o período de lavagem em 12min30s, sendo amostrada a turbidez, da mesma forma, a cada 30 s em todas as carreiras de filtração do estudo.

Os resultados de turbidez durante a retrolavagem são apresentados na Figura 14. Até o tempo de 3min30s a turbidez decresce consideravelmente, sendo na sequência essa redução mais suave, especialmente após o tempo de 8 minutos.

Conforme se espera, com a redução da vazão de retrolavagem prevista em projeto, o tempo até que a turbidez da água estabilizasse foi maior que o previsto. O volume total de água consumido na operação do filtro para a retrolavagem foi cerca de 470 L.

Figura 14: Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes



4.1.2.4 Determinação da produção efetiva

Com as informações da operação conforme anteriormente abordadas, procedeu-se com a definição da produção efetiva, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Produção efetiva do filtro rápido bifluxo, valores médios obtidos com a análise de dez carreiras de filtração. Sendo: VF é a velocidade de filtração, m/h; VR é a velocidade de retrolavagem, m/h; VD é a velocidade na operação da DFI, m/h; tF é a duração da carreira de filtração, h; tR é o tempo de retrolavagem, h; tRec é o tempo de recuperação, h; td é o tempo de descarga de fundo com injeção na interface, h; UVCF é o volume durante a carreira; UVR é o volume de retrolavagem do filtro; UVD é o volume de descarga de fundo com injeção na interface; UVRec é o volume utilizado no período de recuperação.

tF (h)	3	VF (m/h)	16,67	UVCF (m ³ /m ²)	50
tR (h)	0,215	VR (m/h)	46,2	UVR (m ³ /m ²)	9,93
tRec (h)	0,133	Velocidade da recuperação = VF (m/h)	16,67	Uvrec (m ³ /m ²)	2,22
tD	0,007	VD (m/h)	51	UVD	0,35
Produção Efetiva (%)				75	

Claramente, uma produção efetiva como a obtida está bem abaixo da ideal, que é de 95% (CRITTENDEN et. al., 2011). Porém, a carga hidráulica disponível para ambos os fluxos do filtro bifluxo do experimento foi menor ao empregado em ETAs que, de forma geral, é em torno de 2,0 m.

Extrapolando-se a curva da evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração, assumindo-se a mesma tendência de evolução da mesma obtida experimentalmente e para o caso de não haver transpasse, pode-se estimar a duração da carreira para o caso de se dispor de 2,0 m de carga hidráulica, obtendo-se que a carreira duraria 5,92 h. A Tabela 9 demonstra a produção efetiva com essa extrapolação:

Tabela 9: Produção efetiva do filtro rápido bifluxo, valores obtidos a partir da extrapolação da linha de tendência de evolução da perda de carga no meio filtrante, considerando uma carga hidráulica disponível de 2,0 m. Sendo: VF é a velocidade de filtração, m/h; VR é a velocidade de retrolavagem, m/h; VD é a velocidade na operação da DFI, m/h; tF é a duração da carreira de filtração, h; tR é o tempo de retrolavagem, h; tRec é o tempo de recuperação, h; tD é o tempo de descarga de fundo com injeção na interface, h; UVCF é o volume durante a carreira; UVR é o volume de retrolavagem do filtro; UVD é o volume de descarga de fundo com injeção na interface; UVRec é o volume utilizado no período de recuperação.

tF (h)	5,92	VF (m/h)	16,7	UVCF (m ³ /m ²)	98,7
tR (h)	0,215	VR(m/h)	46,2	UVR (m ³ /m ²)	9,93
tRec (h)	0,133	Velocidade da recuperação = VF (m/h)	16,7	Uvrec (m ³ /m ²)	2,22
tD	0,007	VD (m/h)	51	UVD	0,35
Produção Efetiva (%)				87,3	

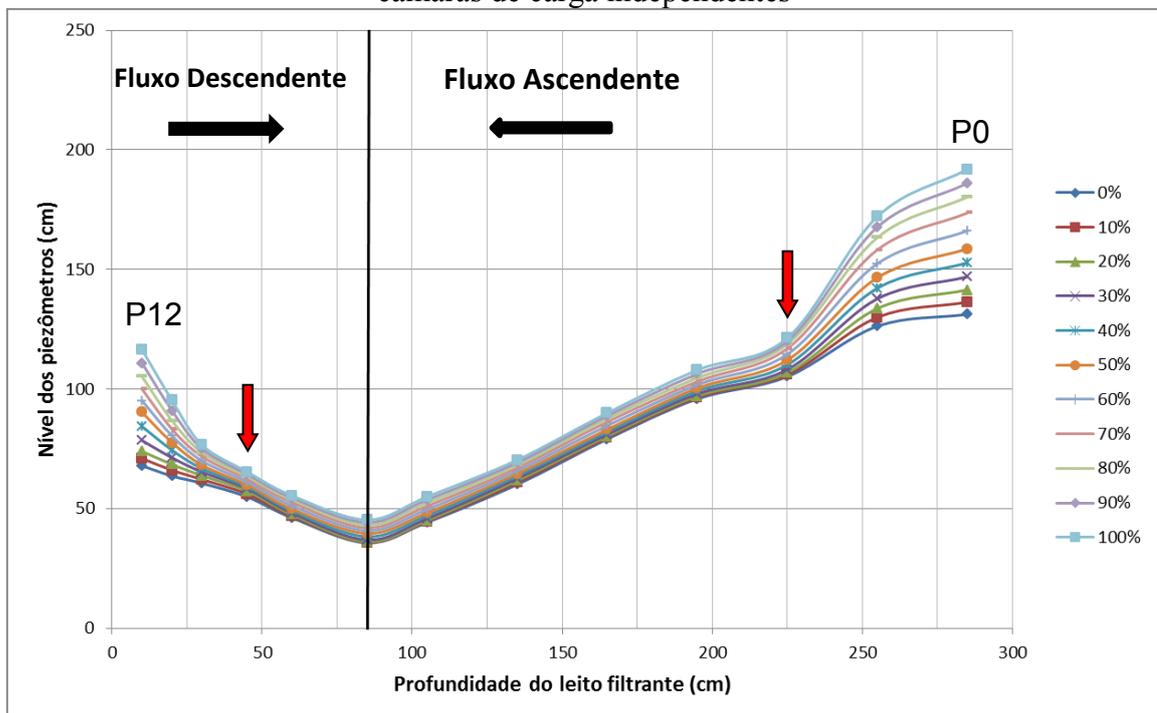
Mantendo-se o tempo de recuperação do filtro, assim como o tempo e vazão de retrolavagem e DFI, a carreira de filtração deveria durar 15,0 h para se obter uma produção efetiva de 95%. Uma das possibilidades para se atingir essa duração de carreira seria realizar o tratamento convencional, adicionando etapa de floculação e decantação (ou flotação). Outra alternativa para se buscar este objetivo seria a alteração das taxas aplicadas em cada fluxo ou operar o filtro com câmara única, com um autoajustamento das perdas de carga de cada fluxo e possibilitando o uso de descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface. Essa última alternativa acarretou na execução da Fase 2 do estudo, abordada adiante neste trabalho.

4.1.3 Grau de profundidade da filtração

As frentes de impurezas ou ação da profundidade podem ser entendidas como o resultado de uma sucessão de estágios relativos à colmatação das subcamadas que compõem o meio filtrante. A partir do momento em que a diferença de leitura piezométrica entre dois piezômetros (o que corresponde a uma subcamada) não muda com o tempo de filtração, significa que a quantidade de partículas que sai é a mesma que entra.

As profundidades máximas do leito filtrante nas porções descendente e ascendente que efetivamente reteram impurezas correspondem aos pontos em que as curvas da Figura 15 passam a ser paralelas. O ponto mais baixo da curva corresponde à localização do bocal, na profundidade de 85 cm. As curvas à esquerda desse ponto representam o escoamento descendente e as curvas à direita do mesmo referem-se ao escoamento ascendente.

Figura 15: Ação da profundidade no filtro, nas porções descendente e ascendente (a porcentagem é em relação à duração da carreira de filtração) em dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes

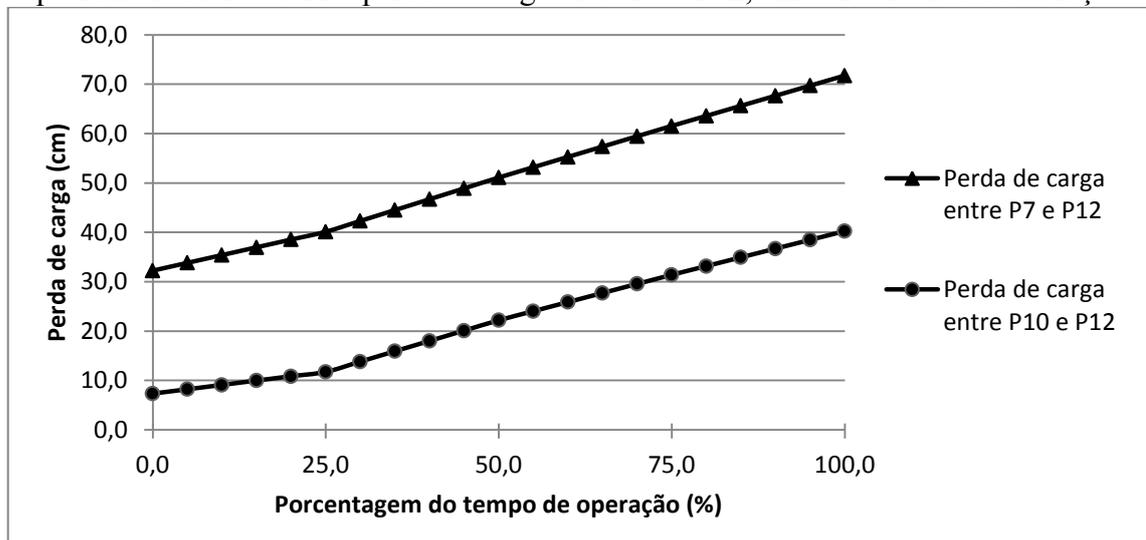


Observa-se que, mesmo com dois materiais filtrantes, o antracito e a areia, com granulometrias consideravelmente distintas, a penetração (filtração em profundidade) foi baixa, em torno de 45 cm. Na realidade, com base nesse resultado, pode-se dizer que a areia praticamente não reteve impurezas no fluxo descendente, ficando essas últimas retidas nos 45

cm mais superficiais da camada de 60 cm de antracito. Com esse resultado, mantidos os demais critérios de projeto e a água bruta utilizada, indica-se que a profundidade do leito filtrante no fluxo descendente pode ser reduzida.

A perda de carga nas duas subcamadas mais superficiais (entre P10 e P12) variou de uma média de 22,8% do valor da perda de carga entre P7 e P12 ao início da carreira de filtração até um valor médio de 56,1% ao final da mesma. Esse dado confirma a ampla participação dessas duas subcamadas de material filtrante na retenção de impurezas no escoamento descendente. Os valores absolutos constam na Figura 16.

Figura 16: Comparação da evolução da perda de carga na camada compreendida entre os piezômetros P10 e P12 e perda de carga entre P7 e P12, em dez carreiras de filtração



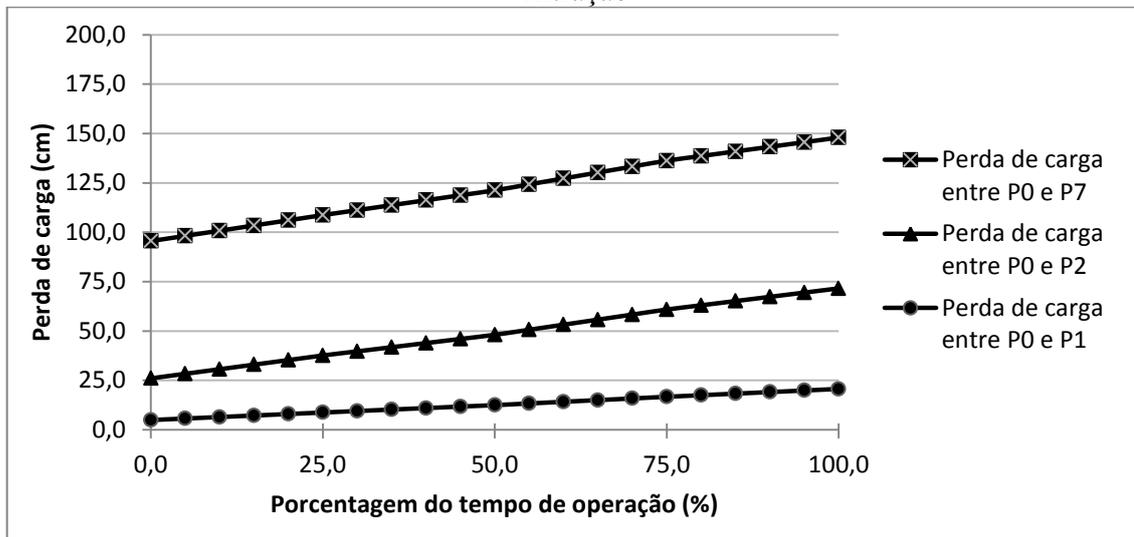
A grande quantidade de cianobactérias (*Cylindrospermopsis raciborskii*) é um fato que prejudica a penetração (filtração em profundidade). Schontag (2015), que em seu estudo utilizou água bruta do mesmo manancial, obteve resultados de penetração de impurezas de 80 cm em filtro de dupla camada na modalidade de filtração direta descendente. O autor utilizou uma camada filtrante de 80 cm de antracito (de tamanho efetivo de 0,85 mm e diâmetro mínimo de 0,6 mm) sobre uma camada de 30 cm de areia. Assim, a frente de impurezas no estudo também não atingiu a camada de areia, sendo que o autor associou esse resultado à presença de concentrações elevadas de fitoplâncton, o que torna a água da Lagoa do Peri imprópria para a tecnologia de filtração direta.

A porção ascendente do filtro do presente estudo, mesmo com uma perda de carga no meio filtrante com evolução mais lenta, também não demonstrou uma elevada penetração das

impurezas. Percebe-se que as impurezas foram retidas praticamente na camada suporte e na primeira subcamada de 30 cm de areia, de baixo pra cima.

A perda de carga na camada suporte (entre P0 e P1) variou de uma média de 5,2% do valor da perda de carga entre P0 e P7 ao início da carreira de filtração até um valor médio de 14% ao final da mesma. Quando se soma a perda de carga da camada suporte à da subcamada 1 de areia, ou seja, entre P0 e P2, essa parcela variou em média de 27,3% até 48,4% da perda de carga P0 e P7 ao longo da carreira de filtração. Esses dados corroboram a grande participação dessas duas camadas de material granular na retenção de impurezas no escoamento ascendente. Os valores absolutos constam na Figura 17.

Figura 17: Comparação da evolução da perda de carga média na camada suporte, na subcamada 1 de areia e perda de carga total no escoamento ascendente em dez carreiras de filtração



Um filtro ascendente com o emprego de descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface, em escala piloto, foi estudado aplicando-se água bruta proveniente da Lagoa do Peri por Dalsasso et. al. (2001). O filtro funcionou com taxa constante de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e carga hidráulica variável. As carreiras foram encerradas quando a perda de carga total no meio filtrante atingiu 2,0 m, sendo o tamanho efetivo da areia iguala 0,70 mm e seu coeficiente de desuniformidade menor que 2. A água injetada na interface foi aquela armazenada acima do topo da camada de areia. As descargas foram feitas com taxa média de $850 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ e com duração de um minuto. Os resultados demonstraram que a realização de DFIs com introdução de água na interface pedregulho/areia provocou

prolongamento de carreira de filtração de aproximadamente 5 h, com incremento médio de 2,3 h por descarga executada.

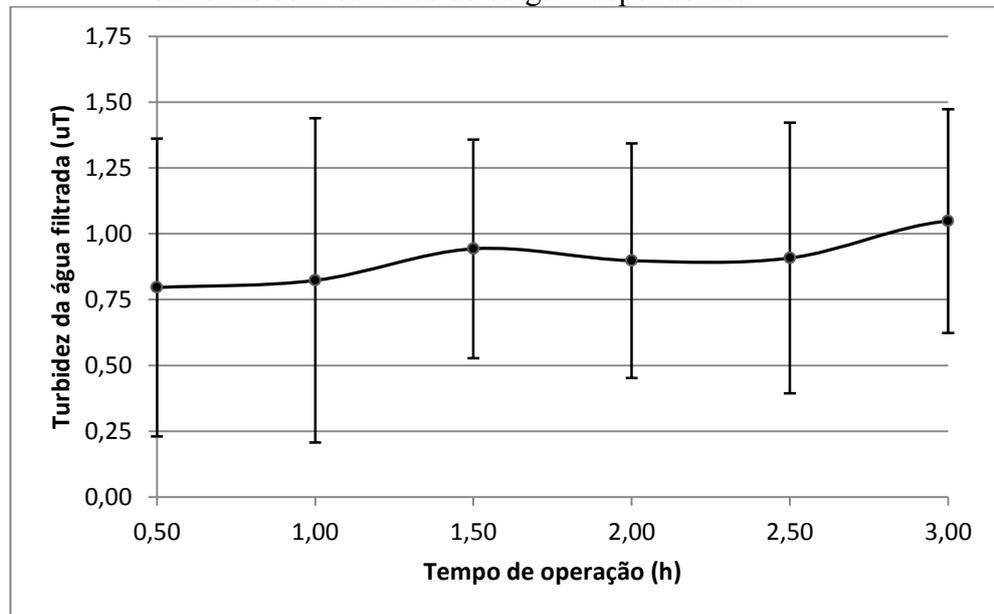
Uma análise do potencial de prolongamento da carreira de filtração devido à aplicação de DFIs no presente estudo não foi realizada pois todas as carreiras de filtração realizadas foram interrompidas devido ao consumo da carga hidráulica disponível no fluxo descendente. Dessa forma, não foram realizadas descargas de fundo intermediárias (durante a carreira de filtração) com injeção de água na interface e sim apenas previamente à operação de retrolavagem.

Di Bernardo et. al. (2003) abordam algumas alternativas de pré-tratamento para a filtração direta ascendente (FDA), como pré-floculação, micropeneiramento e pré-oxidação. Mondardo & Melo Filho (2003), que estudaram a aplicação da pré-oxidação de água bruta com elevada concentração de fitoplâncton para FDA chegaram ao seguinte resultado: enquanto no ensaio realizado sem pré-ozonização as impurezas foram retidas praticamente na camada suporte, ou seja, nos 40 centímetros do meio granular, no ensaio com pré-ozonização o filtro participou bem mais e as impurezas atingiram mais de um metro do meio granular. Os autores associaram esse desempenho da pré-ozonização ao fato de que, com a formação de flocos menores ou menos resistentes, os mesmos penetram mais na camada de areia, permitindo assim maior participação do meio granular, o que também acaba por resultar em carreiras mais longas.

4.1.4 Qualidade da água (Turbidez)

A turbidez da água filtrada foi verificada, com exceção do período de recuperação, a cada 30 min, sendo que nenhuma das carreiras de filtração foi interrompida por transpasse de turbidez, conforme pode ser visto na figura 18. A água bruta também foi analisada previamente a cada carreira de filtração, obtendo-se um valor de $9,47 \pm 1,42$ uT.

Figura 18: Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em dez carreiras com câmaras de carga independentes



Como pode ser observado, o resultado da qualidade da água filtrada não é ideal e não atende ao preconizado pela Portaria de Consolidação N° 05 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) para água filtrada por filtração rápida, a qual deve possuir uma turbidez máxima de 0,5 uT em no mínimo 95% das amostras. A dificuldade no atendimento desse parâmetro, mesmo com uma turbidez relativamente baixa da água bruta, ocorre visto que a tecnologia de filtração direta não é a recomendada para a água bruta com as características apresentadas pelo manancial da Lagoa do Peri. Essa tecnologia foi escolhida em função dos índices de turbidez e cor verdadeira do manancial serem baixos, ou seja, inferiores a 10 uT e 20 uH (DALSSASSO; SENS, 2006). Entretanto, a elevação da presença de fitoplânctons no manancial, com domínio de espécies filamentosas como a *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudoanabaena sp* prejudicaram a qualidade da água produzida pelos filtros rápidos diretos. Outros trabalhos já se depararam com esse problema, como Mondardo (2009) e Schontag (2015). Todavia, a qualidade da água, nesse caso, não invalida os resultados e análise do filtro rápido bifluxo objeto do presente estudo.

4.2 FASE 1-B

Esta fase do estudo possibilitou a avaliação do filtro enquanto o mesmo operou com fluxo único. Observaram-se na Fase 1-A perdas de carga relativamente altas no leito filtrante limpo quando comparadas aos cálculos do dimensionamento do sistema piloto. Operando-se o filtro com fluxo único, pode-se analisar esses resultados, inclusive indicar uma contração

entre ambos os fluxos.

São analisados os tópicos: capacidade de filtração, recuperação, descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface (na operação de fluxo ascendente), retrolavagem e qualidade da água filtrada (turbidez).

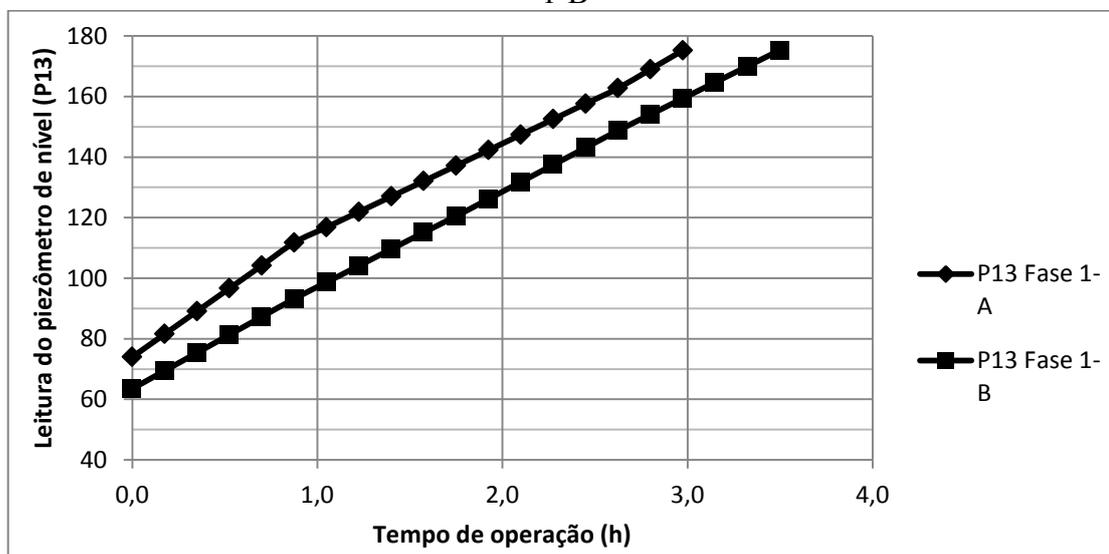
4.2.1 Capacidade de filtração

Fluxo descendente

As três carreiras de filtração no fluxo descendente tiveram a mesma duração: 3,50 h. Essa duração foi 16,7% maior se comparado ao tempo médio de duração das carreiras de filtração avaliadas na Fase 1-A do estudo. Este fato é atribuído à menor perda de carga inicial no fluxo descendente em fluxo único quando comparado à operação bifluxo, o que permite uma carga disponível maior.

Na Fase 1-A do estudo, no tempo zero da carreira de filtração, o piezômetro de nível do fluxo descendente (P13) teve em média um nível de 74 cm acima da saída do filtrado. Já na Fase 1-B, esse nível teve um valor médio de 63,5 cm. Com uma perda de carga inicial menor ao longo do leito filtrante, a carreira de filtração se estendeu 30 min mais até que atingisse a carga hidráulica máxima, ao nível do extravasor. A figura 19 ilustra a evolução média do nível do piezômetro P13 ao longo das carreiras de filtração analisadas nas duas fases iniciais do estudo.

Figura 19 - Comportamento médio do piezômetro de nível do fluxo descendente (P13) em dez carreiras de filtração da Fase 1-A do estudo e em três carreiras em fluxo descendente da Fase 1-B



Indica-se, então, que na operação bifluxo (Fase 1-A) houve uma contrapressão de aproximadamente 10 cm no fluxo descendente.

Todas as carreiras de filtração foram encerradas devido à carga hidráulica disponível. Não houve transpasse de turbidez.

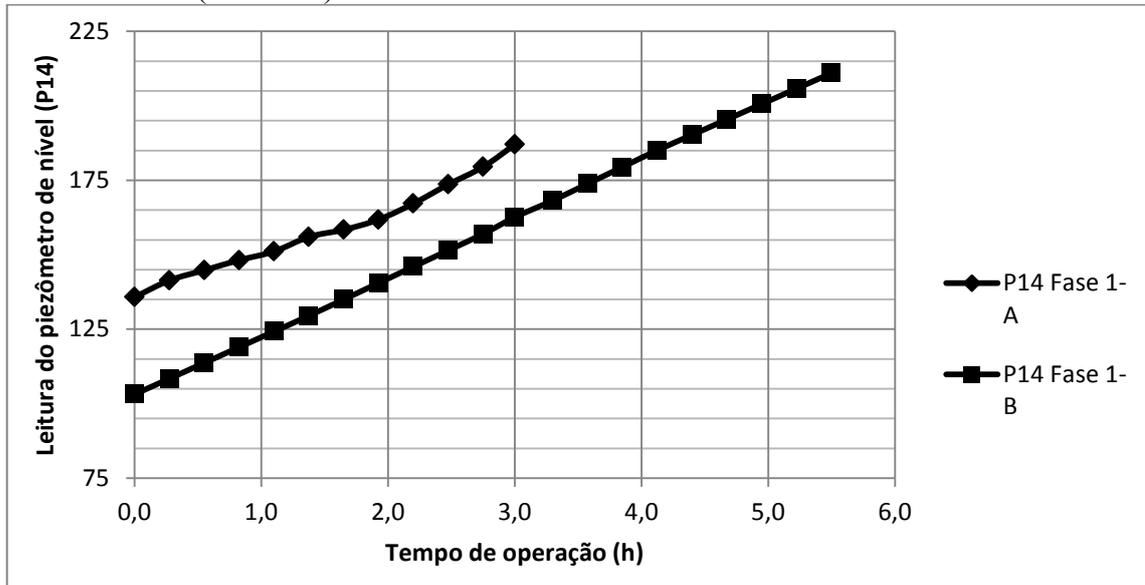
Fluxo ascendente

De acordo com os cálculos do dimensionamento do sistema piloto, no fluxo ascendente o nível inicial do piezômetro de nível (P14) seria de aproximadamente 107 cm. Dessa forma, para se manter uma carga disponível similar para cada fluxo na filtração em sentido único, estabeleceu-se que a carreira de filtração seria interrompida quando se atingisse o nível de 210 cm nesse piezômetro. Após a interrupção, seria realizada a descarga de fundo intermediária com injeção de água na interface (DFI) ou, então, encerrar-se-ia a carreira de filtração e seria realizada a lavagem do filtro.

Todas as três carreiras tiveram a mesma duração entre o início das mesmas e sua interrupção para realização da primeira DFI, a saber: 5,50 h. De maneira similar ao observado na operação com fluxo único descendente, a perda de carga inicial em fluxo único foi menor quando comparado à operação bifluxo (Fase 1-A).

Na Fase 1-A do estudo, no tempo zero da carreira de filtração, o piezômetro de nível do fluxo ascendente (P14) teve em média um nível de 135,8 cm acima da saída do filtrado. Já na Fase 1-B, esse nível teve um valor médio de 103,2 cm. A figura 20 ilustra a evolução média do nível do piezômetro P14 ao longo das carreiras de filtração analisadas nas duas fases iniciais do estudo.

Figura 20 - Evolução média do nível do piezômetro P14 ao longo de dez carreiras de filtração (Fase 1-A) e três carreiras em fluxo ascendente da Fase 1-B



Indica-se, então, que na operação bifluxo (Fase 1-A) houve uma contrapressão de aproximadamente 32 cm no fluxo ascendente.

Todas as carreiras de filtração foram encerradas devido à carga hidráulica disponível. Não houve transpasse de turbidez.

4.2.2 Recuperação

As médias e desvios padrões da turbidez aos 30 primeiros minutos de filtração são apresentados nas figuras 21 e 22, em que se pode observar que o tempo de recuperação foi de 10 min na filtração em fluxo descendente e de 12 min em fluxo ascendente. Esses tempos foram 2 e 4 min mais longos, respectivamente, em relação ao tempo de recuperação na Fase 1-A do estudo.

Figura 21: Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de três carreiras de filtração no fluxo descendente

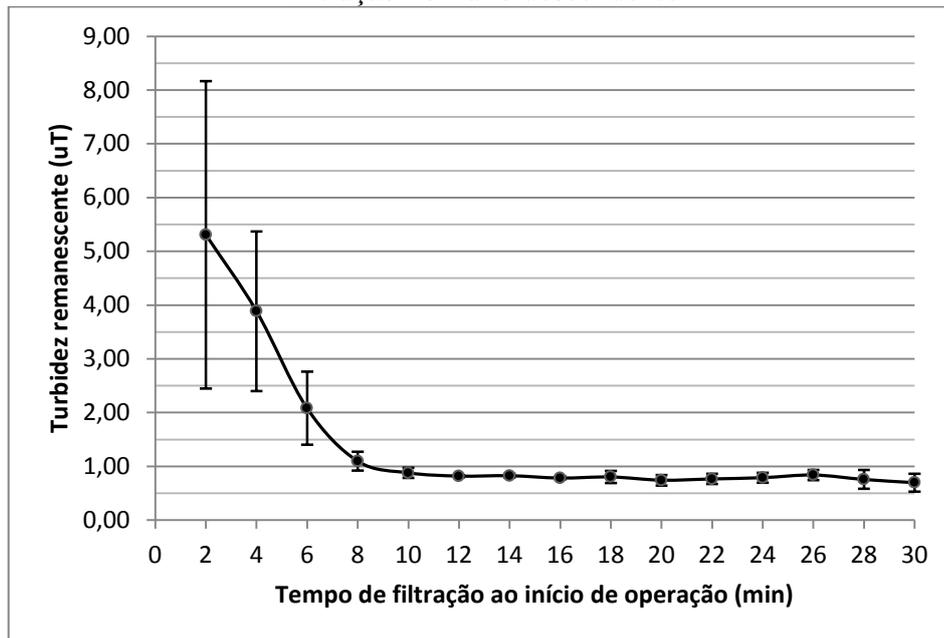
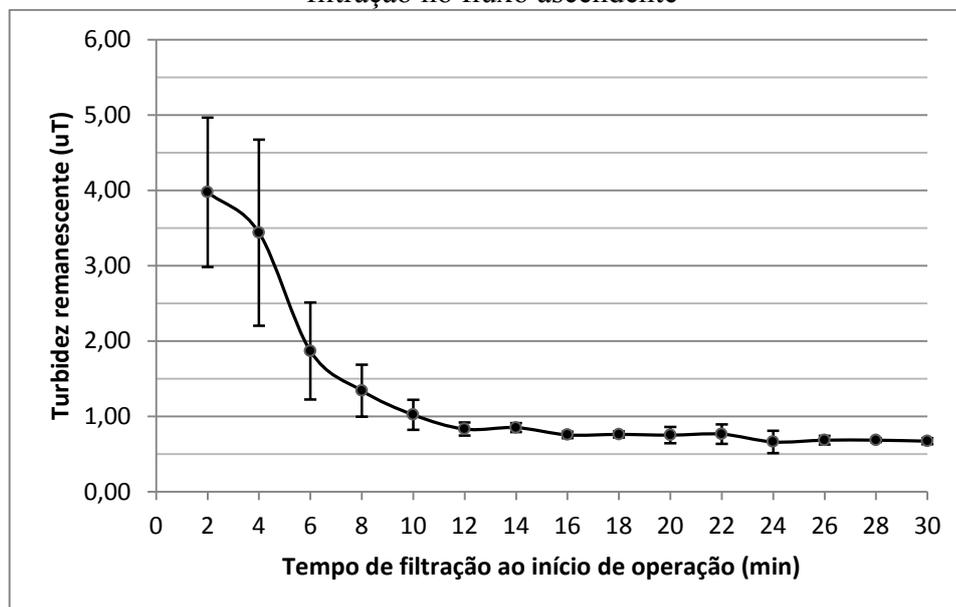


Figura 22 - Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de três carreiras de filtração no fluxo ascendente



4.2.3 Descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface (DFIs)

De forma a se avaliar o incremento na duração das carreiras de filtração com a realização de DFIs, foi fixada uma quantidade de duas execuções de DFIs por carreira de filtração no fluxo ascendente. Presumivelmente, não foi realizada essa etapa nas carreiras de

fluxo descendente, nem mesmo a descarga de fundo com injeção na interface realizada previamente à retrolavagem do filtro.

Das três carreiras de filtração no fluxo ascendente, duas tiveram um incremento de 2,5 h e uma obteve um incremento de 3,0 h após a realização da primeira DFI. Quanto à segunda DFI, em todas as três carreiras, o incremento foi de 1,0 h. Portanto, duas carreiras de filtração tiveram um prolongamento de 63% e uma obteve um aumento na sua duração em 73%. Não ocorreu transpasse de turbidez após a realização das DFIs. Os tempos de cada etapa de cada carreira de filtração no fluxo ascendente pode ser visualizado na tabela 10.

Tabela 10 - Duração de cada parcela de três carreiras de filtração no fluxo ascendente, em relação à execução de DFIs

Número da carreira de filtração realizada no fluxo ascendente	Até 1ª DFI	Após 1ª DFI	Após 2ª DFI
1ª	5h30min	2h30min	1h00min
2ª	5h30min	2h30min	1h00min
3ª	5h30min	3h00min	1h00min

4.2.4 Retrolavagem

Assim como na Fase 1-A, na Fase 1-B o período de lavagem foi fixado em 12min30s, sendo amostrada a turbidez, da mesma forma, a cada 30 s em todas as carreiras de filtração do estudo.

Os resultados de turbidez durante a retrolavagem são apresentados nas figuras 23 e 24.

Figura 23: Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em três carreiras de filtração no fluxo descendente

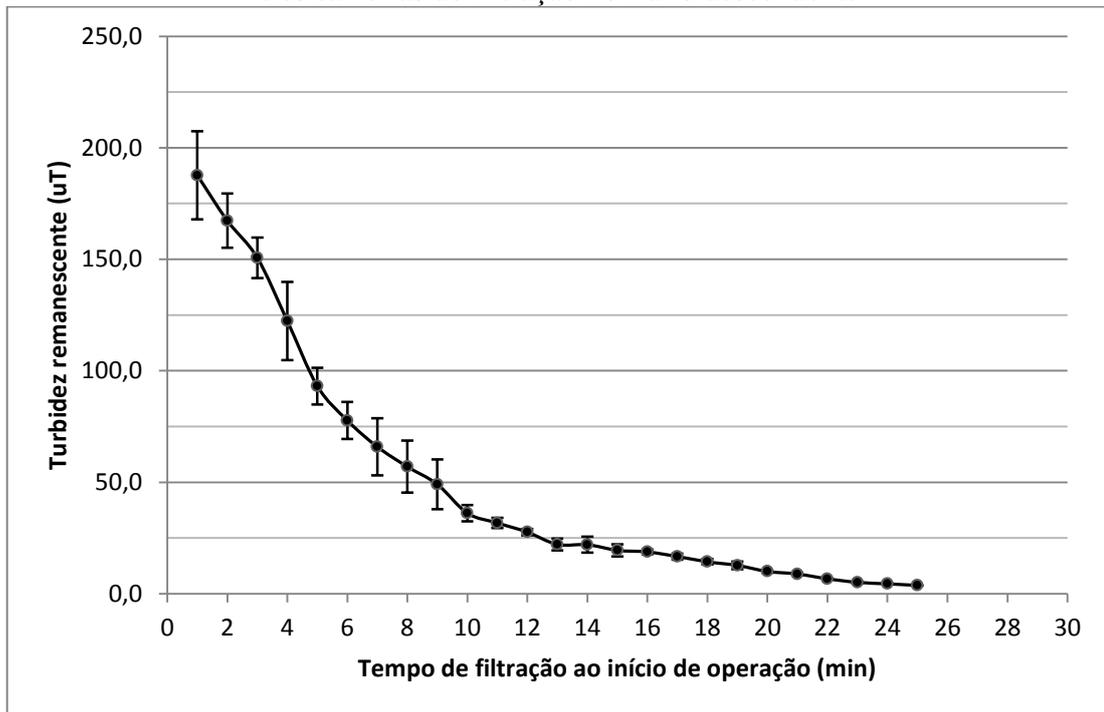
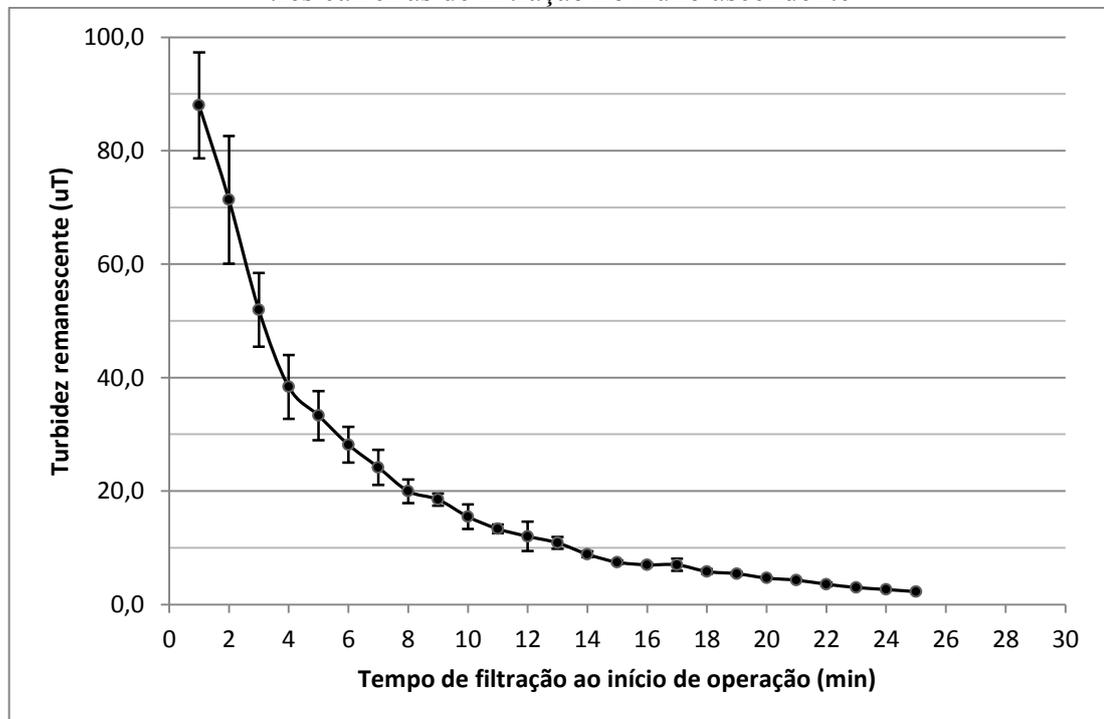


Figura 24 - Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em três carreiras de filtração no fluxo ascendente



Percebe-se que o comportamento de ambas curvas é similar, porém os valores iniciais de turbidez na retrolavagem do filtro após operar com fluxo único descendente são

relativamente maiores. Esse fato é esperado, dado que após a realização da última descarga de fundo intermediária com injeção na interface, o sistema operou em filtração por apenas 1,0 h no caso do fluxo ascendente nas três carreiras avaliadas. Na operação em fluxo ascendente, a descarga de fundo com injeção de água na interface foi utilizada também como etapa prévia à retrolavagem, ficando retidas menos impurezas na porção mais próxima ao fundo do filtro.

Na filtração em fluxo descendente não foram realizadas descargas de fundo com injeção de água na interface durante a carreira, nem mesmo como etapa prévia à retrolavagem. Dessa forma, a retrolavagem foi responsável pela liberação das partículas retidas durante todo o tempo de filtração.

4.2.5 Qualidade da água (Turbidez)

A turbidez da água filtrada foi verificada, com exceção do período de recuperação, a cada 30 min, sendo que nenhuma das seis carreiras de filtração foi interrompida por transpasse de turbidez, conforme pode ser visto nas figuras 25 e 26. Os gráficos dos resultados referentes às carreiras de filtração no fluxo ascendente foram separados, dado que uma das carreiras obteve uma duração diferenciada das demais entre realização da primeira e da segunda DFI. A água bruta também foi analisada previamente a cada carreira de filtração, obtendo-se um valor médio de $9,79 \pm 0,67$ uT nas carreiras em fluxo descendente e $9,37 \pm 0,68$ uT nas carreiras em fluxo ascendente.

Figura 25 - Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em três carreiras de filtração em fluxo descendente

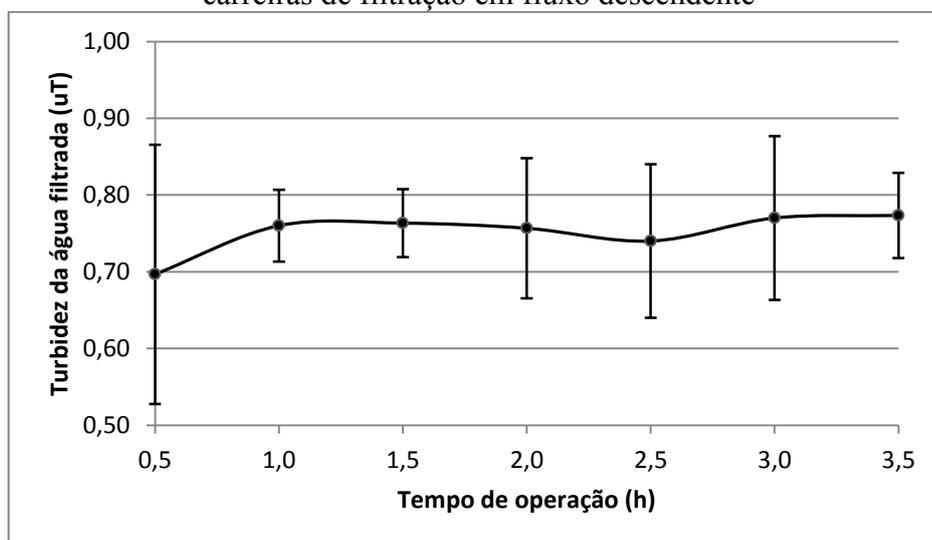
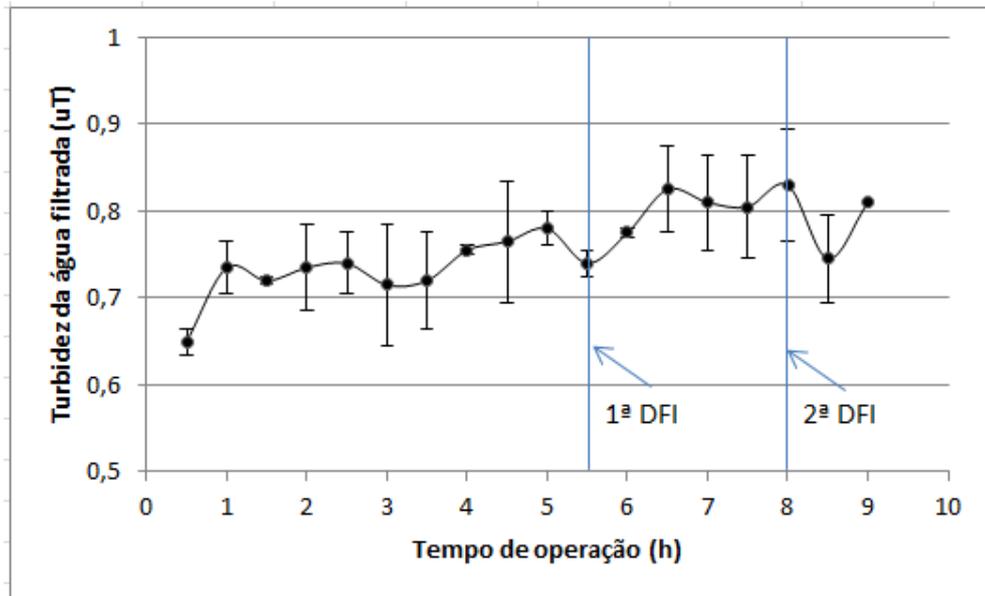
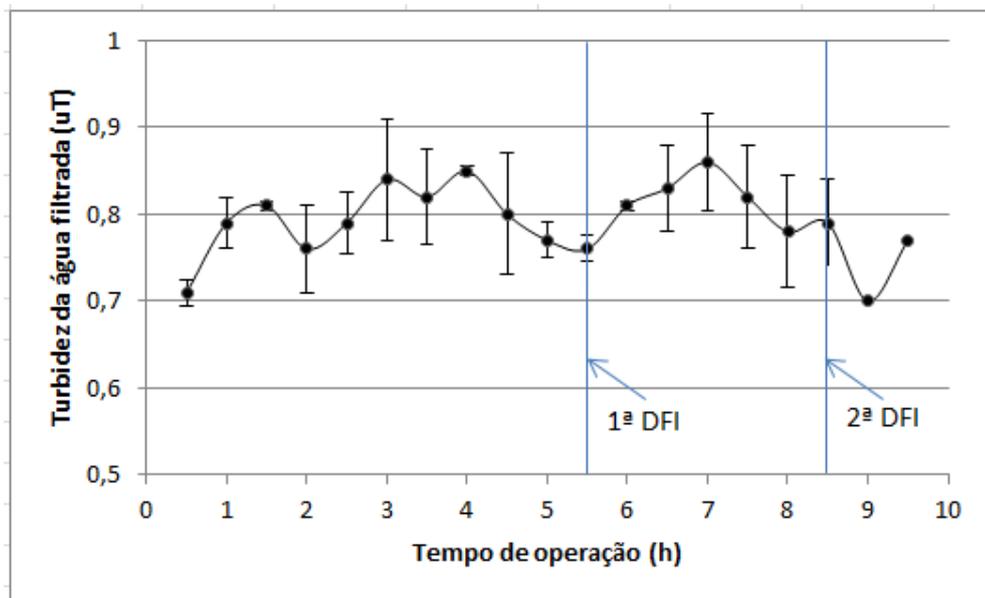


Figura 26 - Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em três carreiras de filtração em fluxo ascendente

a) Duas carreiras com tempo total igual a 9,0h:



b) Uma carreira com tempo total de 9,5 h:



O valor médio de turbidez da água filtrada nas carreiras de filtração em fluxo único descendente foi de 0,76 uT, e no fluxo ascendente igual a 0,77 uT. Apesar de os resultados serem melhores se comparados aos da Fase 1-A, a qualidade da água filtrada ainda não é ideal e não atende ao preconizado pela Portaria de Consolidação N° 05 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Todavia, a qualidade da água, nesse caso, não invalida os resultados e análise do filtro rápido bifluxo objeto do presente estudo.

4.3 FASE 2

4.3.1 Capacidade de filtração

A operação do sistema piloto bifluxo com as câmaras de cargas unidas proporcionou carreiras de filtração mais longas em relação à operação da Fase 1-A, mesmo previamente à execução das descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface. Em todas as seis carreiras a carga hidráulica máxima foi atingida pela primeira vez (anteriormente à realização da primeira DFI) após 5h30min.

Após a realização da primeira DFI, em todas as carreiras de filtração a carga hidráulica máxima foi novamente atingida quando decorrido um tempo de 2h30min.

Todas as quatro carreiras de filtração que contaram com a realização da segunda DFI tiveram a carga hidráulica máxima completa após 1h00.

Finalmente, as duas carreiras em que se realizou uma terceira DFI, o sistema operou em filtração por mais 15min até que fosse atingido o nível de extravasamento do sistema piloto.

A tabela 11 expõe os resultados de duração das carreiras de filtração em modo bifluxo com câmara única de carga.

Tabela 11 - Duração de cada etapa de cada uma das seis carreiras de filtração bifluxo com câmara única de carga, em relação à execução de DFIs

Número da carreira de filtração da Etapa 2	Duração até a 1ª DFI	Duração após a 1ª DFI	Duração após a 2ª DFI	Duração após a 3ª DFI
1	5h30min	2h30min	-	-
2	5h30min	2h30min	-	-
3	5h30min	2h30min	1h00min	-
4	5h30min	2h30min	1h00min	-
5	5h30min	2h30min	1h00min	15min
6	5h30min	2h30min	1h00min	15min

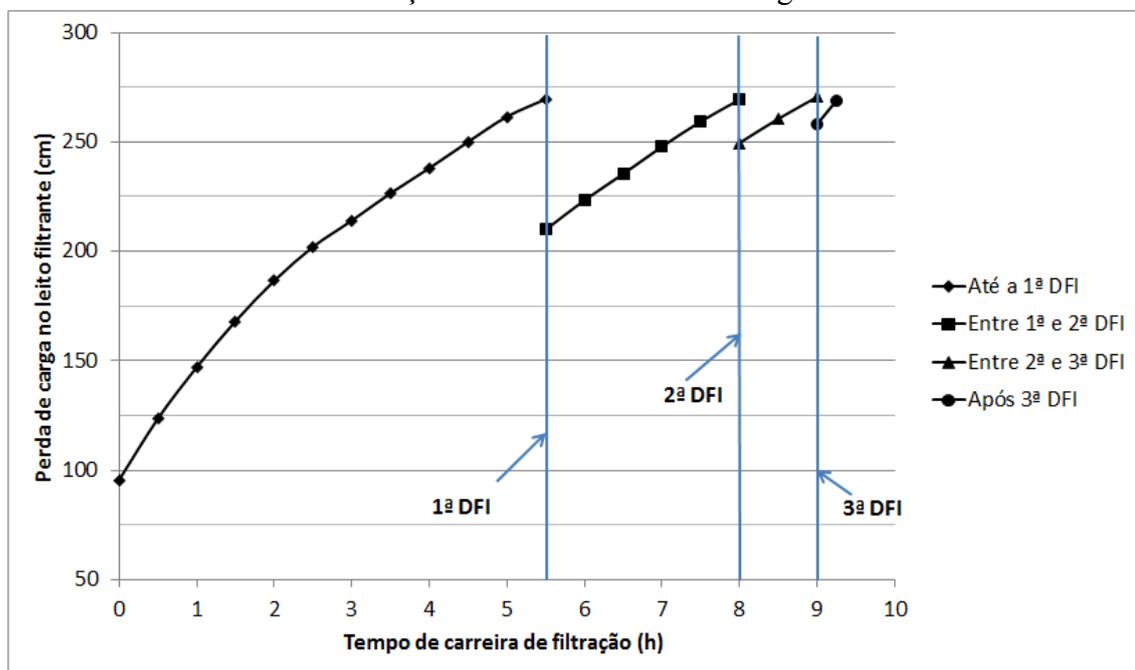
Ressalta-se que com a carga disponível na etapa 2 foi de aproximadamente 1,75 m, ou seja, 1,00 acima da carga disponível no fluxo descendente na Fase 1-A, que foi a porção do filtro em que sua carga hidráulica máxima foi atingida e causou a interrupção das carreiras de

filtração.

Dessa forma, mesmo com a contrapressão quando se opera o filtro bifluxo, conforme concluído após a análise dos resultados da Fase 1-B, operou-se o filtro bifluxo com câmara única com uma carga hidráulica disponível mais próxima ao que se recomenda para filtros em escala real, sendo neste estudo igual a 2,70 m.

A Figura 27 ilustra a evolução média da perda de carga no leito filtrante ao longo das carreiras de filtração (leitura dos piezômetros de nível do sistema piloto – P13 e P14).

Figura 27 - Evolução média da perda de carga no leito filtrante ao longo de seis carreiras de filtração com câmara única de carga



Todas as carreiras de filtração foram encerradas devido à carga hidráulica. Em média, a perda de carga no leito filtrante aumentou 28,0 cm a cada hora de carreira. A elevada perda de carga no tempo zero pode ser explicada pela contrapressão exercida entre um fluxo e outro, conforme abordado no item 4.2.1 deste trabalho.

Com o uso do medidor de vazão instalado no trecho de tubulação que conduzia a água a ser filtrada para o fluxo ascendente, foi possível determinar qual a fração do volume de água foi filtrada em cada fluxo. Como esperado, conforme foram realizadas as DFI, uma parcela menor da água era filtrada no fluxo descendente, dado que a DFI recupera parte da capacidade de filtração no fluxo ascendente. A tabela 12 demonstra a variação da fração de água filtrada no fluxo descendente, nas seis carreiras de filtração realizadas com câmara única.

Tabela 12 - Média e desvio padrão da fração da água filtrada no fluxo descendente em cada etapa da filtração bifluxo com câmara única de carga, em relação à execução das DFIs

Etapa da filtração	Média da fração filtrada no fluxo descendente (%)	Desvio padrão médio (%)
Antes da 1ª DFI	37,0	1,22
Entre a 1ª e 2ª DFI	21,0	1,14
Entre a 2ª e 3ª DFI	11,95	1,75
Após a 3ª DFI	4,95	0,25

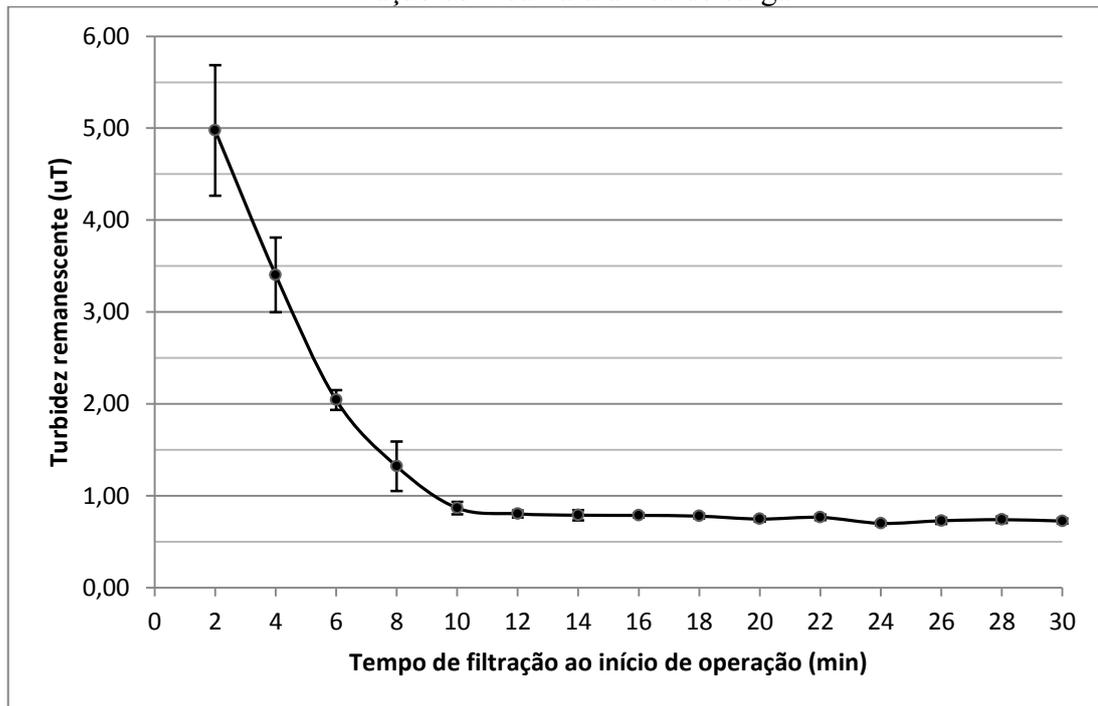
4.3.2 Avaliação da produção efetiva

Para a determinação da produção efetiva do filtro com câmara única foram considerados os dados práticos das seguintes etapas: recuperação do filtro, filtração, descargas de fundo com injeção de água na interface (intermediárias e aquela realizada previamente à retrolavagem) e retrolavagem.

4.3.2.1 Recuperação

As médias e desvio padrão da turbidez aos 30 primeiros minutos de filtração são apresentados na Figura 28, em que se pode observar que o tempo de recuperação foi de 10 minutos.

Figura 28: Média e desvio padrão da turbidez no período de recuperação de seis carreiras de filtração com câmara única de carga



4.3.2.2 Descarga de fundo com injeção de água na interface

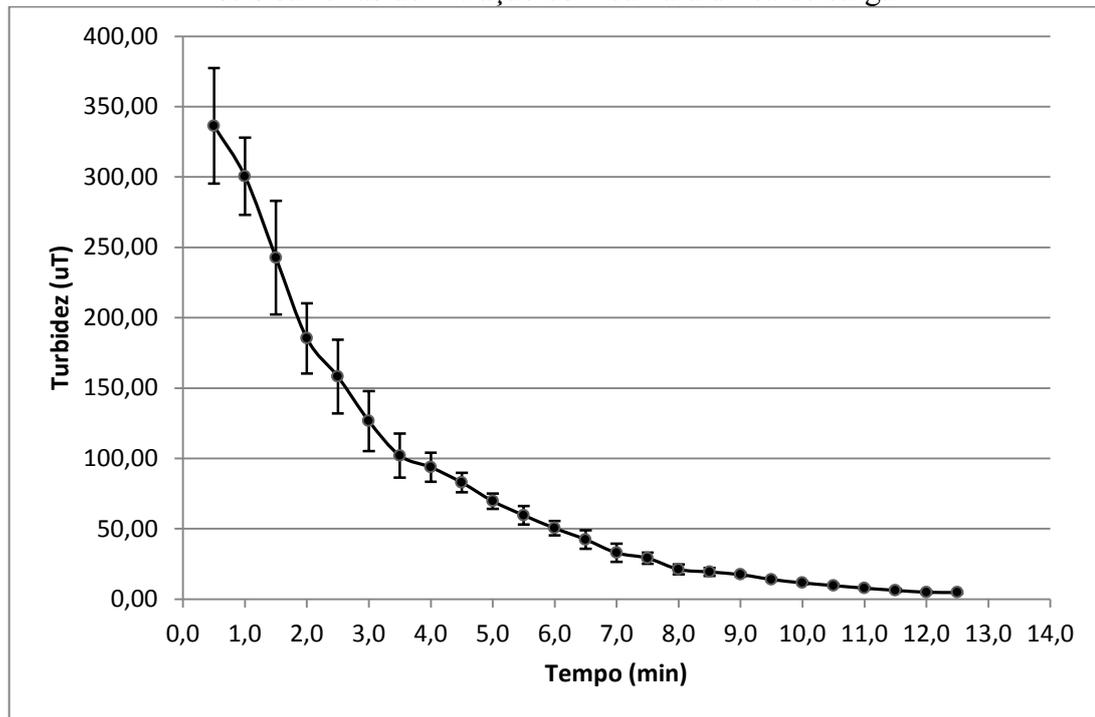
As seis carreiras de filtração foram divididas em três pares, cada par com um número específico de descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface: uma, duas ou três DFIs, além da sua execução como etapa prévia à retrolavagem. Todas essas operações duraram 25 s e utilizaram uma taxa de $1.224 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Para a determinação da produção efetiva será considerado o número quatro descargas de fundo, sendo três intermediárias e uma como etapa prévia à retrolavagem.

4.3.2.3 Retrolavagem

Na Fase 2 do presente estudo foi mantida a vazão e o tempo de retrolavagem utilizado na Fase 1, isto é, $37,8 \text{ L/min}$ e $12\text{min}30\text{s}$. Os resultados de turbidez durante a retrolavagem são apresentados na Figura 29. Até o tempo de $3\text{min}30\text{s}$ a turbidez decresce consideravelmente, sendo na sequência essa redução mais suave, especialmente após o tempo de 8 minutos.

Figura 29 - Valores médios e desvio padrão de turbidez da água de retrolavagem do filtro em seis carreiras de filtração com câmara única de carga



4.3.2.4 Determinação da produção efetiva

Com as informações da operação conforme anteriormente abordadas, procedeu-se com a definição da produção efetiva, conforme Tabela 8.

Tabela 13: Produção efetiva do filtro rápido bifluxo, valores médios obtidos com a análise de dez carreiras de filtração. Sendo: VF é a velocidade de filtração, m/h; VR é a velocidade de retrolavagem, m/h; VD é a velocidade na operação da DFI, m/h; tF é a duração da carreira de filtração, h; tR é o tempo de retrolavagem, h; tRec é o tempo de recuperação, h; td é o tempo de descarga de fundo com injeção na interface, h; UVCF é o volume durante a carreira; UVR é o volume de retrolavagem do filtro; UVD é o volume de descarga de fundo com injeção na interface; UVRec é o volume utilizado no período de recuperação.

tF (h)	9,25	VF (m/h)	16,67	UVCF (m ³ /m ²)	154,2
tR (h)	0,215	VR (m/h)	46,2	UVR (m ³ /m ²)	9,93
tRec (h)	0,167	Velocidade da recuperação = VF (m/h)	16,67	Uvrec (m ³ /m ²)	2,78
tD (h)	0,028	VD (m/h)	51	UVD	1,417
Produção Efetiva (%)				90,84	

A produção efetiva obtida, com a execução de três DFIs, ficou próxima à ideal, que é de 95% (CRITTENDEN et. al., 2011). Como o incremento na duração da carreira de filtração após a execução da terceira DFI, realizou-se o mesmo cálculo para apenas duas DFIs, o que resultou em uma produção efetiva de 90,81%, muito próxima à determinada anteriormente. Com apenas uma DFI, a produção efetiva é de 89,94%. Sem a execução de descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface, a produção efetiva é igual a 85,75%.

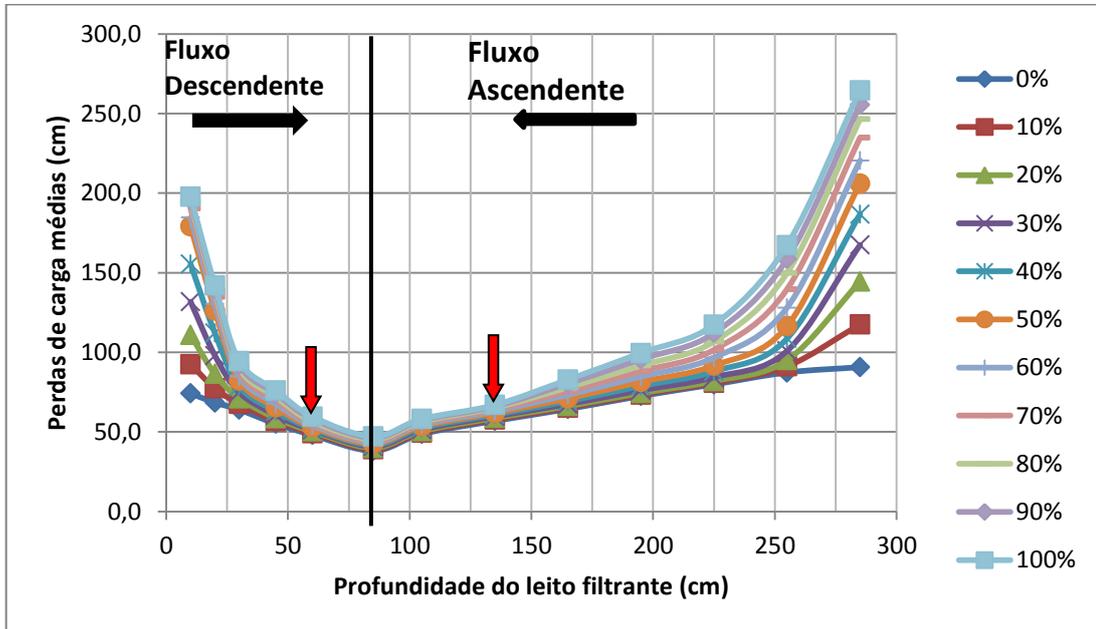
Portanto, a realização da terceira DFI praticamente não acrescentou em tempo de duração de carreira, assim como em acréscimo na produção efetiva. Os incrementos maiores nesses aspectos foi adquirido com a execução da primeira descarga de fundo intermediária com injeção de água na interface.

4.3.3 Grau de profundidade da filtração

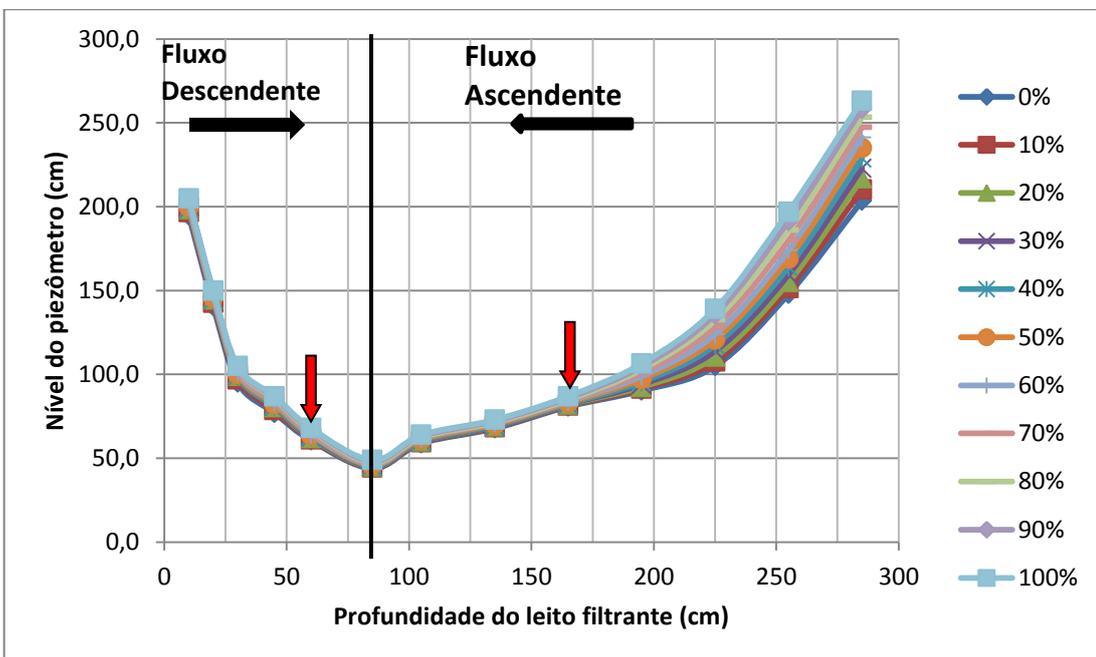
As profundidades máximas do leito filtrante nas porções descendente e ascendente que efetivamente reteram impurezas foram maiores na Fase 2 do estudo em relação à Fase 1-A. O prolongamento da coluna do filtro, aliado à operação com câmara única de carga, proporcionou um prolongamento das carreiras de filtração e uma filtração em maior profundidade. Esse fato pode ser observado na figura 30, que contém as curvas de nível médio dos piezômetros ao longo do leito filtrante do início ao fim das carreiras, em cada período das mesmas (intervalos determinados pela execução de DFIs). O ponto mais baixo das curvas corresponde à localização do bocal, na profundidade de 85 cm. As curvas à esquerda desse ponto representam o escoamento descendente e as curvas à direita do mesmo referem-se ao escoamento ascendente.

Figura 30 - Ação da profundidade no filtro, nas porções descendente e ascendente (a porcentagem é em relação à duração da carreira de filtração) em seis carreiras de filtração com câmara única de carga

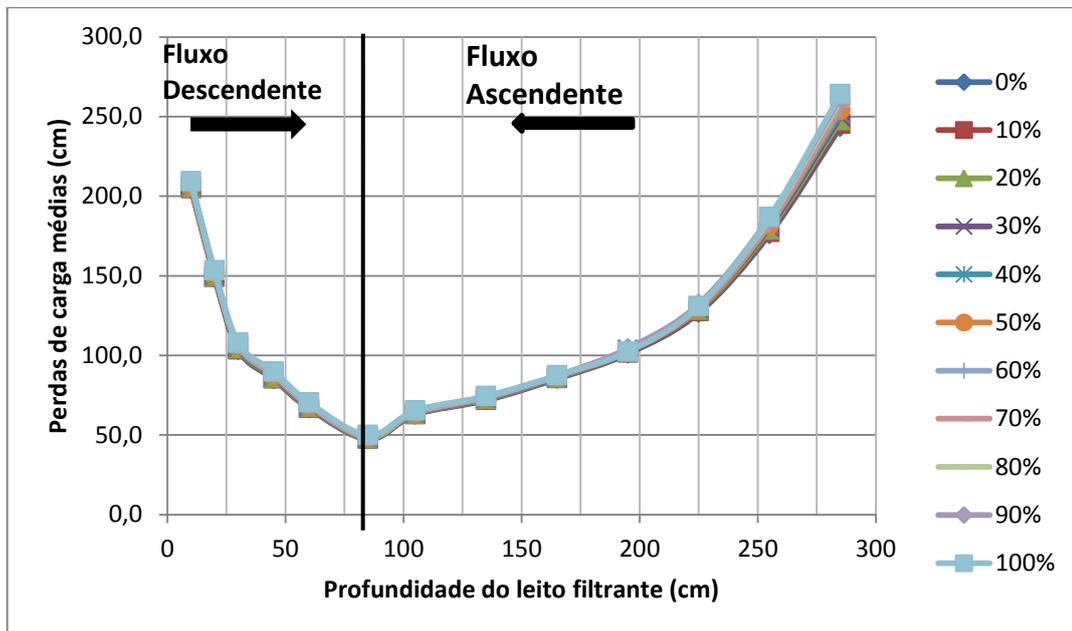
a) Até a primeira descarga de fundo intermediária com injeção na interface:



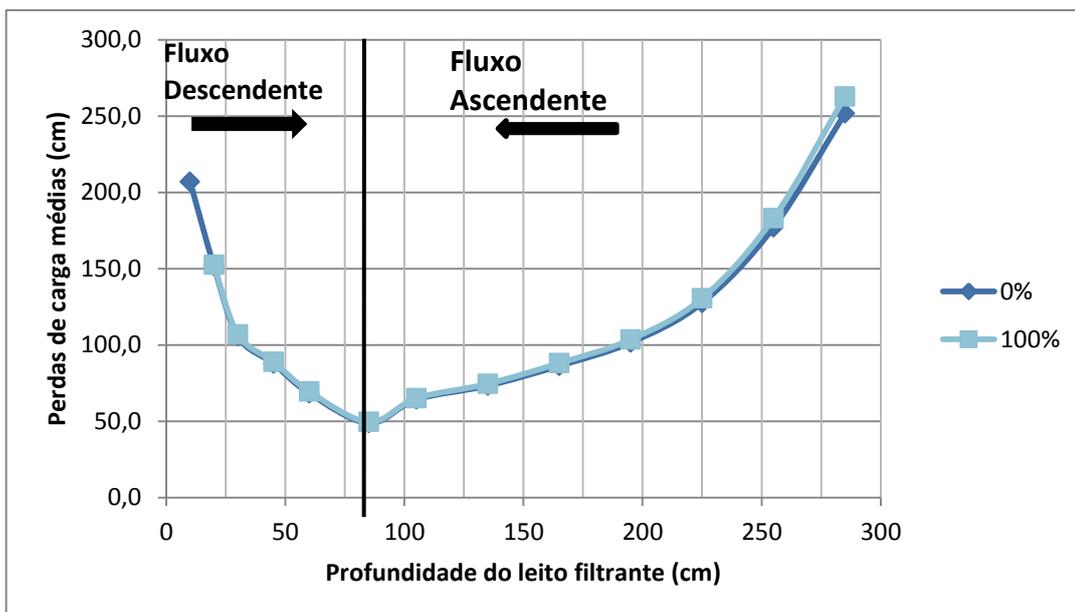
b) Após a primeira descarga de fundo intermediária com injeção na interface:



c) Após a segunda descarga de fundo intermediária com injeção na interface:



d) Após a terceira descarga de fundo intermediária com injeção na interface:



Observa-se que a evolução da colmatação das subcamadas do leito filtrante vai ao encontro da parcela de água filtrada em cada porção do filtro. Até a execução da primeira DFI, toda a camada de antracito retém impurezas, assim como os 135 cm inferiores da porção ascendente.

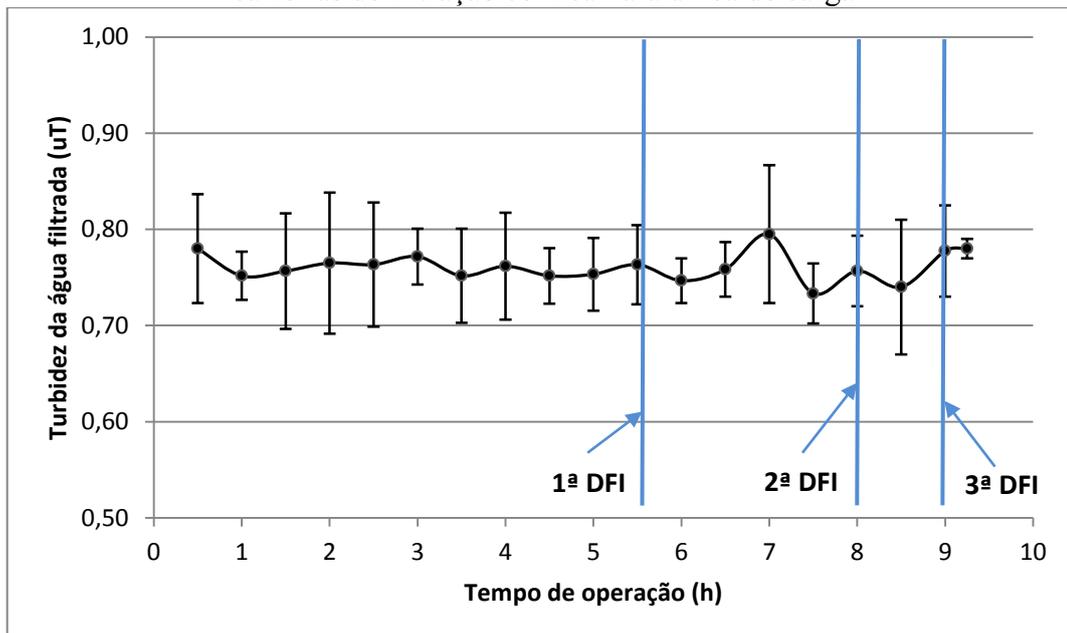
Conforme são executadas DFIs, as quais atuam na recuperação da capacidade de filtração apenas da porção ascendente, a porção descendente tem sua parcela de água filtrada

reduzida. Esse fato fica evidente na evolução do paralelismo das curvas correspondentes ao fluxo descendente, após cada DFI efetuada. Após a realização da primeira descarga de fundo, as camadas mais superficiais do fluxo descendente já se encontram colmatadas, sendo que as retas não paralelas nesse fluxo estão entre os piezômetros em maior profundidade.

4.3.4 Qualidade da água (Turbidez)

A turbidez da água filtrada foi verificada, com exceção do período de recuperação, a cada 30 min, sendo que nenhuma das carreiras de filtração foi interrompida por transpasse de turbidez, conforme pode ser visto na figura 31. O valor médio geral da turbidez nessa etapa do estudo foi igual a 0,76 uT. A água bruta também foi analisada previamente a cada carreira de filtração, obtendo-se um valor de $9,16 \pm 0,49$ uT.

Figura 31: Média e desvio padrão da turbidez (uT) ao longo do tempo de filtração em seis carreiras de filtração com câmara única de carga



Como pode ser observado, o resultado da qualidade da água filtrada não é ideal e não atende ao preconizado pela Portaria de Consolidação N° 05 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) para água filtrada por filtração rápida, a qual deve possuir uma turbidez máxima de 0,5 uT em no mínimo 95% das amostras. A dificuldade no atendimento desse parâmetro, mesmo com uma turbidez relativamente baixa da água bruta, ocorre visto que a tecnologia de filtração direta não é a recomendada para a água bruta com as características apresentadas pelo

manancial da Lagoa do Peri. Todavia, a qualidade da água, nesse caso, não invalida os resultados e análise do filtro rápido bifluxo objeto do presente estudo.

4.4 ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE PROJETO ADOTADOS

4.4.1 Sistema de drenagem do filtrado

A perda de carga do sistema de drenagem do filtrado calculada em projeto foi igual a 0,33 mca. Durante a operação do filtro, ao início das carreiras, a leitura média no piezômetro 7 foi de 0,36 mca na Fase 1-A e 0,38 na Fase 2. Não sendo viável a instalação de um piezômetro na crepina, e sim na parede do filtro, é esperado que a leitura inicial do P7 seja maior ao calculado para o sistema de drenagem do filtrado, dado que a água no piezômetro ainda adquire a carga adicional para passar pela areia que se encontra no entorno da crepina.

Todo o sistema de drenagem da água filtrada, desde a crepina até a tubulação externa ao filtro, se mostrou adequada para a vazão de operação da unidade.

Entretanto, durante a Fase 1-A do estudo, após 42 horas de filtração (14 carreiras, considerando-se inclusive as não consideradas consistentes) o sistema passou a não exercer a completa drenagem da água filtrada, sendo verificados os seguintes fatos:

- piezômetro P7 com leitura inicial acima da média de operação, qual seja, de 41,5 cm. O P7, assim como os outros piezômetros, tiveram sua leitura em rápida ascensão ao longo da carreira em que ocorreu o fato;
- a vazão de saída do filtrado, visível e acessível no lado externo do filtro, foi consideravelmente menor ao normal desde o início da carreira: 9,55 L/min, sendo a vazão nominal de filtração igual a 13,64 L/min.

Após essa constatação, a carreira de filtração foi interrompida e iniciou-se a operação de retrolavagem, de forma a expandir o meio filtrante e possibilitar o içamento da crepina para sua verificação e limpeza. Com a crepina içada até o exterior do corpo do filtro, foi confirmada visualmente a sua colmatação (Figuras 32 e 33), em que se desmontou a mesma e se procedeu com a sua limpeza/desobstrução.

Figura 32: Aspecto do bocal obstruído e içado



Fonte: o autor.

Figura 33: Detalhe dos sulcos do bocal obstruídos por material filtrante



Fonte: o autor.

A limpeza se deu da seguinte forma:

- a parte inferior da crepina, que é fixada à mangueira, foi a única parte do dispositivo lavada no local (topo do filtro), com água, conforme a Figura 34.

Figura 34: Desmontagem do bocal obstruído para sua limpeza



Fonte: o autor.

- Os discos encaixados e a parte superior da crepina foram conduzidos ao laboratório e lavados com água. Os sulcos da peça possuem orientação radial, sendo suas aberturas voltadas ao exterior da crepina maiores às voltadas ao eixo da mesma (Figura 25).

Figura 35: Detalhe das passagens entre os discos, obstruídas por material filtrante



Fonte: o autor.

Os materiais depositados nas três partes principais de crepina, após serem retirados com água, foram armazenados em um béquer para observação visual de sua composição e

quantidade (Figuras 36 e 37). Foram observados grãos de areia e de carvão antracito, este último em menor quantidade. O fato de haver também antracito obstruindo os sulcos dos discos da crepina se deve à estratificação do leito após sua fluidificação não ocorrer de forma totalmente homogênea, o que permite certa mistura de carvão antracito com a areia mais fina que envolve a crepina.

Figura 36: Quantidade de material depositado no bocal, após desobstrução



Fonte: o autor.

Figura 37: Composição do material depositado no bocal, após desobstrução



Fonte: o autor.

Essa obstrução pode ser explicada pelo diâmetro mínimo da areia e do carvão antracito, de acordo com sua análise granulométrica, ser menor que 0,40 mm (ver Anexo), que é aproximadamente a abertura dos sulcos entre os discos da crepina, de acordo com o fabricante. Como a crepina fica posicionada a 25 cm do topo da camada de areia, o dispositivo fica em contato com a parcela mais fina do material. Conforme são realizadas carreiras de filtração seguidas de retrolavagens, parte do carvão antracito também é misturada a essa camada de areia, estando seus grãos mais finos viáveis de obstruir os sulcos da crepina.

Uma forma de se prevenir essa obstrução da crepina e parada na operação do filtro seria a determinação, além do diâmetro efetivo dos materiais filtrantes, também fixar o diâmetro mínimo dos mesmos, determinando um valor maior que 0,40 mm.

A operação de desobstrução do bocal durou cerca de 3,0 min.

Não foi detectada a obstrução do bocal ao longo da realização dos experimentos da Fase 1-B e Fase 2. Uma possível explicação para este fato é de que a parcela de material filtrante mais fino que os sulcos do bocal, e que permanecia viável de obstruí-lo, foi retirada na operação de desobstrução do mesmo ou carregada para uma outra posição do filtro.

4.4.2 Descarga de fundo com injeção na interface e retrolavagem

A turbidez média das amostras coletadas ao meio e ao final da operação da descarga de fundo com injeção de água na interface, assim como seus desvios-padrão, quanto às carreiras de filtração da Fase 1-A do estudo, é mostrada na tabela 14. Os resultados quanto à Fase 2 encontram-se na tabela 15.

Tabela 14: Turbidez média e desvio-padrão de turbidez ao meio e ao final da descarga de fundo com injeção na interface previamente à lavagem de dez carreiras de filtração com câmaras de carga independentes

	Turbidez média (uT)	Desvio-padrão (uT)
Meio da descarga de fundo (aos 12,5 s)	168,1	44,4
Final da descarga de fundo (aos 25 s)	3,6	1,4

Tabela 15 - Turbidez média e desvio-padrão de turbidez ao meio e ao final da descarga de fundo com injeção na interface previamente à lavagem de seis carreiras de filtração com câmara única de carga

	Turbidez média (uT)	Desvio-padrão (uT)
Meio da 1ª DFI	292,83	57,50
Final 1ª DFI	5,48	0,78
Meio da 2ª DFI	202,50	17,00
Final da 2ª DFI	3,54	0,41
Meio da 3ª DFI	149,50	7,50
Final da 3ª DFI	2,72	0,16
Meio da DFI pré-lavagem	154,00	52,00
Final da DFI pré-lavagem	3,81	0,64

O resultado de turbidez ao meio da descarga de fundo com injeção de água na interface é compatível aos de turbidez aos primeiros minutos da operação de retrolavagem, conforme abordagem anterior. Esse fato confirma que a camada suporte, para o caso da porção de fluxo ascendente, retém impurezas da água. A eficiência da realização da descarga de fundo com injeção de água na interface na limpeza da porção inferior do filtro bifluxo é corroborada pela baixa turbidez (menos de 5,0 uT acima da turbidez média da água filtrada) ao final das descargas de fundo.

A relativa constância nos valores de perda de carga inicial no leito filtrante, em cada fase do estudo, o que também foi observado, ressalta a efetividade da descarga de fundo, juntamente com a retrolavagem, na limpeza do filtro.

4.4.3 Camadas e materiais filtrantes

A profundidade do leito filtrante, sua composição e características granulométricas dos materiais foram selecionadas levando-se em consideração os demais critérios de projeto adotados, em especial a taxa e a modalidade de filtração direta. A profundidade elevada do leito filtrante implicou em um sistema piloto bastante alto e em um tempo de lavagem (14 min) maior do que o geralmente empregado em filtros de fluxo único. Uma lavagem mais longa implica negativamente na produção efetiva do filtro, sendo que o principal aspecto que compensaria esse gasto seria uma carreira de filtração mais longa.

Conforme abordado, mesmo com o emprego de dupla camada filtrante no fluxo descendente as impurezas foram efetivamente retidas apenas em uma porção da camada de antracito na Fase 1-A do estudo. Inclusive na porção do filtro com fluxo ascendente, em que a água flui entre grãos cada vez menores, o grau de profundidade da filtração foi baixo. Ambas as constatações, já explicadas, estão associados ao fato de que a água bruta utilizada não é ideal para a tecnologia de filtração direta. Na Fase 2, em que se obteve uma duração maior das carreiras de filtração, houve uma penetração maior das impurezas ao longo do leito filtrante.

Um aspecto importante relativo à granulometria dos materiais filtrantes, seria a especificação do diâmetro mínimo dos mesmos, dada a abertura dos canais do bocal utilizado para a coleta do filtrado do filtro bifluxo. Esse diâmetro seria de 0,40 mm para o bocal empregado neste estudo.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando-se os resultados experimentais obtidos durante o estudo, foi possível tecer as seguintes conclusões:

- A duração média das carreiras de filtração foi consideravelmente curta, especialmente na Fase 1-A do estudo, implicando em baixa produção efetiva. Após o prolongamento do filtro e operação com câmara única de carga (Fase 2) as carreiras de filtração duraram mais, inclusive previamente à execução da primeira DFI;

- Fatos como a elevada concentração de fitoplâncton na água bruta, não apropriada ao emprego da tecnologia de filtração direta, estão associados à produção efetiva abaixo da ideal, o que foi constatado nas Fases 1-A e 2;

- O grau de profundidade da filtração foi reduzido para ambos os fluxos de filtração quando o filtro operou com câmaras de carga independentes. O baixo grau de profundidade da filtração está diretamente relacionado a carreiras de filtração mais curtas, assim como a presença de cianobactérias filamentosas na água bruta e o emprego de filtração direta. Ao operar com câmara única de carga, com carreiras mais longas, a penetração das impurezas no leito filtrante foi maior;

- O incremento na duração das carreiras de filtração pela execução de descargas de fundo intermediárias com injeção de água na interface, na Fase 2, chegou a 73%, sendo significativo o incremento na duração da carreira de filtração até a segunda DFI. Os resultados de turbidez e o restabelecimento da perda de carga das duas porções do leito filtrante demonstraram a efetividade das descargas de fundo com injeção na interface e das retrolavagens realizadas. A porção que opera no fluxo ascendente filtrou a maior fração de água (em média 61%);

- Na Fase 1-A, a produção efetiva foi de 75%. Ao ser aumentada a coluna filtrante e unir as câmaras de carga, a produção efetiva se elevou para 90,8%;

- A turbidez média da água filtrada, nas diferentes fases do estudo, permaneceu entre 0,70 e 0,90 uT. Os resultados de turbidez da água filtrada não são ideais e não atendem à legislação aplicável. Todavia, a qualidade da água, nesse caso, não invalida os resultados;

- Na Fase 1-A do estudo o bocal desmontável sofreu obstrução, implicando na interrupção da então carreira de filtração e na limpeza do dispositivo. A limpeza realizada se mostrou eficiente, não voltando a ocorrer essa colmatação nas seguintes 93 horas de filtração (dessas, 38 h de operação foi com fluxo único, isto é, com taxa de filtração de 200 m³/m².d),

até o encerramento dos experimentos. A obstrução do bocal foi associada à presença de material filtrante com dimensões menores à abertura dos sulcos formados pelos discos do dispositivo;

- Ao operar com uma taxa de filtração total de $400 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, o filtro se mostra como uma alternativa interessante em termos de custos de instalação, assim como no incremento de capacidade de unidades já existentes de fluxo único. Um fato importante constatado na Fase 1-B foi a contrapressão, aspecto a ser considerado em projetos dessa modalidade de filtração, já que impacta na carga hidráulica do filtro.

Com base no estudo realizado e nas conclusões, são tecidas as seguintes recomendações:

- Realizar estudo semelhante sobre filtração rápida bifluxo, contando com descarga de fundo com injeção de água na interface, dupla camada filtrante e bocal desmontável para coleta do filtrado. Como alteração recomenda-se a utilização de água bruta adequada para a tecnologia de filtração direta, ou então o filtro receber água previamente floculada e decantada, compondo a tecnologia de tratamento convencional;

- Quanto aos materiais filtrantes a serem utilizados, especificar, além do tamanho efetivo e do coeficiente de desuniformidade, também o diâmetro mínimo. Para o bocal específico utilizado no experimento, com sulcos de aberturas de $0,40 \text{ mm}$, o diâmetro mínimo deve ser superior a essa abertura, de forma a prevenir a obstrução do bocal desmontável;

- Realizar estudo de filtro rápido bifluxo em escala piloto com uma área maior de filtração e utilizar um sistema de coleta do filtrado composto por múltiplos bocais desmontáveis. Ao invés de utilizar uma mangueira flexível para conduzir a água filtrada ao exterior do filtro, recomenda-se utilizar uma malha de tubos plásticos, onde os bocais podem ser fixados. Essa configuração se aproxima ao cenário de um filtro bifluxo em escala real. Pode-se aprofundar, dessa forma, o estudo da hidráulica da unidade, inclusive o empuxo sofrido pelo sistema de coleta do filtrado durante a retrolavagem.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPE, G.; BARRETT, A. D. *Developments in Upflow Filtration*. Australian Water Works Association. December 1971.

AHSAN, T. (1995). *Process analysis and optimization of direct horizontal-flow roughing filtration*. Delft. 193p. Tese (Doutorado) – Delft University of Technology e International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.

American Water Works Association. *Water quality and treatment: a handbook of public water supplies*. New York; McGraw-Hill; 1971. 654 p.

ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S.; HOPPEN, Cinthya; TAMANINI, Cristina R.; NEVES, Paulo S. *Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água (ETA)*. In: ANDREOLI, Cleverson V. Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 29-48.

APHA, 2017. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 23rd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

ARBOLEDA VALENCIA, J. “*Teoría, Diseño y Control de los Procesos de Clarificación del Agua*”. Lima, CEPIS, 1973.

BAYLIS, J. R. *Variable rate filtration*. *Pure Water*, v. XI, n. 5, p. 86-114, May 1959.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011*. Brasília, DF, 2011.

CALISE, V. J; HOMER, W. A. (1958). *Russian and Eastern European water treatment practices*. In: ANNUAL CONFERENCE OF ENGINEERS – Society of Western Pennsylvania, USA.

CRITTENDEN, J. .; TRUSSELL, R. .; HAND, D. .; HOWE, K. .; TCHOBANOGLOUS, G. *Water Treatment Principles and Design*. 2º. ed. Hoboken, NJ: John Wile & Sons, 2011. p. 880–932

DALSASSO, R. L. *Floculação em meio Granular, Descendente no Tratamento de Água para Abastecimento*. Tese de doutorado – Programa de Pós-graduação em Eng. Ambiental - UFSC: Florianópolis/SC, 2005. p.254

DALSASSO, R. L.; SENS, M. L. *Filtração direta com pré-floculação e coagulação com sulfato de alumínio e hidroxiclreto de alumínio: estudo com água de manancial eutrofizado*. Eng. sanit. ambient., v. 11, n. 3, p. 241–249, 2006.

DALSASSO, R. L.; SENS, M. L.; MELO FILHO, L. C. D.; MONDARDO, R. I.; SIMIONI, D.

Filtração direta ascendente – sistema hidráulico alternativo para introdução de água na interface pedregulho/areia durante as descargas de fundo intermediárias. Relatório de Atividades – PROSAB – Edital III – Tema I. Florianópolis, nov. 2001. p. 1-12.

DE SOUZA, F. H.; MONDARDO, R. I.; SENS, M. L. *Drinking water treatment using upflow slow sand filtration systems in high density *Cylindrospermopsis raciborskii* cyanobacteria water*. DESALINATION AND WATER TREATMENT, v. 79, p. 1–8, 2017.

DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro, ABES.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. Ed. São Carlos: Rima, 2005. 1656 p. 2 v.

Di Bernardo L, Di Bernardo A, Centurione Filho PL. *Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: RIMA; 2002.

DI BERNARDO, L. (Coord.); MENDES, C. G. N.; BRANDÃO, C. C. S.; SENS, M. L. & PÁDUA, V. L. *Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta*. Rio de Janeiro, ABES, 498p., 2003.

HAMANN, C. L.; MCKINNEY, R. E. *Upflow filtration process*. American Water Works Association, v. 60, p. 1023-1039, 1968.

HIDRO SOLO (2019). Maceió, Brasil. Disponível em: <www.hidrosolo.com.br>. Acesso em: 22 junho 2019.

LAPOLLI, E. M.; MOREIRA, J. C.; ZARDO, S. M.; VIEIRA, V. F. *Carta dos elementos do meio ambiente – Parque da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC: LARS/SC, Memorial descritivo, 24 p., 1990.*

LAUDARES-SILVA R. 1999. *Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica da Lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil*. Dissertação, Universidade de São Carlos.

LEME, F. P. *Teoria e técnicas de tratamento de água*. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1990.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 2. Ed. Campinas: Editora Átomo, 2008.

MACINTYRE, Archibald Joseph. *Instalações hidráulicas*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1991.

MONDARDO, R. *Avaliação da Filtração em Margem como Pré-Tratamento à Filtração Direta Descendente na remoção de células de Cianobactérias e Saxitoxinas*. Tese de doutorado - Programa de Pós-graduação em Eng. Ambiental - UFSC: 2009. p. 290

MORAN, D.; MORAN, M.; CUSHING, R.; LAWLER, D. (1993). *Particle behavior in deep-bed filtration: part 1 – ripening and breakthrough*. Journal American Water Works Association, v. 85, n. 12, p. 69-81, dec.

RAY, W. J. F. *Recent advances in methods of filtration*. In: INTERNATIONAL WATER SUPPLY ASSOCIATION CONGRESS, 10, 1974. Brighton. Anais... Brighton: Association Internationale des Distributions d'Eau, 1974. 388p.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. São Paulo: E. Blücher, 1991.

SCHONTAG, J. M. *Esferas de poliestireno como elemento filtrante em filtração rápida descendente*. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Tese de Doutorado, 2015.

TRUSSELL, R. .; CHANG, M. *Review of flow through porous media as a applied to Head loss in water filters*. AWWA, v. 125, n. 11, p. 998–1006, 1999.

VIGNESAN, S.; TAM, D. M.; VISVANATHAN, C.; THANH, N. C.; SCHULZ, C. R. *Enviromental sanitation reviews*. Water filtration technologies for developing countries. Bangkok: Enviromental Sanitation Information Center, 1983. 110p.

APÊNDICE 1 - DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PILOTO

Memorial de Dimensionamento do Sistema Piloto

Características básicas do filtro a ser executado e estudado:

- Dupla camada filtrante (antracito + areia);
- Presença de descarga de fundo intermediária com injeção na interface areia-pedregulho;
- Câmaras de carga independentes para ambos os fluxos, com taxa constante nos mesmos;
- Uso de bocal desmontável como dreno de água filtrada (diâmetro externo dos discos = 80 mm; diâmetro interno junto aos discos = 32 mm; diâmetro interno na conexão = 17 mm);
- Taxa de filtração total de 400 m³/m².d (sendo 200 no fluxo ascendente e 200 no fluxo descendente).

Dimensionamento do filtro:

1 – Sistema de coleta do filtrado

1.1) Vazão de água filtrada

Considerando Diâmetro do Filtro Piloto de 250 mm:

$$Q = 400 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \times (\pi \times (0,125 \text{ m})^2) = 19,64 \text{ m}^3/\text{d} = 0,82 \text{ m}^3/\text{h} = 2,28\text{E-}4 \text{ m}^3/\text{s} = 13,64$$

L/min

1.2) Tubulações imediatas do filtrado (Velocidade máxima: 1,25 m/s - Richter e Azevedo Netto (1991))

$$Q = V \cdot A \quad Q = 2,28\text{E-}4 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Adotando DN25 } (\varnothing_{\text{int}} = 21,6 \text{ mm}) \quad V = 0,62 \text{ m/s}$$

O diâmetro do efluente da unidade adotado é de 25 mm, mantendo uma velocidade abaixo do limite recomendado. Esse é o diâmetro desde a saída da crepina até o exterior do filtro.

1.3) Incremento da perda de carga hidráulica devido ao sistema de coleta do filtrado

Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao (diâmetros abaixo de 50 mm e PVC):

$$J = 0,0008695 (Q^{1,75} / D^{4,75}) = 0,0008695 (2,28E-4^{1,75} / 0,0216^{4,75}) = 0,03 \text{ m/m}$$

$$\Delta h = J \times L = 0,03 \text{ m/m} \times 2,15 \text{ m (comprimento da mangueira)} = 0,065 \text{ m}$$

Perda localizada na expansão de diâmetro do bocal para a mangueira: $\Delta h = (K \times V^2) / 2g = (0,7 \times 1,41^2) / (2 \times 9,81) = 0,07 \text{ m}$. *1,41 m/s é a velocidade do líquido na porção de menor diâmetro da singularidade

Registro de globo totalmente aberto: $\Delta h = (K \times V^2) / 2g = (10 \times 0,46^2) / (2 \times 9,81) = 0,10 \text{ m}$. *0,46 m/s é a velocidade do líquido no interior da singularidade.

Há ainda a perda de carga localizada devida à entrada da água filtrada na crepina. Para crepinas de 20 mm e sem tubo para ar, como a utilizada neste trabalho, e a vazão de filtração, a perda de carga localizada durante a filtração é de 0,10 mca (HIDRO SOLO, 2019).

Total: 0,33 mca.

2 – Tubulações de água a ser filtrada

Para as tubulações afluentes, Richter e Azevedo Netto (1991) recomendam velocidade máxima de 0,60 m/s. Dessa forma ambos os diâmetros de 25 ou 32 mm atendem para conduzir a vazão a ser filtrada em cada um dos fluxos do filtro. Diâmetro de 32 mm é adotado entre a câmara de carga e o fundo do filtro (fluxo ascendente) e também para condução da água entre o distribuidor de vazão e o filtro (para ambos os fluxos).

3 – Camadas filtrantes e granulometria dos materiais filtrantes

Richter e Azevedo Netto (1991) explicam que para se evitar a mescla excessiva das camadas de antracito e areia, o tamanho efetivo do primeiro deve estar entre 1,8 e 2,1 vezes o tamanho efetivo (d_{10}) da última. Dessa forma, empregam-se areias de tamanhos efetivos de 0,50 e 0,60 mm, e antracito com 1,05 mm de tamanho efetivo.

A areia de menor granulometria é empregada na porção de 30 cm superior do filtro ascendente, além da camada de areia do filtro descendente, de forma a manter uma camada uniforme no entorno do bocal de drenagem do filtrado e evitar qualquer acúmulo de sólidos próximo a esse dispositivo, em interfaces de materiais filtrantes de granulometria diferente.

De acordo com Vignesan et al. (1983), o coeficiente de uniformidade (Cu) dos materiais filtrantes é de 1,5. A Tabela 1 ilustra a relação de parâmetros adotados relativos à camada filtrante.

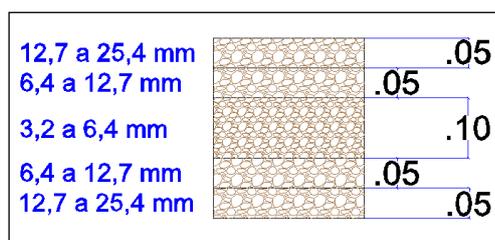
Tabela 1 – Configuração da camada filtrante

	Parâmetro	Valor/Descrição
Porção superior do filtro (fluxo descendente)	Espessura da camada de antracito	0,60 m
	Diâmetro efetivo do antracito	1,07 mm
	Coeficiente de uniformidade do antracito	1,55
	Espessura da camada de areia	0,25 m
	Diâmetro efetivo da areia	0,51 mm
	Coeficiente de uniformidade da areia	1,47
Porção inferior do filtro (fluxo ascendente)	Espessura da camada de areia	1,70 m
	Tamanho efetivo da areia usada nos 0,30 m superiores	0,51 mm
	Coeficiente de uniformidade da areia usada nos 0,30 m superiores	1,47
	Tamanho efetivo da areia usada nos 1,40 m inferiores	0,58 mm
	Coeficiente de uniformidade da areia usada nos 1,40 m inferiores	1,74

4 - Camada suporte

Na escolha da camada suporte para o presente projeto, levou-se em consideração o recomendado por Di Bernardo e Dantas (2005). A configuração adotada é a disposta na Figura 1, quanto à lavagem com ar e água, suprimindo-se a camada superior e a da base (de 25,4 a 50,0 mm) por se tratar de um filtro em escala piloto. A profundidade total da camada suporte é de 30 cm.

Figura 1 – Disposição da camada suporte



Previu-se um fundo falso formado por um Cap invertido perfurado de 200 mm de diâmetro, localizado abaixo da camada suporte, de forma a possibilitar a entrada e distribuição da água a ser filtrada e da água de retrolavagem.

5 – Retrolavagem

5.1) Expansão desejada do leito filtrante e velocidade ascensional da água de lavagem

Na prática são consideradas expansões entre 25 e 50%, sendo 40% um valor comumente empregado (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). Neste projeto, que possui um leito filtrante bastante profundo, e com o objetivo de se evitar uma altura total muito elevada do filtro, é adotada uma expansão de 30% da porção do leito filtrante composta pela areia mais grossa (0,60 mm), que dentre os materiais empregados, é o que exige maior velocidade ascensional para expandir.

Richter e Azevedo Netto (1991) indicam que para promover tal expansão de areia com tamanho efetivo de 0,60 mm, a faixa de velocidade ascensional é de 0,85 a 1,05 m/min. Adotando-se uma velocidade durante a lavagem de 0,85 m/min, atinge-se uma expansão de 40% da camada de areia mais fina (0,50 mm) e de 50% do antracito. Dessa forma, todos os valores de expansão permanecem na faixa recomendada.

Portanto, durante a retrolavagem, a fluidificação dos materiais filtrantes deveria chegar à seguinte altura calculada sobre a superfície da camada filtrante quando na disposição de operação do filtro:

$$H = 1,40 \text{ m} \times 0,30 + 0,55 \text{ m} \times 0,40 + 0,60 \text{ m} \times 0,50 = 0,95 \text{ m.}$$

A velocidade ascensional de lavagem citada, equivalente a 51 m³/m².h, ainda está compreendida na faixa recomendada por Hamann e Mckinney (1968) e Vignesan et al. (1983) para lavagem de filtros bifluxos, 47,5 a 55 m³/m².h.

5.2) Vazão de água para retrolavagem

$$0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min} \times 0,0491 \text{ m}^2 = 0,0418 \text{ m}^3/\text{min} \text{ ou } 42 \text{ L}/\text{min}$$

5.3) Dimensionamento da tubulação de água para lavagem

Para a tubulação que transporta água para lavagem, Richter e Azevedo Netto (1991) indicam uma velocidade máxima de 3,60 m/s. A vazão de água de lavagem já calculada no item anterior é de 42 L/min, sendo adequado então um diâmetro de no mínimo 20 mm. Foi adotado um diâmetro de 32 mm ($\text{Ø}_{\text{int}} = 27,8 \text{ mm}$), sendo que, dessa forma, a velocidade no interior da tubulação é de 1,15 m/s.

5.4) Tempo nominal e volume de água de lavagem

Di Bernardo et. al. (2017) recomendam um tempo nominal de 7 a 10 minutos para lavagem dos filtros. Adotou-se um tempo nominal de 10,0 minutos para lavagem do filtro. Tendo-se esse tempo estabelecido e a vazão de lavagem calculada, calcula-se que o volume de lavagem do filtro:

$0,0418 \text{ m}^3/\text{min} \times 10 \text{ min} = 0,418 \text{ m}^3$ de água para lavagem do filtro, ou seja, o reservatório de lavagem deveria possuir um volume maior que esse valor. Por segurança, adotou-se um reservatório com capacidade de 1.000 litros.

5.5) Locação e dimensionamento do tubo coletor de água da lavagem

Richter e Azevedo Netto (1991) indicam que a altura mínima da extremidade inferior das calhas ou tubo coletor, sobre a superfície do leito filtrante em repouso, depende da expansão máxima prevista para o material durante a sua lavagem. Essa altura foi calculada anteriormente e vale 0,95 m, que somada à folga recomendada de 0,15 m, passa a 1,10 m, sendo este então o valor adotado.

Uma tubulação de 25 mm ($\text{Ø}_{\text{int}} = 21,6 \text{ mm}$) de diâmetro para a coleta da água de lavagem permite uma velocidade máxima de 1,91 m/s, sendo esse o diâmetro adotado.

5.6) Operação da lavagem do filtro

A lavagem é realizada por meio do uso de um conjunto motor-bomba centrífuga de potência igual a 1 cv conectado a um segmento de tubulação de 32 mm, com a outra extremidade ligada ao fundo do filtro. Esse esquema ainda conta com um registro para o controle da vazão, de forma a se garantir o fornecimento da vazão especificada para a retrolavagem. Afere-se a vazão com o uso de uma proveta graduada de 1,0 L e um

cronômetro, coletando-se a água na extremidade da tubulação que a conduz ao esgotamento. A água a ser usada é água filtrada pelo próprio sistema piloto.

5.7) Descarga de fundo intermediária na interface

Previu-se, conforme recomendação de Di Bernardo (2003) para filtros ascendentes, neste modelo de projeto, a operação de descarga de fundo intermediária com injeção na interface antes da aplicação da retrolavagem da unidade filtrante. Portanto, é prevista uma derivação da tubulação de fornecimento de água de lavagem, de mesmo diâmetro 32 mm, passando ao longo da interface entre a subcamada mais superficial da camada suporte e o fundo da camada de areia mais grossa, porção inferior do leito filtrante. O trecho de tubulação do interior da seção do filtro é devidamente perfurado, e a drenagem dessa porção de água que realiza a lavagem da camada suporte ocorre por um dreno de fundo, localizado no fundo do filtro.

Essa operação é indicada também durante a operação do filtro, objetivando prolongar a carreira de filtração, no caso de se atingir a carga hidráulica máxima da porção do filtro ascendente previamente ao da carga do escoamento descendente.

5.8) Determinação da necessidade de lavagem

Neste projeto é adotado o regime de taxa de filtração constante, ou seja, a taxa nominal, assim como a vazão de água a ser filtrada, não se altera ao longo da operação do filtro (nos testes em filtração bifluxo).

Para a determinação da coluna de água sobre o topo do leito filtrante, ao início das carreiras de filtração, considerando-se a porção descendente: somam-se a perda de carga provocada pelo sistema de drenagem do filtrado e a perda promovida pelo fluxo da água no filtro descendente quando o leito se encontra limpo. O primeiro valor foi calculado no item 1.3 e vale 0,33 m. O segundo valor é calculado, conforme Di Bernardo e Dantas (2005), pela Equação de Ergun, que resulta em 0,33 m.

Dessa forma, o total da perda de carga no fluxo descendente ao início da filtração tem o seguinte valor:

$$0,33 + 0,33 = 0,66 \text{ m.}$$

Determina-se que a carga hidráulica máxima para o fluxo descendente na Fase 1 do estudo é de 1,75 m (distância entre a superfície do leito filtrante e o extravasor da coluna do filtro). Essa coluna deve ter, então, uma altura total de 4,91 m, havendo um extravasor de diâmetro 25 mm na altura de 4,68 m.

Na Fase 2 do estudo, prolonga-se a coluna filtrante e, portanto, a carga hidráulica disponível, em aproximadamente 1,0 m. Assim, nessa etapa do estudo o extravasor a estar locado 2,73 m acima do topo do leito filtrante.

Quanto à porção ascendente: somam-se a perda de carga provocada pelo sistema de drenagem do filtrado, a perda promovida pelo fluxo da água no filtro ascendente quando o leito se encontra limpo, a perda junto à camada suporte, a perda relacionada ao fundo do filtro e a da passagem da água na tubulação até o fundo do filtro. O primeiro valor foi calculado no item 1.3 e vale 0,33 m. O segundo valor, calculado pela Equação de Ergun, equivale a 0,75 m.

Perda na camada suporte - Richter e Azevedo Netto (1991): Δh (cam. sup.) = $(V_a \cdot H) / 3 = (0,21 \times 0,3) / 3 = 0,02 \text{ m.}$

Quanto ao fundo: Aproximando a configuração a ser realizada a blocos universais, tem-se que para a taxa de filtração do filtro ascendente, gera-se uma perda de 0,05 m.

No trajeto da água pela tubulação até o fundo do filtro, tem-se:

Perda de carga na tubulação (câmara de carga):

$$J = 10,641 \times C^{-1,85} \times Q^{1,85} \times D^{-4,87} = 3,26E-7 \text{ m/m} \quad \Delta h = J \times L (6 \text{ m}) = 1,95E-6 \text{ m}$$

Perda de carga na tubulação (entre a câmara de carga e o fundo) de 32 mm - Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao:

$$J = 0,0008695 (Q^{1,75} / D^{4,75}) = 0,0008695 (1,14E-4^{1,75} / 0,0278^{4,75}) = 0,03 \text{ m/m} \quad \Delta h = J \times L (1,8 \text{ m}) = 0,054 \text{ m}$$

Perda de carga nas singularidades:

$$2 \text{ joelhos (32 mm): } \Delta h = (K \times V^2) / 2g = (0,9 \times 0,14^2) / (2 \times 9,81) = 8,99E-4 \text{ m} \times 2 = 1,8E-3 \text{ m}$$

$$2 \text{ têes de passagem lateral: } \Delta h = (K \times V^2) / 2g = (2,0 \times 0,14^2) / (2 \times 9,81) = 2,0E-3 \text{ m} \times 2 = 4,0E-3 \text{ m}$$

$$\text{Redução brusca 75 para 32 mm: } \Delta h = (K \times V^2) / 2g = (0,38 \times 0,14^2) / (2 \times 9,81) = 3,8E-4 \text{ m}$$

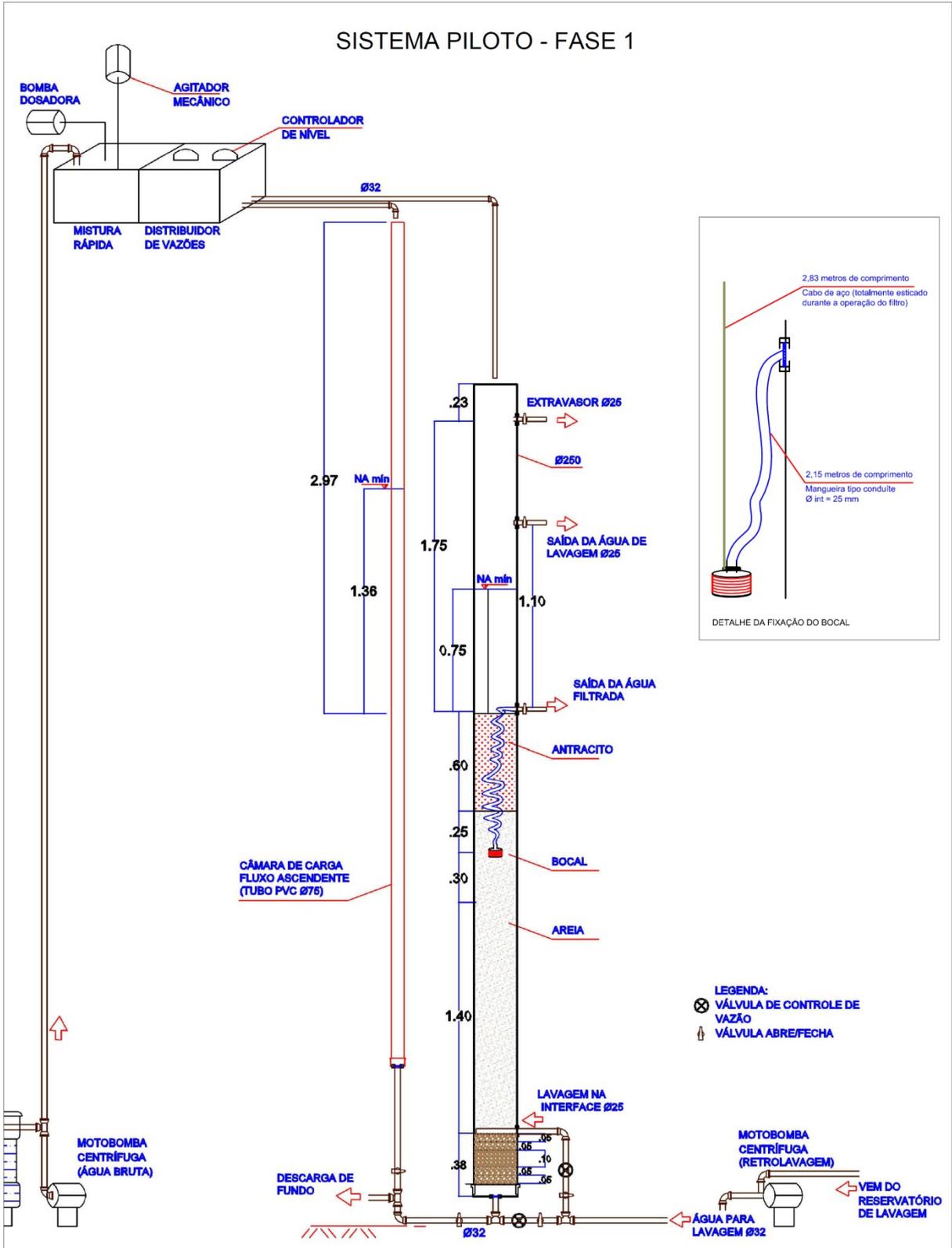
$$\text{Registro de globo totalmente aberto: } \Delta h = (K \times V^2) / 2g = (10 \times 0,14^2) / (2 \times 9,81) = 0,01 \text{ m}$$

Ampliação brusca de 32 para 250 mm = $3,14E-9$ m

Dessa forma, o total da perda de carga no fluxo ascendente ao início da filtração tem o seguinte valor: 0,821 m

Determina-se que a carga hidráulica máxima para o fluxo ascendente é de 3,0 m. Essa consiste, então, na altura entre a saída do filtrado e o topo da câmara de carga. Este último fica locado aproximadamente 1,0 m acima do topo da coluna do filtro, isto é, a 5,90 m do fundo do filtro. A câmara de carga do fluxo ascendente permaneceu com a mesma configuração durante todo o presente estudo.

APÊNDICE 2**Desenho técnico do sistema piloto (Fase 1 e 2 do estudo)**



Referência: Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxe em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento

Data: SET/2019	Autor e Desenhista: DIEGO BRUNELLI GHISI	Escala: S/ Esc	Folha: ÚNICA
----------------	--	----------------	--------------

APÊNDICE 3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Resultados de Testes de Jarros

28/04/19	Água bruta	Dosagem de PAC (mg/L)				
Parâmetro		9	11	13	15	17
Turbidez (uT)	6,46	0,54	0,32	0,30	0,24	0,48
pH	6,9	6,83	6,81	6,76	6,68	6,59

28/04/19	Água bruta	Dosagem de PAC (mg/L)				
Parâmetro		12	13	14	15	16
Turbidez (uT)	6,46	0,32	0,31	0,28	0,20	0,32
pH	6,9	6,79	6,77	6,74	6,72	6,60

16/05/19	Água bruta	Dosagem de PAC (mg/L)				
Parâmetro		12	13	14	15	16
Turbidez (uT)	9,14	0,30	0,29	0,27	0,21	0,26
pH	7,15	7,02	6,97	6,93	6,89	6,77

04/10/19	Água bruta	Dosagem de PAC (mg/L)				
Parâmetro		13	14	15	16	17
Turbidez (uT)	8,12	0,35	0,31	0,23	0,29	0,37
pH	7,2	7,17	7,11	7,05	6,72	6,63

Qualidade da Água Filtrada (Turbidez) – Fase 1-A

1ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	8,47
01:00	0,29
01:30	0,53
02:00	0,44
02:30	0,4
03:00	0,55

2ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	8,66
01:00	1,91
01:30	1,84
02:00	1,78
02:30	1,96

3ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	10,3
01:00	1,82
01:30	1,67
02:00	1,61
02:30	1,72

4ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	10,6
01:00	0,34
01:30	0,98
02:00	0,72
02:30	0,56
03:00	1,33

5ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	14,6
01:00	1,37
01:30	1,12
02:00	1,18
02:30	1,23
03:00	1,55
03:30	1,42

6ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	7,98
01:00	0,35
01:30	0,48
02:00	0,52
02:30	0,46
03:00	0,64

7ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	8,57
01:00	0,32
01:30	0,59
02:00	0,53
02:30	0,49

8ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	8,27
01:00	0,27
01:30	0,53
02:00	0,47
02:30	0,41

9ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	9,06
01:00	1,27
01:30	1,18
02:00	1,25
02:30	1,29
03:00	1,54

10ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	8,19
01:00	0,29
01:30	0,51
02:00	0,48
02:30	0,56
03:00	0,68
03:30	0,61

Turbidez na recuperação do filtro – Fase 1-A

1ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,77
2	8,93
4	30,4
6	3,98
8	1,39
10	1,11
12	0,99
14	0,78
16	0,9
18	0,96
20	0,8
22	0,89
24	1,34
26	1,44
28	1,06
30	0,81

2ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,30
2	9,72
4	3,77
6	1,81
8	1,64
10	1,43
12	1,84
14	1,98
16	1,49
18	1,62
20	1,68
22	1,50
24	1,65
26	1,35
28	1,33
30	1,52

3ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	10,3
2	1,02
4	1,66
6	2
8	2,1
10	1,98
12	2,03
14	2,55
16	2,49
18	2,29
20	2,27
22	1,76
24	2,73
26	1,92
28	2,14
30	1,84

4ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	10,6
2	43
4	4,31
6	0,76
8	0,43
10	0,34
12	0,62
14	1,02
16	1,42
18	2,68
20	0,39
22	0,3
24	0,25
26	0,23
28	0,94
30	1,29

5ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	14,6
2	28,8
4	2,12
6	1,34
8	0,92
10	0,76
12	1
14	0,86
16	0,76
18	0,79
20	2,26
22	0,74
24	0,75
26	0,76
28	0,71
30	0,66

6ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,59
2	2,11
4	0,88
6	0,65
8	0,55
10	0,5
12	0,56
14	0,51
16	0,63
18	0,89
20	0,61
22	0,8
24	0,66
26	0,83
28	0,66
30	0,62

7ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,97
2	1,48
4	1,68
6	0,75
8	0,56
10	0,32
12	0,28
14	0,29
16	0,28
18	0,22
20	0,23
22	0,22
24	0,23
26	0,29
28	0,25
30	0,26

8ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,67
2	12,9
4	2,22
6	1,76
8	0,7
10	0,88
12	0,69
14	0,54
16	0,51
18	0,58
20	0,47
22	0,41
24	0,47
26	0,44
28	0,44
30	0,36

9ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,12
2	2,56
4	1,41
6	1,29
8	0,52
10	0,44
12	0,5
14	0,41
16	0,42
18	0,49
20	0,53
22	0,45
24	0,3
26	0,36
28	0,34
30	0,32

10ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	7,85
2	23,6
4	5,63
6	1,2
8	0,59
10	0,25
12	0,37
14	0,04
16	0,13
18	0,04
20	0,31
22	0,37
24	0,36
26	0,25
28	0,35
30	0,28

Retrolavagem e Descarga de Fundo (DF) – Fase 1-A

1ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	463
01:00	382
01:30	321
02:00	184
02:30	162
03:00	126
03:30	94,2
04:00	80,5
04:30	71,6
05:00	73,9
05:30	65,5
06:00	59,0
06:30	52,7
07:00	50,2
07:30	58,8
08:00	51,3
08:30	46,5
09:00	42,9
09:30	37,4
10:00	39
10:30	27,1
11:00	18,9
11:30	12,5
12:00	8,6
12:30	6,8
DF meio	261
DF fim	4,1

2ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	396
01:00	284
01:30	206
02:00	107
02:30	99,6
03:00	90,8
03:30	67,5
04:00	89,8
04:30	71,3
05:00	62,0
05:30	53,6
06:00	48,5
06:30	37,9
07:00	32,6
07:30	28,1
08:00	25,5
08:30	22,3
09:00	19,5
09:30	17,6
10:00	19
10:30	11,5
11:00	9,77
11:30	7,3
12:00	5,2
12:30	4,3
DF meio	181
DF fim	2,73

3ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	415
01:00	311
01:30	277
02:00	119
02:30	92,6
03:00	86,0
03:30	76,9
04:00	71,2
04:30	67,8
05:00	63,0
05:30	56,7
06:00	50,2
06:30	42,6
07:00	36,1
07:30	30,9
08:00	24,5
08:30	21,2
09:00	18,3
09:30	15
10:00	12,3
10:30	10,4
11:00	8,3
11:30	6,5
12:00	5
12:30	3,8
DF meio	147
DF fim	3,14

4ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	476
01:00	392
01:30	289
02:00	167
02:30	143
03:00	104,0
03:30	74,4
04:00	63,8
04:30	64,1
05:00	72,0
05:30	82,0
06:00	41,9
06:30	67,1
07:00	70,4
07:30	75,1
08:00	40,1
08:30	74,9
09:00	49,4
09:30	51,1
10:00	38,5
10:30	28,6
11:00	21,4
11:30	16,4
12:00	9,5
12:30	7,6
DF meio	210
DF fim	5,12

5ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	410
01:00	305
01:30	268
02:00	247
02:30	235
03:00	221
03:30	187
04:00	178
04:30	223
05:00	197
05:30	176
06:00	132
06:30	124
07:00	102
07:30	87
08:00	78
08:30	71
09:00	63,2
09:30	52,6
10:00	41,3
10:30	30,2
11:00	18,8
11:30	12,5
12:00	10,3
12:30	8,8
DF meio	46
DF fim	1,55

6ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	545
01:00	481
01:30	224
02:00	132
02:30	108
03:00	94,6
03:30	86,7
04:00	161,0
04:30	64,3
05:00	56,5
05:30	49,0
06:00	40,4
06:30	39,0
07:00	22,6
07:30	17,9
08:00	24,3
08:30	19,2
09:00	16,8
09:30	13,6
10:00	11,5
10:30	8,4
11:00	6,9
11:30	5,5
12:00	4,8
12:30	4,1
DF meio	156
DF fim	6,47

7ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	478
01:00	381
01:30	243
02:00	468
02:30	378,0
03:00	527,0
03:30	256,0
04:00	287,0
04:30	172,0
05:00	140,0
05:30	139,0
06:00	90,2
06:30	68,2
07:00	53,6
07:30	43,2
08:00	43,9
08:30	34,1
09:00	22,5
09:30	23,7
10:00	23,2
10:30	16
11:00	13,4
11:30	10,2
12:00	8,9
12:30	7,6
DF meio	176
DF fim	2,23

8ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	510
01:00	395
01:30	278
02:00	129
02:30	104,0
03:00	77,6
03:30	66,8
04:00	55,7
04:30	44,3
05:00	43,6
05:30	33,1
06:00	40,1
06:30	32,8
07:00	33,6
07:30	31,3
08:00	29
08:30	33,3
09:00	27,5
09:30	32,1
10:00	24,2
10:30	24,5
11:00	19,5
11:30	14,1
12:00	10,2
12:30	8,3
DF meio	101
DF fim	2,35

9ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	788
01:00	541
01:30	428
02:00	198
02:30	66
03:00	32,2
03:30	21,2
04:00	34,7
04:30	34,6
05:00	20,2
05:30	11,3
06:00	18,1
06:30	47,8
07:00	55,1
07:30	33,7
08:00	23
08:30	14,6
09:00	22,1
09:30	21,4
10:00	21,2
10:30	10,9
11:00	5,58
11:30	4,9
12:00	4,5
12:30	3,6
DF meio	169
DF fim	5,78

10ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	462
01:00	355
01:30	322
02:00	188
02:30	151,0
03:00	128,0
03:30	130,0
04:00	112,0
04:30	110,0
05:00	99,5
05:30	93,3
06:00	84,7
06:30	71,4
07:00	73,6
07:30	62,7
08:00	34
08:30	33,9
09:00	28
09:30	25,9
10:00	22,7
10:30	18,4
11:00	13,6
11:30	11,1
12:00	9,4
12:30	7,8
DF meio	234
DF fim	2,94

Qualidade do filtrado – Fase 1-B

Fluxo Descendente:

1ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	9,45
01:00	0,77
01:30	0,83
02:00	0,86
02:30	0,78
03:00	0,81
03:30	0,82

2ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	9,12
01:00	0,82
01:30	0,74
02:00	0,79
02:30	0,85
03:00	0,89
03:30	0,81

3ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	10,8
01:00	0,69
01:30	0,72
02:00	0,62
02:30	0,59
03:00	0,61
03:30	0,69

Fluxo Ascendente:

1ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	8,35
0,5	0,69
1	0,75
1,5	0,69
2	0,74
2,5	0,79
3	0,68
3,5	0,65
4	0,7
4,5	0,77
5	0,71
5,5	0,72
1ª DFI	
00:30	0,76
01:00	0,82
01:30	0,86
02:00	0,75
02:30	0,77
2ª DFI	
0,5	0,68
1	0,76

2ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	10,2
0,5	0,61
1	0,72
1,5	0,75
2	0,73
2,5	0,69
3	0,75
3,5	0,79
4	0,81
4,5	0,76
5	0,85
5,5	0,76
1ª DFI	
00:30	0,79
01:00	0,83
01:30	0,76
02:00	0,86
02:30	0,89
2ª DFI	
0,5	0,81
1	0,86

3ª Carreira	
Tempo (hh:mm)	Turbidez
(Água bruta)	9,55
0,5	0,71
1	0,79
1,5	0,81
2	0,76
2,5	0,79
3	0,84
3,5	0,82
4	0,85
4,5	0,8
5	0,77
5,5	0,76
1ª DFI	
6	0,81
6,5	0,83
7	0,86
7,5	0,82
8	0,78
8,5	0,79
2ª DFI	
9	0,7
9,5	0,77

Turbidez na recuperação do filtro – Fase 1-B

Fluxo Descendente:

1ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,45
2	6,77
4	5,92
6	3,1
8	1,02
10	0,93
12	0,85
14	0,88
16	0,79
18	0,97
20	0,89
22	0,91
24	0,93
26	0,98
28	1,02
30	0,95

2ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,12
2	8,13
4	4,08
6	1,79
8	1,36
10	0,97
12	0,81
14	0,77
16	0,82
18	0,71
20	0,68
22	0,70
24	0,73
26	0,74
28	0,60
30	0,59

3ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	10,8
2	1,02
4	1,66
6	1,35
8	0,91
10	0,74
12	0,8
14	0,83
16	0,74
18	0,73
20	0,66
22	0,69
24	0,71
26	0,8
28	0,65
30	0,55

Fluxo Ascendente:

1ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,35
2	2,68
4	3,12
6	2,16
8	1,81
10	1,32
12	0,96
14	0,88
16	0,77
18	0,82
20	0,91
22	0,96
24	0,88
26	0,77
28	0,65
30	0,69

2ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	10,20
2	5,46
4	5,29
6	2,54
8	1,39
10	0,99
12	0,82
14	0,91
16	0,80
18	0,73
20	0,69
22	0,72
24	0,46
26	0,68
28	0,71
30	0,61

3ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,55
2	3,78
4	1,9
6	0,9
8	0,82
10	0,75
12	0,71
14	0,76
16	0,69
18	0,73
20	0,65
22	0,61
24	0,64
26	0,6
28	0,69
30	0,71

Retrolavagem – Fase 1-B

Fluxo Descendente (sem DF):

1ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	210
01:00	149
01:30	137
02:00	96
02:30	81
03:00	65,3
03:30	46,8
04:00	39,5
04:30	34,6
05:00	31,2
05:30	28,4
06:00	25,5
06:30	19,8
07:00	16,7
07:30	15,9
08:00	18,6
08:30	14,7
09:00	12,5
09:30	10,2
10:00	9,14
10:30	8,23
11:00	6,87
11:30	5,68
12:00	4,35
12:30	3,54

2ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	195
01:00	174
01:30	161
02:00	129
02:30	105,5
03:00	81,4
03:30	73,6
04:00	60,7
04:30	46,9
05:00	35,7
05:30	32,8
06:00	29,2
06:30	26,1
07:00	25,8
07:30	23,6
08:00	20,4
08:30	18,6
09:00	15,9
09:30	14,2
10:00	10,3
10:30	9,8
11:00	6,77
11:30	5,16
12:00	4,82
12:30	4

3ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	158
01:00	179
01:30	154
02:00	142
02:30	93
03:00	86,5
03:30	77,4
04:00	70,8
04:30	65,8
05:00	41,6
05:30	34,1
06:00	28,3
06:30	20,5
07:00	23,6
07:30	19,0
08:00	17,4
08:30	16,9
09:00	14,7
09:30	13,8
10:00	10,7
10:30	8,64
11:00	6,58
11:30	4,62
12:00	4,27
12:30	3,82

Fluxo Ascendente:

1ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	89
01:00	65,5
01:30	45,6
02:00	31,4
02:30	26,8
03:00	23,4
03:30	19,5
04:00	17,6
04:30	16,9
05:00	14,3
05:30	12,9
06:00	10,7
06:30	10,3
07:00	8,7
07:30	7,4
08:00	7,1
08:30	8,6
09:00	6,4
09:30	5,84
10:00	4,57
10:30	4,32
11:00	3,65
11:30	3,24
12:00	2,81
12:30	2,35

2ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	74
01:00	60,3
01:30	48,5
02:00	36,9
02:30	33,5
03:00	28,7
03:30	24,6
04:00	19,2
04:30	18,5
05:00	13,4
05:30	12,6
06:00	9,4
06:30	9,9
07:00	8,3
07:30	7,1
08:00	6,6
08:30	6,12
09:00	5,47
09:30	5,23
10:00	4,82
10:30	4,28
11:00	3,95
11:30	2,9
12:00	2,47
12:30	2,13

3ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	101
01:00	88,2
01:30	61,7
02:00	46,8
02:30	39,6
03:00	32,4
03:30	28,4
04:00	23,1
04:30	20,1
05:00	18,7
05:30	14,5
06:00	15,9
06:30	12,4
07:00	9,6
07:30	7,9
08:00	7,3
08:30	6,28
09:00	5,55
09:30	5,21
10:00	4,58
10:30	4,26
11:00	3,11
11:30	2,84
12:00	2,65
12:30	2,31

Qualidade do filtrado (turbidez) – Fase 2

1ª Carreira	
Tempo	Turbidez
AB	9,55
0,5	0,74
1	0,72
1,5	0,7
2,0	0,73
2,5	0,84
3	0,78
3,5	0,71
4	0,76
4,5	0,75
5,0	0,83
5,5	0,72
1º DFI	-
0,5	0,75
1,0	0,72
1,5	0,88
2,0	0,81
2,5	0,73

2ª Carreira	
Tempo	Turbidez
AB	8,46
0,5	0,8
1	0,76
1,5	0,65
2,0	0,69
2,5	0,75
3	0,77
3,5	0,71
4	0,75
4,5	0,68
5,0	0,73
5,5	0,75
1ª DFI	-
0,5	0,71
1,0	0,73
1,5	0,87
2,0	0,7
2,5	0,71

3ª Carreira	
Tempo	Turbidez
AB	10,1
0,5	0,84
1	0,74
1,5	0,76
2,0	0,73
2,5	0,7
3	0,85
3,5	0,82
4	0,76
4,5	0,81
5,0	0,75
5,5	0,81
1ª DFI	-
0,5	0,73
1,0	0,78
1,5	0,72
2,0	0,73
2,5	0,77
2ª DFI	-
0,5	0,88
1,0	0,72

4ª Carreira	
Tempo	Turbidez
AB	8,43
0,5	0,72
1	0,81
1,5	0,85
2,0	0,89
2,5	0,88
3	0,71
3,5	0,72
4	0,84
4,5	0,78
5,0	0,72
5,5	0,75
1ª DFI	-
0,5	0,81
1,0	0,74
1,5	0,77
2,0	0,75
2,5	0,72
2ª DFI	-
0,5	0,71
1,0	0,74

5ª Carreira	
Tempo	Turbidez
AB	9,14
0,5	0,87
1	0,72
1,5	0,74
2,0	0,86
2,5	0,7
3	0,77
3,5	0,83
4	0,61
4,5	0,75
5,0	0,79
5,5	0,84
1ª DFI	-
0,5	0,73
1,0	0,76
1,5	0,85
2,0	0,68
2,5	0,85
2ª DFI	-
0,5	0,67
1,0	0,82
3ª DFI	-
0,25	0,79

6ª Carreira	
Tempo	Turbidez
AB	9,3
0,5	0,71
1	0,76
1,5	0,84
2,0	0,69
2,5	0,71
3	0,75
3,5	0,72
4	0,85
4,5	0,74
5,0	0,7
5,5	0,71
1ª DFI	-
0,5	0,75
1,0	0,82
1,5	0,68
2,0	0,73
2,5	0,76
2ª DFI	-
0,5	0,7
1,0	0,83
3ª DFI	-
0,25	0,77

Turbidez na recuperação do filtro – Fase 2

1ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,55
2	6,55
4	4,23
6	2,19
8	1,09
10	0,88
12	0,74
14	0,79
16	0,83
18	0,81
20	0,75
22	0,79
24	0,68
26	0,76
28	0,71
30	0,74

2ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,46
2	5,46
4	3,11
6	2,08
8	0,95
10	0,78
12	0,8
14	0,73
16	0,77
18	0,74
20	0,81
22	0,75
24	0,71
26	0,79
28	0,83
30	0,8

3ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	10,1
2	4,16
4	3,54
6	1,9
8	1,32
10	0,97
12	0,82
14	0,86
16	0,78
18	0,74
20	0,76
22	0,81
24	0,75
26	0,72
28	0,72
30	0,7

4ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	8,43
2	4,68
4	2,97
6	2,06
8	1,81
10	0,8
12	0,86
14	0,77
16	0,79
18	0,82
20	0,69
22	0,76
24	0,7
26	0,68
28	0,71
30	0,72

5ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,14
2	5,05
4	3,66
6	2,17
8	1,64
10	0,96
12	0,76
14	0,7
16	0,75
18	0,79
20	0,72
22	0,7
24	0,68
26	0,69
28	0,72
30	0,69

6ª Carreira	
Tempo (min)	Turbidez
*(Água bruta)	9,3
2	3,96
4	2,91
6	1,86
8	1,12
10	0,82
12	0,85
14	0,89
16	0,81
18	0,78
20	0,76
22	0,79
24	0,69
26	0,74
28	0,76
30	0,71

Retrolavagem e Descargas de fundo – Fase 2

Retrolavagem:

1ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	361
01:00	325
01:30	264
02:00	149
02:30	113
03:00	96,5
03:30	70,1
04:00	83,4
04:30	72,8
05:00	58,9
05:30	46,7
06:00	42,3
06:30	37,0
07:00	16,5
07:30	22,5
08:00	14,1
08:30	13,8
09:00	16,9
09:30	14,6
10:00	12,8
10:30	9,67
11:00	8,84
11:30	7,56
12:00	6,94
12:30	6,36

2ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	298
01:00	256
01:30	227
02:00	194
02:30	164
03:00	118,0
03:30	92,6
04:00	85,8
04:30	84,6
05:00	68,0
05:30	53,7
06:00	47,8
06:30	35,6
07:00	30,2
07:30	26,9
08:00	20,3
08:30	22
09:00	18,7
09:30	13,4
10:00	11,6
10:30	10,8
11:00	8,61
11:30	7,35
12:00	5,59
12:30	5,13

3ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	355
01:00	333
01:30	301
02:00	234
02:30	185
03:00	151,0
03:30	102,0
04:00	96,2
04:30	89,5
05:00	73,4
05:30	62,1
06:00	52,3
06:30	46,7
07:00	35,6
07:30	30,1
08:00	26,5
08:30	23,8
09:00	18,9
09:30	15,6
10:00	12,4
10:30	9,01
11:00	6,57
11:30	4,58
12:00	3,68
12:30	4,47

4ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	321
01:00	288
01:30	156
02:00	147
02:30	125
03:00	108,0
03:30	96,3
04:00	85,4
04:30	74,7
05:00	65,5
05:30	58,5
06:00	45,8
06:30	34,7
07:00	32,5
07:30	26,1
08:00	18,4
08:30	18,1
09:00	15,6
09:30	12,4
10:00	10,5
10:30	8,66
11:00	7,41
11:30	5,49
12:00	4,58
12:30	4,31

5ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	267
01:00	275
01:30	224
02:00	186
02:30	171
03:00	120,0
03:30	103,0
04:00	89,6
04:30	80,1
05:00	71,5
05:30	64,7
06:00	53,6
06:30	48,8
07:00	40,3
07:30	33,4
08:00	23,5
08:30	17,7
09:00	15,8
09:30	13,2
10:00	10,1
10:30	8,45
11:00	6,87
11:30	5,49
12:00	4,12
12:30	3,95

6ª Carreira	
Tempo (mm:ss)	Turbidez
00:30	416
01:00	326
01:30	284
02:00	202
02:30	191
03:00	166,0
03:30	148,0
04:00	122,0
04:30	95,4
05:00	80,5
05:30	71,8
06:00	60,6
06:30	51,4
07:00	42,1
07:30	35,9
08:00	24,1
08:30	20,5
09:00	18,7
09:30	14,8
10:00	11,9
10:30	11,3
11:00	8,53
11:30	7,18
12:00	4,59
12:30	4,26

Descargas de fundo:

	1ª Carreira	2ª Carreira	3ª Carreira	4ª Carreira	5ª Carreira	6ª Carreira
Turbidez no meio da DF (12,5 s)						
1ª DFI	274	198	234	356	317	378
2ª DFI	x	x	195	176	213	226
3ª DFI	x	x	x	x	157	142
DF lav	248	216	153	149	86,2	71,8
Turbidez no final da DF (25 s)						
1ª DFI	5,62	4,68	6,97	4,35	5,05	6,18
2ª DFI	x	x	4,22	3,31	2,94	3,68
3ª DFI	x	x	x	x	2,56	2,87
DF lav	5,11	4,42	3,83	3,52	3,46	2,54

Nível dos Piezômetros – Fase 1-A

1ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00								
		0,0	8,3	16,7	25,0	33,3	41,6	50,0	58,3	66,7	75,0	83,3	91,6	100,0								
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	131	133,3	135,6	137,9	140,2	142,5	144,3	146,1	147,9	149,7	151,5	154,8	158,1	161,4	164,7	168	171,3	174,6	177,9	181,2	184,5
P0		131,0	136,5	139,5	142,5	145,5	149,5	151,5	155,0	160,5	168,0	173,0	179,0	184,5								
P1	255	126	127,6	129,2	130,8	132,4	134	135,6	137,2	138,8	140,4	142	144,7	147,4	150,1	152,8	155,5	157,7	159,9	162,1	164,3	166,5
P1		126,0	128,5	131,5	134,0	136,5	140,5	142,0	145,0	150,5	155,5	159,0	162,0	166,5								
P2	225	106	106,4	106,8	107,2	107,6	108	109	110	111	112	113	114,2	115,4	116,6	117,8	119	119,7	120,4	121,1	121,8	122,5
P2		106,0	106,5	107,0	108,0	109,5	111,5	113,0	115,0	117,0	119,0	120,0	121,5	122,5								
P3	195	98	98,3	98,6	98,9	99,2	99,5	100,1	100,7	101,3	101,9	102,5	103,2	103,9	104,6	105,3	106	106,6	107,2	107,8	108,4	109
P3		98,0	98,0	99,0	99,5	100,5	101,0	102,5	104,0	105,5	106,0	107,0	108,0	109,0								
P4	165	81,5	81,8	82,1	82,4	82,7	83	83,5	84	84,5	85	85,5	86,3	87,1	87,9	88,7	89,5	90,1	90,7	91,3	91,9	92,5
P4		81,5	82,0	83,0	83,0	83,5	84,5	85,5	87,5	89,0	89,5	90,0	91,5	92,5								
P5	135	60,5	60,9	61,3	61,7	62,1	62,5	63	63,5	64	64,5	65	65,6	66,2	66,8	67,4	68	68,6	69,2	69,8	70,4	71
P5		60,5	61,0	62,0	62,5	62,5	64,0	65,0	66,5	67,5	68,0	68,5	70,0	71,0								
P6	105	44,5	44,7	44,9	45,1	45,3	45,5	46,1	46,7	47,3	47,9	48,5	49,2	49,9	50,6	51,3	52	52,6	53,2	53,8	54,4	55
P6		44,5	45,0	45,5	45,5	46,0	47,5	48,5	49,5	51,5	52,0	52,5	53,5	55,0								
P7	85	36	36,1	36,2	36,3	36,4	36,5	37,2	37,9	38,6	39,3	40	40,6	41,2	41,8	42,4	43	43,6	44,2	44,8	45,4	46
P7		36,0	36,5	36,5	36,5	37,5	38,5	40,0	41,0	42,5	43,0	43,5	44,5	46,0								
P8	60	46,5	46,8	47,1	47,4	47,7	48	48,4	48,8	49,2	49,6	50	50,7	51,4	52,1	52,8	53,5	53,9	54,3	54,7	55,1	55,5
P8		46,5	47,5	48,0	48,0	48,5	49,5	50,0	51,5	53,0	53,5	54,0	55,0	55,5								
P9	45	55	55,6	56,2	56,8	57,4	58	58,4	58,8	59,2	59,6	60	60,6	61,2	61,8	62,4	63	63,5	64	64,5	65	65,5
P9		55,0	57,0	58,0	58,0	58,5	59,5	60,0	61,5	62,5	63,0	64,0	64,5	65,5								
P10	30	61	61,8	62,6	63,4	64,2	65	65,7	66,4	67,1	67,8	68,5	69,4	70,3	71,2	72,1	73	73,8	74,6	75,4	76,2	77
P10		61,0	63,5	65,0	65,0	65,5	67,5	68,5	69,0	72,0	73,0	74,5	76,0	77,0								
P11	20	63,5	64,7	65,9	67,1	68,3	69,5	71,1	72,7	74,3	75,9	77,5	78,9	80,3	81,7	83,1	84,5	86,6	88,7	90,8	92,9	95
P11		63,5	67,0	69,5	69,5	70,5	73,5	77,5	78,5	83,0	84,5	88,0	91,5	95,0								
P12	10	68,5	70,1	71,7	73,3	74,9	76,5	79,6	82,7	85,8	88,9	92	94,5	97	99,5	102	104,5	107,7	110,9	114,1	117,3	120,5

P12		68,5	71,0	75,0	76,5	80,0	85,0	92,0	95,5	100,5	104,5	107,5	114,5	120,5								
P13	0	79,5	85,9	92,3	98,7	105,1	111,5	116,1	120,7	125,3	129,9	134,5	138,5	142,5	146,5	150,5	154,5	158,9	163,3	167,7	172,1	176,5
P13		79,5	90,5	102,5	111,5	122,5	132,0	134,5	143,5	150,0	154,5	160,5	169,5	176,5								
P14	0	136	138,4	140,8	143,2	145,6	148	150,1	152,2	154,3	156,4	158,5	161,4	164,3	167,2	170,1	173	176,5	180	183,5	187	190,5
P14		136,0	141,5	145,0	148,0	151,5	156,0	158,5	162,0	167,0	173,0	180,0	185,5	190,5								

2ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45									
		0,0	9,1	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0	100,0									
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	132	133,9	135,8	137,7	139,6	141,5	144,3	147,1	149,9	152,7	155,5	159,2	162,8	166,5	170,1	173,8	176,7	179,7	182,6	185,6	188,5
P0		132,0	136,0	139,5	142,5	147,5	153,0	158,0	163,5	170,0	177,5	182,5	188,5									
P1	255	126,5	128	129,5	131	132,5	134	136,2	138,3	140,5	142,6	144,8	147,6	150,4	153,2	156	158,8	160,7	162,7	164,6	166,6	168,5
P1		126,5	129,0	132,0	135,0	138,5	143,0	146,5	150,5	156,0	161,5	165,0	168,5									
P2	225	105	105,3	105,7	106	106,3	106,7	107,6	108,5	109,4	110,3	111,3	112,4	113,6	114,7	115,9	117	117,7	118,4	119,1	119,8	120,5
P2		105,0	105,5	106,0	107,0	108,5	110,5	112,0	114,0	116,0	118,0	119,0	120,5									
P3	195	93,5	93,77	94,03	94,3	94,57	94,83	95,32	95,8	96,28	96,77	97,25	98,05	98,85	99,65	100,5	101,3	101,7	102,2	102,6	103,1	103,5
P3		93,5	93,5	94,5	95,0	96,0	96,5	98,0	99,5	101,0	101,5	102,5	103,5									
P4	165	79	79,3	79,6	79,9	80,2	80,5	80,9	81,3	81,7	82,1	82,5	83,35	84,2	85,05	85,9	86,75	87,2	87,65	88,1	88,55	89
P4		79,0	79,5	80,5	80,5	81,0	82,0	83,0	85,0	86,5	87,0	87,5	89,0									
P5	135	59,5	59,87	60,23	60,6	60,97	61,33	61,77	62,2	62,63	63,07	63,5	64,15	64,8	65,45	66,1	66,75	67,2	67,65	68,1	68,55	69
P5		59,5	60,0	61,0	61,5	61,5	63,0	64,0	65,5	66,5	67,0	67,5	69,0									
P6	105	44	44,2	44,4	44,6	44,8	45	45,5	46	46,5	47	47,5	48,25	49	49,75	50,5	51,25	51,6	51,95	52,3	52,65	53
P6		44,0	44,5	45,0	45,0	45,5	47,0	48,0	49,0	51,0	51,5	52,0	53,0									
P7	85	35,5	35,6	35,7	35,8	35,9	36	36,55	37,1	37,65	38,2	38,75	39,45	40,15	40,85	41,55	42,25	42,6	42,95	43,3	43,65	44
P7		35,5	36,0	36,0	36,0	37,0	38,0	39,5	40,5	42,0	42,5	43,0	44,0									
P8	60	45,5	45,8	46,1	46,4	46,7	47	47,35	47,7	48,05	48,4	48,75	49,45	50,15	50,85	51,55	52,25	52,6	52,95	53,3	53,65	54
P8		45,5	46,5	47,0	47,0	47,5	48,5	49,0	50,5	52,0	52,5	53,0	54,0									
P9	45	55	55,6	56,2	56,8	57,4	58	58,35	58,7	59,05	59,4	59,75	60,35	60,95	61,55	62,15	62,75	63,1	63,45	63,8	64,15	64,5
P9		55,0	57,0	58,0	58,0	58,5	59,5	60,0	61,5	62,5	63,0	64,0	64,5									
P10	30	60,5	61,3	62,1	62,9	63,7	64,5	65,1	65,7	66,3	66,9	67,5	68,4	69,3	70,2	71,1	72	72,7	73,4	74,1	74,8	75,5

P10		60,5	63,0	64,5	64,5	65,0	67,0	68,0	68,5	71,5	72,5	74,0	75,5										
P11	20	64	65,2	66,4	67,6	68,8	70	71,2	72,4	73,6	74,8	76	77,65	79,3	80,95	82,6	84,25	85,8	87,35	88,9	90,45	92	
P11		64,0	67,5	70,0	70,0	71,0	74,0	78,0	79,0	83,5	85,0	88,5	92,0										
P12	10	67	68,5	70	71,5	73	74,5	77	79,5	82	84,5	87	89,8	92,6	95,4	98,2	101	103,4	105,8	108,2	110,6	113	
P12		67,0	69,5	73,5	75,0	78,5	83,5	90,5	94,0	99,0	103,0	106,0	113,0										
P13	0	79	84,93	90,87	96,8	102,7	108,7	114,1	119,5	124,9	130,3	135,8	140,1	144,4	148,7	153	157,3	160,9	164,6	168,2	171,9	175,5	
P13		79,0	91,0	102,0	112,0	124,0	134,5	137,0	147,0	154,5	160,0	166,0	175,5										
P14	0	137	138,9	140,8	142,7	144,6	146,5	149,6	152,7	155,8	158,9	162	165,9	169,7	173,6	177,4	181,3	183,9	186,6	189,2	191,9	194,5	
P14		137,0	141,0	144,5	147,5	153,5	159,5	164,5	171,5	178,0	184,5	189,0	194,5										

3ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45									
		0,0	9,1	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0	100,0									
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	131,5	133,9	136,4	138,8	141,2	143,7	146,6	149,6	152,6	155,5	158,5	162,2	165,8	169,5	173,1	176,8	179,7	182,7	185,6	188,6	191,5
P0		131,5	135,5	140,0	145,5	150,5	156,0	161,0	166,5	173,0	180,5	185,5	191,5									
P1	255	127	128,7	130,3	132	133,7	135,3	137,5	139,7	141,9	144,1	146,3	149,1	151,9	154,7	157,5	160,3	162,2	164,2	166,1	168,1	170
P1		127,0	129,5	133,0	136,5	140,0	144,5	148,0	152,0	157,5	163,0	166,5	170,0									
P2	225	105	105,3	105,7	106	106,3	106,7	107,6	108,5	109,4	110,3	111,3	112,4	113,6	114,7	115,9	117	117,7	118,4	119,1	119,8	120,5
P2		105,0	105,5	106,0	107,0	108,5	110,5	112,0	114,0	116,0	118,0	119,0	120,5									
P3	195	94	94,27	94,53	94,8	95,07	95,33	95,82	96,3	96,78	97,27	97,75	98,55	99,35	100,2	101	101,8	102,2	102,7	103,1	103,6	104
P3		94,0	94,0	95,0	95,5	96,5	97,0	98,5	100,0	101,5	102,0	103,0	104,0									
P4	165	78,5	78,8	79,1	79,4	79,7	80	80,4	80,8	81,2	81,6	82	82,85	83,7	84,55	85,4	86,25	86,7	87,15	87,6	88,05	88,5
P4		78,5	79,0	80,0	80,0	80,5	81,5	82,5	84,5	86,0	86,5	87,0	88,5									
P5	135	61	61,37	61,73	62,1	62,47	62,83	63,27	63,7	64,13	64,57	65	65,65	66,3	66,95	67,6	68,25	68,7	69,15	69,6	70,05	70,5
P5		61,0	61,5	62,5	63,0	63,0	64,5	65,5	67,0	68,0	68,5	69,0	70,5									
P6	105	43,5	43,7	43,9	44,1	44,3	44,5	45	45,5	46	46,5	47	47,75	48,5	49,25	50	50,75	51,1	51,45	51,8	52,15	52,5
P6		43,5	44,0	44,5	44,5	45,0	46,5	47,5	48,5	50,5	51,0	51,5	52,5									
P7	85	37	37,1	37,2	37,3	37,4	37,5	37,95	38,4	38,85	39,3	39,75	40,45	41,15	41,85	42,55	43,25	43,7	44,15	44,6	45,05	45,5
P7		37,0	37,5	37,5	37,5	38,5	39,0	40,5	41,5	43,0	43,5	44,5	45,5									
P8	60	45,5	45,87	46,23	46,6	46,97	47,33	47,72	48,1	48,48	48,87	49,25	49,85	50,45	51,05	51,65	52,25	52,6	52,95	53,3	53,65	54

P6	105	45	45,2	45,4	45,6	45,8	46	46,6	47,2	47,8	48,4	49	49,7	50,4	51,1	51,8	52,5	53,1	53,7	54,3	54,9	55,5
P6		45,0	45,5	46,0	46,0	46,5	48,0	49,0	50,0	52,0	52,5	53,0	54,0	55,5								
P7	85	36	36,1	36,2	36,3	36,4	36,5	37,2	37,9	38,6	39,3	40	40,6	41,2	41,8	42,4	43	43,6	44,2	44,8	45,4	46
P7		36,0	36,5	36,5	36,5	37,5	38,5	40,0	41,0	42,5	43,0	43,5	44,5	46,0								
P8	60	46,5	46,8	47,1	47,4	47,7	48	48,4	48,8	49,2	49,6	50	50,7	51,4	52,1	52,8	53,5	53,9	54,3	54,7	55,1	55,5
P8		46,5	47,5	48,0	48,0	48,5	49,5	50,0	51,5	53,0	53,5	54,0	55,0	55,5								
P9	45	55	55,6	56,2	56,8	57,4	58	58,4	58,8	59,2	59,6	60	60,6	61,2	61,8	62,4	63	63,5	64	64,5	65	65,5
P9		55,0	57,0	58,0	58,0	58,5	59,5	60,0	61,5	62,5	63,0	64,0	64,5	65,5								
P10	30	60,5	61,3	62,1	62,9	63,7	64,5	65,2	65,9	66,6	67,3	68	68,9	69,8	70,7	71,6	72,5	73,3	74,1	74,9	75,7	76,5
P10		60,5	63,0	64,5	64,5	65,0	67,0	68,0	68,5	71,5	72,5	74,0	75,5	76,5								
P11	20	64	65,2	66,4	67,6	68,8	70	71,6	73,2	74,8	76,4	78	79,4	80,8	82,2	83,6	85	87,1	89,2	91,3	93,4	95,5
P11		64,0	67,5	70,0	70,0	71,0	74,0	78,0	79,0	83,5	85,0	88,5	92,0	95,5								
P12	10	68	69,6	71,2	72,8	74,4	76	79,1	82,2	85,3	88,4	91,5	94	96,5	99	101,5	104	107,2	110,4	113,6	116,8	120
P12		68,0	70,5	74,5	76,0	79,5	84,5	91,5	95,0	100,0	104,0	107,0	114,0	120,0								
P13	0	79	85	91	97	103	109	111,7	114,4	117,1	119,8	122,5	126,7	130,9	135,1	139,3	143,5	147,8	152,1	156,4	160,7	165
P13		79,0	90,0	102,0	109,0	113,5	117,0	122,5	132,5	139,0	143,5	149,5	155,0	165,0								
P14	0	135	137,9	140,8	143,7	146,6	149,5	152,7	155,9	159,1	162,3	165,5	169,5	173,5	177,5	181,5	185,5	188,8	192,1	195,4	198,7	202
P14		135,0	139,5	144,0	149,5	155,5	160,5	165,5	172,5	179,0	185,5	190,0	195,0	202,0								

5ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	03:30						
		0,0	7,1	14,3	21,4	28,6	35,7	42,9	50,0	57,1	64,3	71,4	78,6	85,7	92,9	100,0						
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	130,5	135,4	140,2	145,1	149,9	154,8	159,7	164,7	169,6	174,6	179,5	183,2	186,8	190,5	194,1	197,8	199,4	201,1	202,7	204,4	206
P0		130,5	134,5	139,0	144,5	149,5	155,0	160,0	165,5	172,0	179,5	184,5	190,5	194,5	201,0	206,0						
P1	255	126	129,4	132,8	136,2	139,6	143	146,8	150,6	154,4	158,2	162	164,8	167,6	170,4	173,2	176	177,4	178,8	180,2	181,6	183
P1		126,0	128,5	132,0	135,5	139,0	143,5	147,0	151,0	156,5	162,0	165,5	169,0	174,0	178,0	183,0						
P2	225	105	106,1	107,1	108,2	109,2	110,3	111,8	113,4	114,9	116,5	118	118,8	119,6	120,4	121,2	122	122,3	122,6	122,9	123,2	123,5
P2		105,0	105,5	106,0	107,0	108,5	110,5	112,0	114,0	116,0	118,0	119,0	120,5	121,5	122,5	123,5						
P3	195	92,5	93,2	93,9	94,6	95,3	96	96,9	97,8	98,7	99,6	100,5	101,2	101,8	102,5	103,1	103,8	104	104,3	104,5	104,8	105
P3		92,5	92,5	93,5	94,0	95,0	95,5	97,0	98,5	100,0	100,5	101,5	102,5	103,5	104,0	105,0						

P4	165	77	77,6	78,2	78,8	79,4	80	81	82	83	84	85	85,7	86,4	87,1	87,8	88,5	88,9	89,3	89,7	90,1	90,5
P4		77,0	77,5	78,5	78,5	79,0	80,0	81,0	83,0	84,5	85,0	85,5	87,0	88,0	89,0	90,5						
P5	135	58,5	59,15	59,8	60,45	61,1	61,75	62,6	63,45	64,3	65,15	66	66,65	67,3	67,95	68,6	69,25	69,7	70,15	70,6	71,05	71,5
P5		58,5	59,0	60,0	60,5	60,5	62,0	63,0	64,5	65,5	66,0	66,5	68,0	69,0	69,5	71,5						
P6	105	43,5	44,05	44,6	45,15	45,7	46,25	47,2	48,15	49,1	50,05	51	51,7	52,4	53,1	53,8	54,5	54,8	55,1	55,4	55,7	56
P6		43,5	44,0	44,5	44,5	45,0	46,5	47,5	48,5	50,5	51,0	51,5	52,5	54,0	55,0	56,0						
P7	85	34,5	35,05	35,6	36,15	36,7	37,25	38,1	38,95	39,8	40,65	41,5	42,15	42,8	43,45	44,1	44,75	44,9	45,05	45,2	45,35	45,5
P7		34,5	35,0	35,0	35,0	36,0	37,0	38,5	39,5	41,0	41,5	42,0	43,0	44,5	45,0	45,5						
P8	60	46	46,55	47,1	47,65	48,2	48,75	49,6	50,45	51,3	52,15	53	53,45	53,9	54,35	54,8	55,25	55,4	55,55	55,7	55,85	56
P8		46,0	47,0	47,5	47,5	48,0	49,0	49,5	51,0	52,5	53,0	53,5	54,5	55,0	55,5	56,0						
P9	45	54,5	55,35	56,2	57,05	57,9	58,75	59,5	60,25	61	61,75	62,5	63,1	63,7	64,3	64,9	65,5	65,8	66,1	66,4	66,7	67
P9		54,5	56,5	57,5	57,5	58,0	59,0	59,5	61,0	62,0	62,5	63,5	64,0	65,0	66,0	67,0						
P10	30	60	61,2	62,4	63,6	64,8	66	67,2	68,4	69,6	70,8	72	72,9	73,8	74,7	75,6	76,5	76,9	77,3	77,7	78,1	78,5
P10		60,0	62,5	64,0	64,0	64,5	66,5	67,5	68,0	71,0	72,0	73,5	75,0	76,0	77,0	78,5						
P11	20	63,5	65,6	67,7	69,8	71,9	74	76,1	78,2	80,3	82,4	84,5	86,95	89,4	91,85	94,3	96,75	97,7	98,65	99,6	100,6	101,5
P11		63,5	67,0	69,5	69,5	70,5	73,5	77,5	78,5	83,0	84,5	88,0	91,5	95,0	98,5	101,5						
P12	10	67	69,55	72,1	74,65	77,2	79,75	82,8	85,85	88,9	91,95	95	98,1	101,2	104,3	107,4	110,5	111,6	112,7	113,8	114,9	116
P12		67,0	69,0	71,5	72,5	75,0	79,0	84,5	87,5	91,5	95,0	98,0	103,5	108,5	112,5	116,0						
P13	0	76,5	85,05	93,6	102,2	110,7	119,3	124	128,8	133,5	138,3	143	147,9	152,8	157,7	162,6	167,5	169,4	171,3	173,2	175,1	177
P13		76,5	87,0	97,5	105,5	114,0	121,5	124,5	133,5	139,0	143,0	149,0	155,5	164,5	170,5	177,0						
P14	0	134	139,1	144,2	149,3	154,4	159,5	164,4	169,3	174,2	179,1	184	187,8	191,5	195,3	199	202,8	204,2	205,7	207,1	208,6	210
P14		134,0	138,0	142,5	148,0	154,0	160,0	165,0	171,0	177,5	184,0	188,5	194,0	200,5	205,0	210,0						

6ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00								
		0,0	8,3	16,7	25,0	33,3	41,6	50,0	58,3	66,7	75,0	83,3	91,6	100,0								
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	131,5	134,3	137,1	139,9	142,7	145,5	148,7	151,9	155,1	158,3	161,5	165,4	169,3	173,2	177,1	181	183,9	186,8	189,7	192,6	195,5
P0		131,5	135,5	140,0	145,5	151,0	156,5	161,5	167,0	173,5	181,0	186,0	191,0	195,5								
P1	255	126,5	128,4	130,3	132,2	134,1	136	138,3	140,6	142,9	145,2	147,5	150,5	153,5	156,5	159,5	162,5	164,9	167,3	169,7	172,1	174,5

P1		126,5	129,0	132,5	136,0	139,5	144,0	147,5	151,5	157,0	162,5	166,0	169,5	174,5								
P2	225	105,5	105,9	106,3	106,7	107,1	107,5	108,4	109,3	110,2	111,1	112	113,2	114,4	115,6	116,8	118	118,7	119,4	120,1	120,8	121,5
P2		105,5	106,0	106,5	107,5	109,0	110,5	112,0	114,0	116,0	118,0	119,0	120,5	121,5								
P3	195	97	97,3	97,6	97,9	98,2	98,5	99,1	99,7	100,3	100,9	101,5	102,2	102,9	103,6	104,3	105	105,6	106,2	106,8	107,4	108
P3		97,0	97,0	98,0	98,5	99,5	100,0	101,5	103,0	104,5	105,0	106,0	107,0	108,0								
P4	165	81	81,3	81,6	81,9	82,2	82,5	83	83,5	84	84,5	85	85,8	86,6	87,4	88,2	89	89,6	90,2	90,8	91,4	92
P4		81,0	81,5	82,5	82,5	83,0	84,0	85,0	87,0	88,5	89,0	89,5	91,0	92,0								
P5	135	61	61,4	61,8	62,2	62,6	63	63,5	64	64,5	65	65,5	66,2	66,9	67,6	68,3	69	69,6	70,2	70,8	71,4	72
P5		61,0	61,5	62,5	63,0	63,0	64,5	65,5	67,0	68,5	69,0	69,5	71,0	72,0								
P6	105	44	44,2	44,4	44,6	44,8	45	45,6	46,2	46,8	47,4	48	48,7	49,4	50,1	50,8	51,5	52,1	52,7	53,3	53,9	54,5
P6		44,0	44,5	45,0	45,0	45,5	47,0	48,0	49,0	51,0	51,5	52,0	53,0	54,5								
P7	85	35	35,1	35,2	35,3	35,4	35,5	36,2	36,9	37,6	38,3	39	39,6	40,2	40,8	41,4	42	42,6	43,2	43,8	44,4	45
P7		35,0	35,5	35,5	35,5	36,5	37,5	39,0	40,0	41,5	42,0	42,5	43,5	45,0								
P8	60	46	46,3	46,6	46,9	47,2	47,5	47,9	48,3	48,7	49,1	49,5	50,2	50,9	51,6	52,3	53	53,4	53,8	54,2	54,6	55
P8		46,0	47,0	47,5	47,5	48,0	49,0	49,5	51,0	52,5	53,0	53,5	54,5	55,0								
P9	45	54	54,6	55,2	55,8	56,4	57	57,4	57,8	58,2	58,6	59	59,6	60,2	60,8	61,4	62	62,5	63	63,5	64	64,5
P9		54,0	56,0	57,0	57,0	57,5	58,5	59,0	60,5	61,5	62,0	63,0	63,5	64,5								
P10	30	60	60,8	61,6	62,4	63,2	64	64,7	65,4	66,1	66,8	67,5	68,4	69,3	70,2	71,1	72	72,8	73,6	74,4	75,2	76
P10		60,0	62,5	64,0	64,0	64,5	66,5	67,5	68,0	71,0	72,0	73,5	75,0	76,0								
P11	20	63	64,2	65,4	66,6	67,8	69	70,6	72,2	73,8	75,4	77	78,4	79,8	81,2	82,6	84	86,1	88,2	90,3	92,4	94,5
P11		63,0	66,5	69,0	69,0	70,0	73,0	77,0	78,0	82,5	84,0	87,5	91,0	94,5								
P12	10	68	69,6	71,2	72,8	74,4	76	79,1	82,2	85,3	88,4	91,5	94	96,5	99	101,5	104	107,2	110,4	113,6	116,8	120
P12		68,0	70,5	74,5	76,0	79,5	84,5	91,5	95,0	100,0	104,0	107,0	114,0	120,0								
P13	0	78,5	83,4	88,3	93,2	98,1	103	105,7	108,4	111,1	113,8	116,5	120,7	124,9	129,1	133,3	137,5	141,8	146,1	150,4	154,7	159
P13		78,5	87,5	96,0	103,0	107,5	111,0	116,5	126,5	133,0	137,5	143,5	149,0	159,0								
P14	0	136	138,8	141,6	144,4	147,2	150	153,4	156,8	160,2	163,6	167	171	175	179	183	187	189,8	192,6	195,4	198,2	201
P14		136,0	140,0	144,5	150,0	156,0	162,0	167,0	174,0	180,5	187,0	191,0	196,0	201,0								

P13	0	79,5	85,4	91,4	97,3	103,2	109,2	114,6	120,0	125,4	130,8	136,3	140,6	144,9	149,2	153,5	157,8	161,4	165,1	168,7	172,4	176,0
P13		79,5	91,5	102,5	112,5	124,5	135,0	137,5	147,5	155,0	160,5	166,5	176,0									
P14	0	136,5	138,5	140,4	142,4	144,4	146,3	149,1	151,8	154,5	157,3	160,0	163,7	167,3	171,0	174,6	178,3	180,9	183,6	186,2	188,9	191,5
P14		136,5	140,5	144,0	147,5	153,0	158,5	161,5	168,5	175,0	181,5	186,0	191,5									

8ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45									
		0,0	9,1	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0	100,0									
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	132,0	134,4	136,9	139,3	141,7	144,2	147,1	150,1	153,1	156,0	159,0	162,7	166,3	170,0	173,6	177,3	180,2	183,2	186,1	189,1	192,0
P0		132,0	136,0	140,5	146,0	151,0	156,5	161,5	167,0	173,5	181,0	186,0	192,0									
P1	255	127,0	128,7	130,3	132,0	133,7	135,3	137,5	139,7	141,9	144,1	146,3	149,1	151,9	154,7	157,5	160,3	162,2	164,2	166,1	168,1	170,0
P1		127,0	129,5	133,0	136,5	140,0	144,5	148,0	152,0	157,5	163,0	166,5	170,0									
P2	225	106,0	106,3	106,7	107,0	107,3	107,7	108,6	109,5	110,4	111,3	112,3	113,4	114,6	115,7	116,9	118,0	118,7	119,4	120,1	120,8	121,5
P2		106,0	106,5	107,0	108,0	109,5	111,5	113,0	115,0	117,0	119,0	120,0	121,5									
P3	195	94,5	94,8	95,0	95,3	95,6	95,8	96,3	96,8	97,3	97,8	98,3	99,1	99,9	100,7	101,5	102,3	102,7	103,2	103,6	104,1	104,5
P3		94,5	94,5	95,5	96,0	97,0	97,5	99,0	100,5	102,0	102,5	103,5	104,5									
P4	165	79,5	79,8	80,1	80,4	80,7	81,0	81,4	81,8	82,2	82,6	83,0	83,9	84,7	85,6	86,4	87,3	87,7	88,2	88,6	89,1	89,5
P4		79,5	80,0	81,0	81,0	81,5	82,5	83,5	85,5	87,0	87,5	88,0	89,5									
P5	135	61,5	61,9	62,2	62,6	63,0	63,3	63,8	64,2	64,6	65,1	65,5	66,2	66,8	67,5	68,1	68,8	69,2	69,7	70,1	70,6	71,0
P5		61,5	62,0	63,0	63,5	63,5	65,0	66,0	67,5	68,5	69,0	69,5	71,0									
P6	105	44,0	44,2	44,4	44,6	44,8	45,0	45,5	46,0	46,5	47,0	47,5	48,3	49,0	49,8	50,5	51,3	51,6	52,0	52,3	52,7	53,0
P6		44,0	44,5	45,0	45,0	45,5	47,0	48,0	49,0	51,0	51,5	52,0	53,0									
P7	85	36,0	36,1	36,2	36,3	36,4	36,5	37,1	37,6	38,2	38,7	39,3	40,0	40,7	41,4	42,1	42,8	43,1	43,5	43,8	44,2	44,5
P7		36,0	36,5	36,5	36,5	37,5	38,5	40,0	41,0	42,5	43,0	43,5	44,5									
P8	60	46,0	46,3	46,6	46,9	47,2	47,5	47,9	48,2	48,6	48,9	49,3	50,0	50,7	51,4	52,1	52,8	53,1	53,5	53,8	54,2	54,5
P8		46,0	47,0	47,5	47,5	48,0	49,0	49,5	51,0	52,5	53,0	53,5	54,5									
P9	45	55,5	56,1	56,7	57,3	57,9	58,5	58,9	59,2	59,6	59,9	60,3	60,9	61,5	62,1	62,7	63,3	63,6	64,0	64,3	64,7	65,0

P6	105	45,5	45,7	45,9	46,1	46,3	46,5	47,1	47,7	48,3	48,9	49,5	50,2	50,9	51,6	52,3	53	53,6	54,2	54,8	55,4	56
P6		45,5	46,0	46,5	46,5	47,0	48,5	49,5	50,5	52,5	53,0	53,5	54,5	56,0								
P7	85	35,5	35,6	35,7	35,8	35,9	36	36,7	37,4	38,1	38,8	39,5	40,1	40,7	41,3	41,9	42,5	43,1	43,7	44,3	44,9	45,5
P7		35,5	36,0	36,0	36,0	37,0	38,0	39,5	40,5	42,0	42,5	43,0	44,0	45,5								
P8	60	46	46,3	46,6	46,9	47,2	47,5	47,9	48,3	48,7	49,1	49,5	50,2	50,9	51,6	52,3	53	53,4	53,8	54,2	54,6	55
P8		46,0	47,0	47,5	47,5	48,0	49,0	49,5	51,0	52,5	53,0	53,5	54,5	55,0								
P9	45	55,5	56,1	56,7	57,3	57,9	58,5	58,9	59,3	59,7	60,1	60,5	61,1	61,7	62,3	62,9	63,5	64	64,5	65	65,5	66
P9		55,5	57,5	58,5	58,5	59,0	60,0	60,5	62,0	63,0	63,5	64,5	65,0	66,0								
P10	30	61	61,8	62,6	63,4	64,2	65	65,7	66,4	67,1	67,8	68,5	69,4	70,3	71,2	72,1	73	73,8	74,6	75,4	76,2	77
P10		61,0	63,5	65,0	65,0	65,5	67,5	68,5	69,0	72,0	73,0	74,5	76,0	77,0								
P11	20	64	65,2	66,4	67,6	68,8	70	71,6	73,2	74,8	76,4	78	79,4	80,8	82,2	83,6	85	87,1	89,2	91,3	93,4	95,5
P11		64,0	67,5	70,0	70,0	71,0	74,0	78,0	79,0	83,5	85,0	88,5	92,0	95,5								
P12	10	69	70,6	72,2	73,8	75,4	77	80,1	83,2	86,3	89,4	92,5	95	97,5	100	102,5	105	108,2	111,4	114,6	117,8	121
P12		69,0	71,5	75,5	77,0	80,5	85,5	92,5	96,0	101,0	105,0	108,0	115,0	121,0								
P13	0	78,5	85	91,5	98	104,5	111	115,7	120,4	125,1	129,8	134,5	138,7	142,9	147,1	151,3	155,5	160	164,5	169	173,5	178
P13		78,5	89,5	101,5	111,0	122,0	131,0	134,5	144,5	151,0	155,5	161,5	171,0	178,0								
P14	0	135,5	138,4	141,3	144,2	147,1	150	153,2	156,4	159,6	162,8	166	170	174	178	182	186	189	192	195	198	201
P14		135,5	140,0	144,5	150,0	156,0	161,0	166,0	173,0	179,5	186,0	190,5	195,5	201,0								

10ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	03:30						
		0,0	7,1	14,3	21,4	28,6	35,7	42,9	50,0	57,1	64,3	71,4	78,6	85,7	92,9	100,0						
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	130,5	134,3	138,1	141,9	145,7	149,5	153,5	157,5	161,5	165,5	169,5	172,95	176,4	179,85	183,3	186,75	188,2	189,65	191,1	192,55	194
P0		130,5	134,5	137,5	141,0	145,0	149,5	154,0	158,0	163,0	169,5	174,5	180,0	184,5	189,0	194,0						
P1	255	125,5	128,8	132,1	135,4	138,7	142	145,2	148,4	151,6	154,8	158	160,55	163,1	165,65	168,2	170,75	171,9	173,05	174,2	175,35	176,5
P1		125,5	128,0	131,5	135,0	138,5	142,0	145,5	148,5	153,0	158,0	161,5	165,0	169,0	172,5	176,5						

P2	225	101,5	102,55	103,6	104,65	105,7	106,75	108,3	109,85	111,4	112,95	114,5	115,3	116,1	116,9	117,7	118,5	118,8	119,1	119,4	119,7	120
P2		101,5	102,0	102,5	103,5	105,0	107,0	108,5	110,5	112,5	114,5	115,5	117,0	118,0	119,0	120,0						
P3	195	105,5	106,2	106,9	107,6	108,3	109	109,9	110,8	111,7	112,6	113,5	114,15	114,8	115,45	116,1	116,75	117	117,25	117,5	117,75	118
P3		105,5	105,5	106,5	107,0	108,0	108,5	110,0	111,5	113,0	113,5	114,5	115,5	116,5	117,0	118,0						
P4	165	77,5	78,1	78,7	79,3	79,9	80,5	81,5	82,5	83,5	84,5	85,5	86,2	86,9	87,6	88,3	89	89,4	89,8	90,2	90,6	91
P4		77,5	78,0	79,0	79,0	79,5	80,5	81,5	83,5	85,0	85,5	86,0	87,5	88,5	89,5	91,0						
P5	135	59	59,65	60,3	60,95	61,6	62,25	63,1	63,95	64,8	65,65	66,5	67,15	67,8	68,45	69,1	69,75	70,2	70,65	71,1	71,55	72
P5		59	59,5	60,5	61,0	61,0	62,5	63,5	65,0	66,0	66,5	67,0	68,5	69,5	70,0	72,0						
P6	105	44,5	45,05	45,6	46,15	46,7	47,25	48,2	49,15	50,1	51,05	52	52,7	53,4	54,1	54,8	55,5	55,8	56,1	56,4	56,7	57
P6		44,5	45,0	45,5	45,5	46,0	47,5	48,5	49,5	51,5	52,0	52,5	53,5	55,0	56,0	57,0						
P7	85	35	35,55	36,1	36,65	37,2	37,75	38,5	39,25	40	40,75	41,5	42,25	43	43,75	44,5	45,25	45,4	45,55	45,7	45,85	46
P7		35	35,5	35,5	36,0	36,5	37,5	39,0	40,0	41,0	41,5	42,0	43,0	45,0	45,5	46,0						
P8	60	47	47,7	48,4	49,1	49,8	50,5	51,3	52,1	52,9	53,7	54,5	54,95	55,4	55,85	56,3	56,75	56,9	57,05	57,2	57,35	57,5
P8		47	48,0	48,5	49,0	49,5	50,5	51,5	53,0	54,0	54,5	55,0	56,0	56,5	57,0	57,5						
P9	45	55,5	56,4	57,3	58,2	59,1	60	60,8	61,6	62,4	63,2	64	64,5	65	65,5	66	66,5	66,7	66,9	67,1	67,3	67,5
P9		55,5	57,5	59,0	59,0	59,5	60,0	60,5	62,0	63,0	64,0	65,0	65,5	66,0	67,0	67,5						
P10	30	61	62,35	63,7	65,05	66,4	67,75	68,8	69,85	70,9	71,95	73	73,95	74,9	75,85	76,8	77,75	78,2	78,65	79,1	79,55	80
P10		61	63,5	65,0	65,5	66,0	68,0	69,5	70,0	72,0	73,0	74,5	76,0	77,0	78,5	80,0						
P11	20	64	66,25	68,5	70,75	73	75,25	77,3	79,35	81,4	83,45	85,5	87,95	90,4	92,85	95,3	97,75	98,6	99,45	100,3	101,15	102
P11		64	67,5	70,5	70,5	72,0	75,0	78,5	79,5	84,0	85,5	88,5	92,0	96,0	99,5	102,0						
P12	10	67,5	70,1	72,7	75,3	77,9	80,5	83,5	86,5	89,5	92,5	95,5	98,6	101,7	104,8	107,9	111	112,1	113,2	114,3	115,4	116,5
P12		67,5	69,5	72,5	73,5	76,0	80,0	85,0	88,0	92,0	95,5	99,0	104,5	109,0	113,0	116,5						
P13	0	77,5	86,05	94,6	103,15	111,7	120,25	125	129,75	134,5	139,25	144	148,7	153,4	158,1	162,8	167,5	169,4	171,3	173,2	175,1	177
P13		77,5	88,5	99,0	107,0	115,0	122,5	125,5	135,5	140,0	144,0	150,0	156,5	165,0	170,0	177,0						
P14	0	135	138,8	142,6	146,4	150,2	154	157,9	161,8	165,7	169,6	173,5	176,95	180,4	183,85	187,3	190,75	192,2	193,65	195,1	196,55	198
P14		135	139,0	142,0	145,5	149,5	154,0	158,5	162,5	167,5	173,5	178,0	183,5	188,5	193,0	198,0						

P9		52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52										
P10	30	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P10		52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52										
P11	20	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P11		52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52										
P12	10	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P12		52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52										
P13	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P13		52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52										
P14	0	102	107,3	112,5	117,8	123,1	128,3	133,9	139,4	144,9	150,5	156	161,6	167,3	172,9	178,6	184,2	189,7	195,1	200,6	206	211,5	
P14		102	113	122	130,5	140	150	158	165,5	176	187	200,5	211,5										

1ª Carreira de Filtração - PÓS 1a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30															
		0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0															
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	159,0	161,8	164,5	167,3	170,0	172,1	174,3	176,4	178,5	180,6	182,8	184,9	187,0	189,3	191,5	193,8	196,0	198,5	201,0	203,5	206,0
P0		159,0	170,0	178,5	187,0	196,0	206,0															
P1	255	155,0	155,4	155,8	156,1	156,5	157,5	158,5	159,5	160,5	161,9	163,3	164,6	166,0	167,9	169,8	171,6	173,5	175,9	178,3	180,6	183,0
P1		155,0	156,5	160,5	166,0	173,5	183,0															
P2	225	142,5	142,8	143,0	143,3	143,5	144,3	145,0	145,8	146,5	147,5	148,5	149,5	150,5	152,3	154,0	155,8	157,5	159,6	161,8	163,9	166,0
P2		142,5	143,5	146,5	150,5	157,5	166,0															
P3	195	126,0	126,0	126,0	126,0	126,0	126,4	126,8	127,1	127,5	127,9	128,3	128,6	129,0	130,1	131,3	132,4	133,5	135,0	136,5	138,0	139,5
P3		126,0	126,0	127,5	129,0	133,5	139,5															
P4	165	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,0	102,6	103,3	103,9	104,5	105,4	106,3	107,1	108,0
P4		102,0	102,0	102,0	102,0	104,5	108,0															
P5	135	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,5	79,8	80,0	80,3	80,5	81,0	81,5	82,0	82,5

P5		79,5	79,5	79,5	79,5	80,5	82,5															
P6	105	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,6	62,8	62,9	63,0
P6		62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	63,0															
P7	85	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P7		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P8	60	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P8		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P9	45	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P9		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P10	30	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P10		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P11	20	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P11		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P12	10	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P12		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P13	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P13		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0															
P14	0	165,0	167,8	170,5	173,3	176,0	178,3	180,5	182,8	185,0	187,1	189,3	191,4	193,5	195,9	198,3	200,6	203,0	205,4	207,8	210,1	212,5
P14		165,0	176,0	185,0	193,5	203,0	212,5															

1ª Carreira de Filtração - PÓS 2a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00																		
		0,0	50,0	100,0																		
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	181,0	182,1	183,2	184,3	185,4	186,5	187,6	188,7	189,8	190,9	192,0	193,1	194,2	195,3	196,4	197,5	198,6	199,7	200,8	201,9	203,0

P11	20	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
P11		52,0	52,0	52,0																			
P12	10	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
P12		52,0	52,0	52,0																			
P13	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
P13		52,0	52,0	52,0																			
P14	0	188,0	189,1	190,2	191,3	192,4	193,5	194,6	195,7	196,8	197,9	199,0	200,2	201,3	202,5	203,6	204,8	205,9	207,1	208,2	209,4	210,5	
P14		188,0	199,0	210,5																			

2ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30									
		0,0	9,1	18,2	27,3	36,4	45,5	54,6	63,7	72,8	81,9	91,0	100,0									
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	98,5	103,7	108,8	114,0	119,2	124,3	129,8	135,3	140,8	146,3	151,8	157,4	163,0	168,6	174,1	179,7	185,0	190,2	195,5	200,7	206,0
P0		98,5	109,5	118,0	126,5	135,5	145,5	154,0	161,0	171,5	182,5	195,0	206,0									
P1	255	95,5	96,9	98,2	99,6	101,0	102,4	104,2	106,0	107,8	109,6	111,4	116,2	121,1	126,0	130,8	135,7	142,0	148,2	154,5	160,7	167,0
P1		95,5	97,5	100,5	103,0	105,5	108,0	112,5	118,0	127,5	138,5	153,0	167,0									
P2	225	85,5	86,1	86,8	87,4	88,1	88,7	89,4	90,0	90,7	91,3	92,0	95,0	98,1	101,1	104,2	107,2	113,3	119,3	125,4	131,4	137,5
P2		85,5	86,5	88,0	89,0	90,0	90,5	92,5	94,5	100,5	109,5	124,0	137,5									
P3	195	81,0	81,1	81,2	81,3	81,4	81,5	81,6	81,6	81,7	81,8	81,9	84,3	86,8	89,2	91,7	94,1	99,5	104,9	110,2	115,6	121,0
P3		81,0	81,0	81,5	81,5	82,0	81,5	82,0	83,5	88,5	96,0	109,0	121,0									
P4	165	71,5	71,6	71,7	71,8	71,9	72,0	72,1	72,1	72,2	72,3	72,4	73,7	75,0	76,3	77,6	78,9	82,9	86,9	90,9	95,0	99,0
P4		71,5	71,5	72,0	72,0	72,5	72,0	72,5	72,5	75,5	80,0	89,5	99,0									
P5	135	64,0	64,1	64,2	64,3	64,4	64,5	64,6	64,6	64,7	64,8	64,9	65,3	65,7	66,1	66,6	67,0	69,2	71,4	73,6	75,8	78,0

P8	60	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P8		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0									
P9	45	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P9		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0									
P10	30	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P10		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0									
P11	20	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P11		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0									
P12	10	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P12		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0									
P13	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P13		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0									
P14	0	104,0	109,3	114,5	119,8	125,1	130,3	135,8	141,2	146,6	152,1	157,5	163,0	168,6	174,2	179,8	185,3	190,4	195,4	200,4	205,5	210,5
P14		104,0	115,0	124,0	132,5	141,5	151,5	159,5	167,0	177,5	188,0	200,5	210,5									

3ª Carreira de Filtração - PÓS 1a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00														
		0,0	16,7	33,3	50,0	66,7	83,3	100,0														
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	155,5	157,6	159,8	161,9	164,0	166,0	168,0	170,0	172,0	173,9	175,8	177,6	179,5	181,5	183,5	185,5	187,5	189,4	191,3	193,1	195,0
P0		155,5	164,0	172,0	179,5	187,5	195,0	204,0														
P1	255	151,5	151,9	152,3	152,6	153,0	154,0	155,0	156,0	157,0	158,5	160,0	161,5	163,0	164,1	165,3	166,4	167,5	169,3	171,0	172,8	174,5
P1		151,5	153,0	157,0	163,0	167,5	174,5	181,5														
P2	225	140,0	140,1	140,3	140,4	140,5	141,1	141,8	142,4	143,0	144,1	145,3	146,4	147,5	148,6	149,8	150,9	152,0	153,6	155,3	156,9	158,5
P2		140,0	140,5	143,0	147,5	152,0	158,5	165,0														
P3	195	123,5	123,5	123,5	123,5	123,5	123,8	124,0	124,3	124,5	125,0	125,5	126,0	126,5	127,0	127,5	128,0	128,5	129,5	130,5	131,5	132,5
P3		123,5	123,5	124,5	126,5	128,5	132,5	137,5														
P4	165	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,6	101,8	101,9	102,0	102,3	102,5	102,8	103,0	103,5	104,0	104,5	105,0

P4		101,5	101,5	101,5	102,0	103,0	105,0	107,5														
P5	135	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,6	78,8	78,9	79,0	79,3	79,5	79,8	80,0
P5		78,5	78,5	78,5	78,5	79,0	80,0	81,0														
P6	105	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0
P6		62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0														
P7	85	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P7		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P8	60	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P8		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P9	45	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P9		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P10	30	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P10		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P11	20	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P11		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P12	10	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P12		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P13	0	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
P13		52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0														
P14	0	161,5	163,6	165,8	167,9	170,0	172,0	174,0	176,0	178,0	179,9	181,8	183,6	185,5	187,5	189,5	191,5	193,5	195,4	197,3	199,1	201,0
P14		161,5	170,0	178,0	185,5	193,5	201,0	210,0														

3ª Carreira de Filtração - PÓS 2a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00																		
		0,0	50,0	100,0																		
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	182,5	183,4	184,2	185,1	185,9	186,8	187,6	188,5	189,3	190,2	191,0	192,3	193,5	194,8	196,0	197,3	198,5	199,8	201,0	202,3	203,5

Nível dos Piezômetros – Fase 2

1ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30									
		0,0	9,1	18,2	27,3	36,4	45,5	54,5	63,6	72,7	81,8	90,9	100,0									
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	90,0	103,4	116,9	130,3	143,7	157,2	166,8	176,5	186,2	195,8	205,5	212,7	219,9	227,1	234,3	241,5	246,2	250,9	255,6	260,3	265,0
P0		90,0	118,0	141,5	162,5	181,0	196,5	208,5	221,0	232,5	244,5	256,0	265,0									
P1	255	87,0	88,9	90,8	92,8	94,7	96,6	100,5	104,4	108,3	112,2	116,1	121,9	127,7	133,5	139,3	145,1	149,5	153,9	158,2	162,6	167,0
P1		87,0	88,5	92,5	98,0	104,0	110,5	118,0	126,5	136,5	148,0	159,0	167,0									
P2	225	79,0	79,5	80,0	80,6	81,1	81,6	83,5	85,3	87,2	89,0	90,9	93,3	95,8	98,3	100,8	103,2	105,9	108,5	111,2	113,8	116,5
P2		79,0	80,0	80,5	82,0	84,0	87,5	92,0	96,0	99,5	104,5	110,5	116,5									
P3	195	72,0	72,4	72,9	73,3	73,8	74,2	75,6	76,9	78,2	79,5	80,9	82,5	84,2	85,8	87,5	89,1	91,1	93,1	95,0	97,0	99,0
P3		72,0	73,0	73,5	74,5	76,0	79,0	81,5	84,0	86,5	90,0	94,5	99,0									
P4	165	64,0	64,4	64,9	65,3	65,8	66,2	67,1	68,0	68,9	69,7	70,6	71,8	72,9	74,1	75,2	76,4	77,6	78,8	80,0	81,3	82,5
P4		64,0	65,0	65,5	66,5	67,5	69,5	71,0	72,0	74,5	77,0	79,5	82,5									
P5	135	57,0	57,4	57,9	58,3	58,8	59,2	59,8	60,3	60,8	61,3	61,9	62,4	63,0	63,6	64,2	64,7	65,2	65,6	66,1	66,5	67,0
P5		57,0	58,0	58,5	59,5	60,0	61,5	62,0	62,5	64,0	65,0	65,5	67,0									
P6	105	48,5	48,9	49,4	49,8	50,3	50,7	51,3	51,8	52,3	52,8	53,4	53,8	54,3	54,8	55,3	55,7	56,2	56,6	57,1	57,5	58,0
P6		48,5	49,5	50,0	51,0	52,0	53,0	53,5	54,0	55,0	56,0	56,5	58,0									
P7	85	37,5	37,9	38,4	38,8	39,3	39,7	40,2	40,6	41,0	41,4	41,9	42,3	42,8	43,3	43,8	44,2	44,7	45,1	45,6	46,0	46,5
P7		37,5	38,5	39,0	40,0	41,0	41,5	42,0	42,5	43,5	44,5	45,0	46,5									
P8	60	48,0	48,5	49,1	49,6	50,2	50,7	51,2	51,6	52,0	52,4	52,9	53,4	54,0	54,6	55,2	55,7	56,5	57,2	58,0	58,7	59,5
P8		48,0	49,0	50,0	51,0	52,0	52,5	53,0	53,5	55,0	56,0	56,5	59,5									
P9	45	55,0	55,9	56,7	57,6	58,5	59,4	60,5	61,7	62,9	64,1	65,2	66,4	67,5	68,6	69,7	70,9	71,9	72,9	73,9	75,0	76,0
P9		55,0	56,0	57,5	60,0	62,5	64,5	65,5	67,0	69,0	71,5	73,0	76,0									
P10	30	63,5	65,3	67,1	68,9	70,7	72,5	74,3	76,2	78,0	79,9	81,7	83,1	84,4	85,7	87,0	88,4	89,5	90,6	91,7	92,9	94,0
P10		63,5	66,0	69,5	73,5	77,0	79,5	82,5	84,5	86,5	89,0	91,0	94,0									
P11	20	68,0	72,5	77,0	81,5	86,0	90,5	97,5	104,6	111,6	118,7	125,7	127,9	130,0	132,2	134,3	136,5	137,5	138,5	139,5	140,5	141,5

P11		68,0	74,5	83,0	93,0	105,0	119,0	128,0	132,5	135,0	137,0	139,5	141,5										
P12	10	73,5	82,7	91,8	101,0	110,2	119,3	131,1	142,9	154,7	166,5	178,3	181,1	183,9	186,8	189,6	192,4	193,3	194,2	195,1	196,1	197,0	
P12		73,5	89,0	105,5	124,0	144,5	167,5	182,0	187,5	190,5	193,0	195,0	197,0										
P13	0	95,0	108,4	121,9	135,3	148,7	162,2	171,8	181,5	191,2	200,8	210,5	217,7	224,9	232,1	239,3	246,5	251,2	255,9	260,6	265,3	270,0	
P13		95,0	123,0	146,5	167,5	186,0	201,5	213,5	226,0	237,5	249,5	261,0	270,0										
P14	0	95,0	108,4	121,9	135,3	148,7	162,2	171,8	181,5	191,2	200,8	210,5	217,7	224,9	232,1	239,3	246,5	251,2	255,9	260,6	265,3	270,0	
P14		95,0	123,0	146,5	167,5	186,0	201,5	213,5	226,0	237,5	249,5	261,0	270,0										

1ª Carreira de Filtração - PÓS 1a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30															
		0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0															
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	204,0	207,4	210,8	214,1	217,5	220,5	223,5	226,5	229,5	232,6	235,8	238,9	242,0	244,9	247,8	250,6	253,5	255,9	258,3	260,6	263,0
P0		204,0	217,5	229,5	242,0	253,5	263,0															
P1	255	147,5	149,3	151,0	152,8	154,5	156,8	159,0	161,3	163,5	166,0	168,5	171,0	173,5	176,5	179,5	182,5	185,5	188,3	191,0	193,8	196,5
P1		147,5	154,5	163,5	173,5	185,5	196,5															
P2	225	104,5	105,9	107,3	108,6	110,0	111,8	113,5	115,3	117,0	118,6	120,3	121,9	123,5	125,6	127,8	129,9	132,0	133,6	135,3	136,9	138,5
P2		104,5	110,0	117,0	123,5	132,0	138,5															
P3	195	90,0	90,5	91,0	91,5	92,0	92,8	93,5	94,3	95,0	95,9	96,8	97,6	98,5	99,5	100,5	101,5	102,5	103,4	104,3	105,1	106,0
P3		90,0	92,0	95,0	98,5	102,5	106,0															
P4	165	80,5	80,8	81,0	81,3	81,5	81,6	81,8	81,9	82,0	82,4	82,8	83,1	83,5	83,8	84,0	84,3	84,5	85,0	85,5	86,0	86,5

2ª Carreira de Filtração - PÓS 1a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30															
		0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0															
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	202,5	205,9	209,3	212,6	216,0	219,0	222,0	225,0	228,0	231,1	234,3	237,4	240,5	243,6	246,8	249,9	253,0	255,5	258,0	260,5	263,0
P0		202,5	216,0	228,0	240,5	253,0	263,0															
P1	255	147,5	149,3	151,0	152,8	154,5	156,8	159,0	161,3	163,5	166,0	168,5	171,0	173,5	176,5	179,5	182,5	185,5	188,3	191,0	193,8	196,5
P1		147,5	154,5	163,5	173,5	185,5	196,5															
P2	225	104,5	105,9	107,3	108,6	110,0	111,8	113,5	115,3	117,0	118,6	120,3	121,9	123,5	125,6	127,8	129,9	132,0	133,6	135,3	136,9	138,5
P2		104,5	110,0	117,0	123,5	132,0	138,5															
P3	195	90,0	90,5	91,0	91,5	92,0	92,8	93,5	94,3	95,0	95,9	96,8	97,6	98,5	99,5	100,5	101,5	102,5	103,4	104,3	105,1	106,0
P3		90,0	92,0	95,0	98,5	102,5	106,0															
P4	165	80,5	80,8	81,0	81,3	81,5	81,6	81,8	81,9	82,0	82,4	82,8	83,1	83,5	83,8	84,0	84,3	84,5	85,0	85,5	86,0	86,5
P4		80,5	81,5	82,0	83,5	84,5	86,5															
P5	135	67,5	67,8	68,0	68,3	68,5	68,6	68,8	68,9	69,0	69,4	69,8	70,1	70,5	70,6	70,8	70,9	71,0	71,4	71,8	72,1	72,5
P5		67,5	68,5	69,0	70,5	71,0	72,5															
P6	105	58,5	58,8	59,0	59,3	59,5	59,6	59,8	59,9	60,0	60,4	60,8	61,1	61,5	61,6	61,8	61,9	62,0	62,4	62,8	63,1	63,5
P6		58,5	59,5	60,0	61,5	62,0	63,5															
P7	85	43,5	43,8	44,0	44,3	44,5	44,6	44,8	44,9	45,0	45,3	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,0	47,4	47,8	48,1	48,5
P7		43,5	44,5	45,0	46,0	47,0	48,5															
P8	60	60,0	60,4	60,8	61,1	61,5	61,8	62,0	62,3	62,5	62,9	63,3	63,6	64,0	64,5	65,0	65,5	66,0	66,4	66,8	67,1	67,5
P8		60,0	61,5	62,5	64,0	66,0	67,5															
P9	45	76,5	77,4	78,3	79,1	80,0	80,1	80,3	80,4	80,5	81,1	81,8	82,4	83,0	83,5	84,0	84,5	85,0	85,4	85,8	86,1	86,5

P2	225	80,0	80,5	81,0	81,6	82,1	82,6	84,5	86,3	88,2	90,0	91,9	94,3	96,8	99,3	101,8	104,2	106,9	109,5	112,2	114,8	117,5
P2		80,0	81,0	81,5	83,0	85,0	88,5	93,0	97,0	100,5	105,5	111,5	117,5									
P3	195	72,5	72,9	73,4	73,8	74,3	74,7	76,1	77,4	78,7	80,0	81,4	83,0	84,7	86,3	88,0	89,6	91,6	93,6	95,5	97,5	99,5
P3		72,5	73,5	74,0	75,0	76,5	79,5	82,0	84,5	87,0	90,5	95,0	99,5									
P4	165	64,5	64,9	65,4	65,8	66,3	66,7	67,6	68,5	69,4	70,2	71,1	72,3	73,4	74,6	75,7	76,9	78,1	79,3	80,5	81,8	83,0
P4		64,5	65,5	66,0	67,0	68,0	70,0	71,5	72,5	75,0	77,5	80,0	83,0									
P5	135	56,5	56,9	57,4	57,8	58,3	58,7	59,3	59,8	60,3	60,8	61,4	61,9	62,5	63,1	63,7	64,2	64,7	65,1	65,6	66,0	66,5
P5		56,5	57,5	58,0	59,0	59,5	61,0	61,5	62,0	63,5	64,5	65,0	66,5									
P6	105	48,5	48,9	49,4	49,8	50,3	50,7	51,3	51,8	52,3	52,8	53,4	53,8	54,3	54,8	55,3	55,7	56,2	56,6	57,1	57,5	58,0
P6		48,5	49,5	50,0	51,0	52,0	53,0	53,5	54,0	55,0	56,0	56,5	58,0									
P7	85	38,0	38,4	38,9	39,3	39,8	40,2	40,7	41,1	41,5	41,9	42,4	42,8	43,3	43,8	44,3	44,7	45,2	45,6	46,1	46,5	47,0
P7		38,0	39,0	39,5	40,5	41,5	42,0	42,5	43,0	44,0	45,0	45,5	47,0									
P8	60	47,5	48,0	48,6	49,1	49,7	50,2	50,7	51,1	51,5	51,9	52,4	52,9	53,5	54,1	54,7	55,2	56,0	56,7	57,5	58,2	59,0
P8		47,5	48,5	49,5	50,5	51,5	52,0	52,5	53,0	54,5	55,5	56,0	59,0									
P9	45	55,0	55,9	56,7	57,6	58,5	59,4	60,5	61,7	62,9	64,1	65,2	66,4	67,5	68,6	69,7	70,9	71,9	72,9	73,9	75,0	76,0
P9		55,0	56,0	57,5	60,0	62,5	64,5	65,5	67,0	69,0	71,5	73,0	76,0									
P10	30	64,0	65,8	67,6	69,4	71,2	73,0	74,8	76,7	78,5	80,4	82,2	83,6	84,9	86,2	87,5	88,9	90,0	91,1	92,2	93,4	94,5
P10		64,0	66,5	70,0	74,0	77,5	80,0	83,0	85,0	87,0	89,5	91,5	94,5									
P11	20	68,5	73,0	77,5	82,0	86,5	91,0	98,0	105,1	112,1	119,2	126,2	128,4	130,5	132,7	134,8	137,0	138,0	139,0	140,0	141,0	142,0

		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	243,5	244,6	245,7	246,8	247,9	249,0	250,1	251,2	252,3	253,4	254,5	255,5	256,5	257,5	258,5	259,5	260,5	261,5	262,5	263,5	264,5
P0		243,5	254,5	264,5																		
P1	255	176,0	177,1	178,2	179,3	180,4	181,5	182,6	183,7	184,8	185,9	181,5	182,5	183,5	184,5	185,5	186,5	187,5	188,5	189,5	190,5	186,5
P1		176,0	181,5	186,5																		
P2	225	126,5	127,6	128,7	129,8	130,9	132,0	133,1	134,2	135,3	136,4	129,0	130,0	131,0	132,0	133,0	134,0	135,0	136,0	137,0	138,0	130,5
P2		126,5	129,0	130,5																		
P3	195	100,5	101,6	102,7	103,8	104,9	106,0	107,1	108,2	109,3	110,4	102,0	103,0	104,0	105,0	106,0	107,0	108,0	109,0	110,0	111,0	102,0
P3		100,5	102,0	102,0																		
P4	165	85,0	85,2	85,3	85,5	85,6	85,8	85,9	86,1	86,2	86,4	86,5	86,6	86,6	86,7	86,7	86,8	86,8	86,9	86,9	87,0	87,0
P4		85,0	86,5	87,0																		
P5	135	71,5	71,7	71,8	72,0	72,1	72,3	72,4	72,6	72,7	72,9	73,0	73,1	73,2	73,3	73,4	73,5	73,6	73,7	73,8	73,9	74,0
P5		71,5	73,0	74,0																		
P6	105	62,5	62,6	62,7	62,8	62,9	63,0	63,1	63,2	63,3	63,4	63,5	63,7	63,8	64,0	64,1	64,3	64,4	64,6	64,7	64,9	65,0
P6		62,5	63,5	65,0																		
P7	85	47,0	47,1	47,2	47,3	47,4	47,5	47,6	47,7	47,8	47,9	48,0	48,2	48,3	48,5	48,6	48,8	48,9	49,1	49,2	49,4	49,5

4ª Carreira de Filtração																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30									
		0,0	9,1	18,2	27,3	36,4	45,5	54,5	63,6	72,7	81,8	90,9	100,0									
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	91,0	104,4	117,9	131,3	144,7	158,2	167,8	177,5	187,2	196,8	206,5	213,7	220,9	228,1	235,3	242,5	246,9	251,3	255,7	260,1	264,5
P0		91,0	119,0	142,5	163,5	182,0	197,5	209,5	222,0	233,5	245,5	257,0	264,5									
P1	255	87,5	89,4	91,3	93,3	95,2	97,1	101,0	104,9	108,8	112,7	116,6	122,4	128,2	134,0	139,8	145,6	150,0	154,4	158,7	163,1	167,5
P1		87,5	89,0	93,0	98,5	104,5	111,0	118,5	127,0	137,0	148,5	159,5	167,5									
P2	225	80,0	80,5	81,0	81,6	82,1	82,6	84,5	86,3	88,2	90,0	91,9	94,3	96,8	99,3	101,8	104,2	106,9	109,5	112,2	114,8	117,5
P2		80,0	81,0	81,5	83,0	85,0	88,5	93,0	97,0	100,5	105,5	111,5	117,5									
P3	195	73,0	73,4	73,9	74,3	74,8	75,2	76,6	77,9	79,2	80,5	81,9	83,5	85,2	86,8	88,5	90,1	92,1	94,1	96,0	98,0	100,0
P3		73,0	74,0	74,5	75,5	77,0	80,0	82,5	85,0	87,5	91,0	95,5	100,0									
P4	165	64,5	64,9	65,4	65,8	66,3	66,7	67,6	68,5	69,4	70,2	71,1	72,3	73,4	74,6	75,7	76,9	78,1	79,3	80,5	81,8	83,0
P4		64,5	65,5	66,0	67,0	68,0	70,0	71,5	72,5	75,0	77,5	80,0	83,0									
P5	135	57,0	57,4	57,9	58,3	58,8	59,2	59,8	60,3	60,8	61,3	61,9	62,4	63,0	63,6	64,2	64,7	65,2	65,6	66,1	66,5	67,0
P5		57,0	58,0	58,5	59,5	60,0	61,5	62,0	62,5	64,0	65,0	65,5	67,0									
P6	105	49,0	49,4	49,9	50,3	50,8	51,2	51,8	52,3	52,8	53,3	53,9	54,3	54,8	55,3	55,8	56,2	56,7	57,1	57,6	58,0	58,5

P6		49,0	50,0	50,5	51,5	52,5	53,5	54,0	54,5	55,5	56,5	57,0	58,5										
P7	85	38,5	38,9	39,4	39,8	40,3	40,7	41,2	41,6	42,0	42,4	42,9	43,3	43,8	44,3	44,8	45,2	45,7	46,1	46,6	47,0	47,5	
P7		38,5	39,5	40,0	41,0	42,0	42,5	43,0	43,5	44,5	45,5	46,0	47,5										
P8	60	48,0	48,5	49,1	49,6	50,2	50,7	51,2	51,6	52,0	52,4	52,9	53,4	54,0	54,6	55,2	55,7	56,5	57,2	58,0	58,7	59,5	
P8		48,0	49,0	50,0	51,0	52,0	52,5	53,0	53,5	55,0	56,0	56,5	59,5										
P9	45	55,5	56,4	57,2	58,1	59,0	59,9	61,0	62,2	63,4	64,6	65,7	66,9	68,0	69,1	70,2	71,4	72,4	73,4	74,4	75,5	76,5	
P9		55,5	56,5	58,0	60,5	63,0	65,0	66,0	67,5	69,5	72,0	73,5	76,5										
P10	30	64,0	65,8	67,6	69,4	71,2	73,0	74,8	76,7	78,5	80,4	82,2	83,6	84,9	86,2	87,5	88,9	90,0	91,1	92,2	93,4	94,5	
P10		64,0	66,5	70,0	74,0	77,5	80,0	83,0	85,0	87,0	89,5	91,5	94,5										
P11	20	69,0	73,5	78,0	82,5	87,0	91,5	98,5	105,6	112,6	119,7	126,7	128,9	131,0	133,2	135,3	137,5	138,5	139,5	140,5	141,5	142,5	
P11		69,0	75,5	84,0	94,0	106,0	120,0	129,0	133,5	136,0	138,0	140,5	142,5										
P12	10	74,5	83,7	92,8	102,0	111,2	120,3	132,1	143,9	155,7	167,5	179,3	182,1	184,9	187,8	190,6	193,4	194,3	195,2	196,1	197,1	198,0	
P12		74,5	90,0	106,5	125,0	145,5	168,5	183,0	188,5	191,5	194,0	196,0	198,0										
P13	0	96,0	109,4	122,9	136,3	149,7	163,2	172,8	182,5	192,2	201,8	211,5	218,7	225,9	233,1	240,3	247,5	252,0	256,5	261,0	265,5	270,0	
P13		96,0	124,0	147,5	168,5	187,0	202,5	214,5	227,0	238,5	250,5	262,0	270,0										
P14	0	96,0	109,4	122,9	136,3	149,7	163,2	172,8	182,5	192,2	201,8	211,5	218,7	225,9	233,1	240,3	247,5	251,9	256,3	260,7	265,1	269,5	
P14		96,0	124,0	147,5	168,5	187,0	202,5	214,5	227,0	238,5	250,5	262,0	269,5										

4ª Carreira de Filtração - PÓS 1a DFI																						
Piezômetro	cm	0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30															
		0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0															
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	203,0	206,4	209,8	213,1	216,5	219,5	222,5	225,5	228,5	231,6	234,8	237,9	241,0	244,1	247,3	250,4	253,5	256,0	258,5	261,0	263,5

P14	0	250,5	251,6	252,7	253,8	254,9	256,0	257,1	258,2	259,3	260,4	261,5	262,5	263,5	264,5	265,5	266,5	267,5	268,5	269,5	270,5	271,5
P14		250,5	261,5	271,5																		

5ª Carreira de Filtração - PÓS 3a DFI			
Piezômetro	cm	0:00	0:15
		0,0	100,0
P0	285	251,0	262,0
P0		251,0	262,0
P1	255	177,5	183,0
P1		177,5	183,0
P2	225	128,0	130,5
P2		128,0	130,5
P3	195	102,0	103,5
P3		102,0	103,5
P4	165	86,5	88,0
P4		86,5	88,0
P5	135	73,0	74,5
P5		73,0	74,5
P6	105	64,0	65,0
P6		64,0	65,0
P7	85	48,5	49,5
P7		48,5	49,5
P8	60	68,5	69,5
P8		68,5	69,5
P9	45	88,0	89,0
P9		88,0	89,0
P10	30	106,0	107,0
P10		106,0	107,0

		0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	100,0															
		0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0	70,0	75,0	80,0	85,0	90,0	95,0	100,0
P0	285	204,0	207,0	210,0	213,0	216,0	219,0	222,0	225,0	228,0	231,1	234,3	237,4	240,5	243,4	246,3	249,1	252,0	254,5	257,0	259,5	262,0
P0		204,0	216,0	228,0	240,5	252,0	262,0															
P1	255	148,5	150,3	152,0	153,8	155,5	157,8	160,0	162,3	164,5	167,0	169,5	172,0	174,5	177,5	180,5	183,5	186,5	189,3	192,0	194,8	197,5
P1		148,5	155,5	164,5	174,5	186,5	197,5															
P2	225	105,5	106,9	108,3	109,6	111,0	112,8	114,5	116,3	118,0	119,6	121,3	122,9	124,5	126,6	128,8	130,9	133,0	134,6	136,3	137,9	139,5
P2		105,5	111,0	118,0	124,5	133,0	139,5															
P3	195	91,0	91,5	92,0	92,5	93,0	93,8	94,5	95,3	96,0	96,9	97,8	98,6	99,5	100,5	101,5	102,5	103,5	104,4	105,3	106,1	107,0
P3		91,0	93,0	96,0	99,5	103,5	107,0															
P4	165	81,0	81,4	81,8	82,1	82,5	82,6	82,8	82,9	83,0	83,4	83,8	84,1	84,5	84,8	85,0	85,3	85,5	86,0	86,5	87,0	87,5

P9	45	85,0	85,3	85,5	85,8	86,0	86,3	86,5	86,8	87,0	87,3	87,5	87,8	88,0	88,3	88,5	88,8	89,0	89,3	89,5	89,8	90,0
P9		85,0	87,5	90,0																		
P10	30	103,5	103,8	104,0	104,3	104,5	104,8	105,0	105,3	105,5	105,8	106,0	106,2	106,4	106,6	106,8	107,0	107,2	107,4	107,6	107,8	108,0
P10		103,5	106,0	108,0																		
P11	20	149,0	149,2	149,4	149,6	149,8	150,0	150,2	150,4	150,6	150,8	151,0	151,3	151,5	151,8	152,0	152,3	152,5	152,8	153,0	153,3	153,5
P11		149,0	151,0	153,5																		
P12	10	205,0	205,2	205,3	205,5	205,6	205,8	205,9	206,1	206,2	206,4	206,5	206,8	207,1	207,4	207,7	208,0	208,3	208,6	208,9	209,2	209,5
P12		205,0	206,5	209,5																		
P13	0	248,5	249,6	250,7	251,8	252,9	254,0	255,1	256,2	257,3	258,4	259,5	260,5	261,5	262,5	263,5	264,5	265,5	266,5	267,5	268,5	269,5
P13		248,5	259,5	269,5																		
P14	0	248,5	249,6	250,7	251,8	252,9	254,0	255,1	256,2	257,3	258,4	259,5	260,5	261,5	262,5	263,5	264,5	265,5	266,5	267,5	268,5	269,5

P14		248,5	259,5	269,5																
-----	--	-------	-------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

6ª Carreira de Filtração - PÓS 3a DFI			
Piezômetro	cm	0:00	0:15
		0,0	100,0
P0	285	252,5	263,5
P0		252,5	263,5
P1	255	176,5	183,0
P1		176,5	183,0
P2	225	127,0	130,5
P2		127,0	130,5
P3	195	101,0	103,5
P3		101,0	103,5
P4	165	86,0	88,0
P4		86,0	88,0
P5	135	73,5	74,5
P5		73,5	74,5
P6	105	64,5	65,0
P6		64,5	65,0
P7	85	49	49,5
P7		49,0	49,5
P8	60	68,0	69,5
P8		68,0	69,5
P9	45	87,5	89,0
P9		87,5	89,0
P10	30	105,5	107,0
P10		105,5	107,0

P11	20	152,0	152,5
P11		152,0	152,5
P12	10	207,5	207,5
P12		207,5	207,5
P13	0	259,0	269,5
P13		259,0	269,5
P14	0	259,0	269,5
P14		259,0	269,5

ANEXO – GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS FILTRANTES

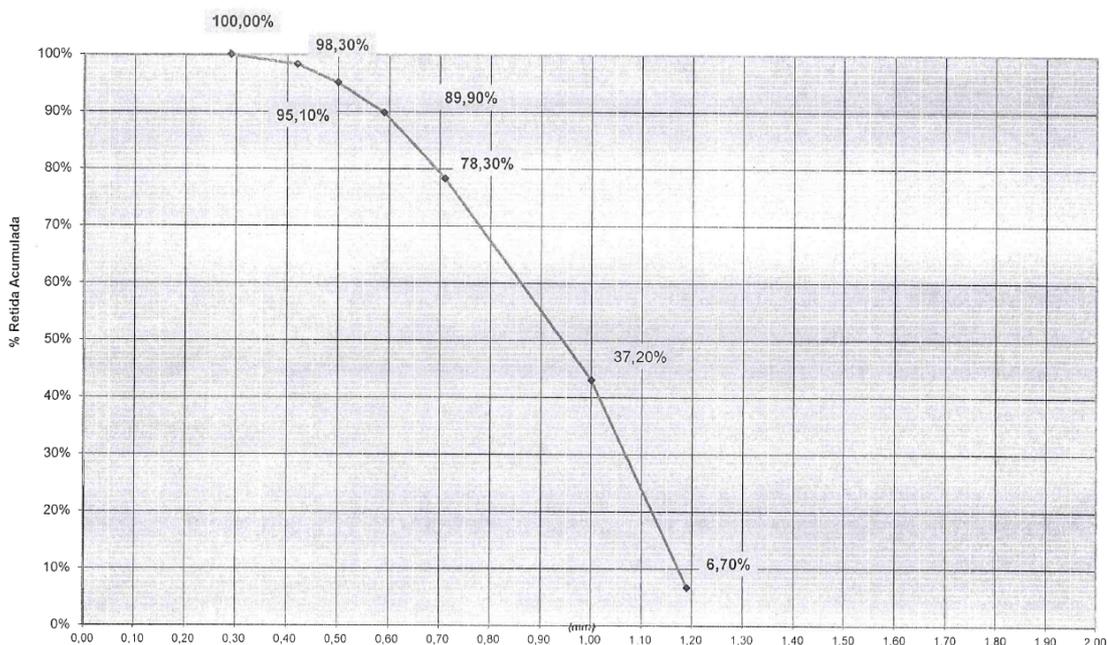
Exames granulométricos dos materiais filtrantes empregados



Laboratório de Análises de Material Filtrante

Solicitante: FAPEU - FUND DE AMP A PESQ E EX UNIVERSIT **Data:** 07/08/2017
Amostra Coletada: AREIA 0,70 A 1,83 MM **Exame Nro.:** 1
Material Referente: AREIA TE 0,60 MM **Lote:**
Danfe:

EXAME GRANULOMÉTRICO



Peneira (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% retida Acumul.
1,19	61,0	6,70%	6,70%
1,00	329,0	36,30%	43,00%
0,71	320,0	35,30%	78,30%
0,59	105,0	11,60%	89,90%
0,50	47,0	5,20%	95,10%
0,42	29,0	3,20%	98,30%
0,29	15,00	1,70%	100,00%
0,00	1,5	0,20%	100,20%
TOTAL	907,5		

90%: 0,58

40%: 1,01

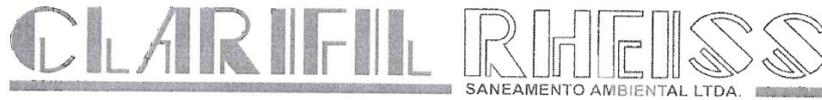
Tamanho Efetivo (TE): 0,58
Coefficiente Uniformidade (CU): 1,74

* Metodologia seguindo Norma ABNT nº11799 /
 EB-2097 (Material filtrante Areia - Seixo e Carvão)

Obs: Peneira 0,00 (é o material não retido)

Análise realizada por:

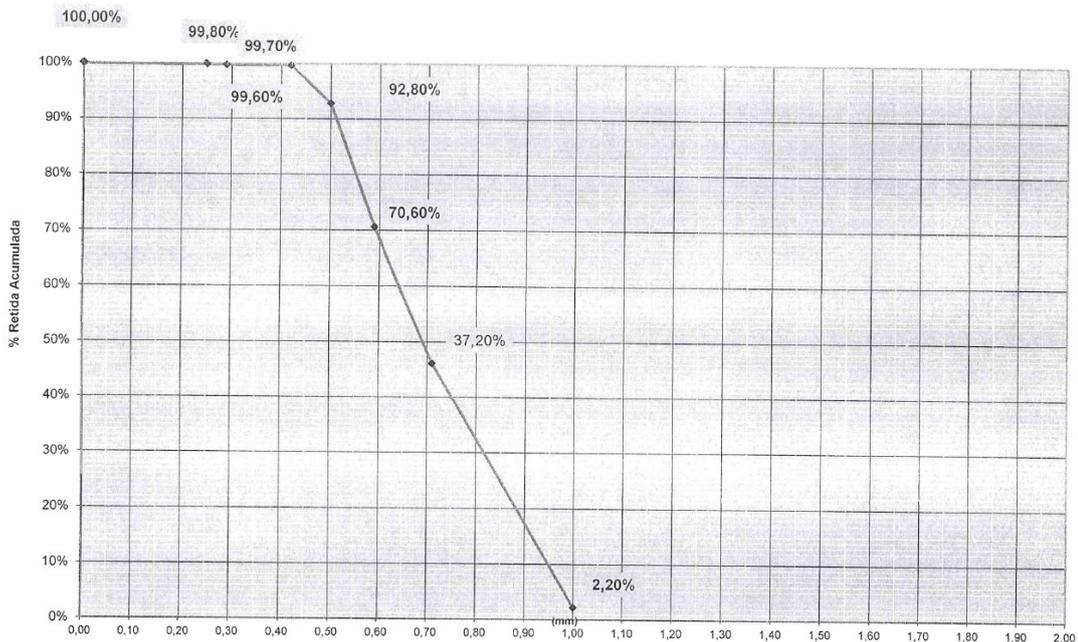
GISLAINE P DA SILVA



Laboratório de Análises de Material Filtrante

Solicitante: FAPEU - FUND DE AMP A PESQ E EX UNIVERSIT **Data:** 07/08/2017
Amostra Coletada: AREIA 0,49 A 0,70 MM **Exame Nro.:** 1
Material Referente: AREIA TE 0,50 MM **Lote:**
Danfe:

EXAME GRANULOMÉTRICO



Peneira (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% retida Acumul.
1,00	32,0	2,20%	2,20%
0,71	650,0	43,90%	46,10%
0,59	363,0	24,50%	70,60%
0,50	328,0	22,20%	92,80%
0,42	100,0	6,80%	99,60%
0,29	2,0	0,10%	99,70%
0,25	1,00	0,10%	99,80%
0,00	3,0	0,20%	100,00%
TOTAL	1.479,0		

90%: 0,51

40%: 0,75

Tamanho Efetivo (TE): 0,51
 Coeficiente Uniformidade (CU): 1,47

* Metodologia seguindo Norma ABNT nº11799 / EB-2097 (Material filtrante Areia - Seixo e Carvão)

Obs: Peneira 0,00 (é o material não retido)

Análise realizada por:

GISLAÍNE R. DA SILVA

CLARIFIL RHEISS

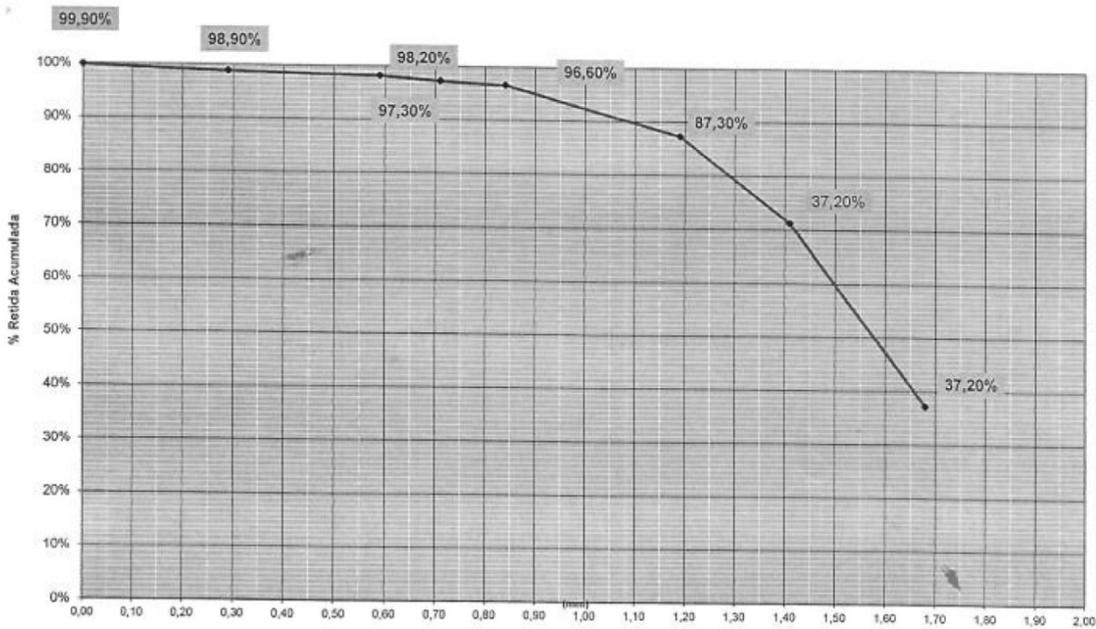
SANEAMENTO AMBIENTAL LTDA.

Laboratório de Análises de Material Filtrante

Solicitante: FAPEU
Amostra Coletada: Carvão Antracitoso Granul. 0,75 A 2,36 mm
Material Referente: Carvão Antracitoso Granul. TE 1,05 mm CU 1,5

Data: 08/08/2017
Exame Nro.: 1

EXAME GRANULOMÉTRICO



Peneira (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% retida Acumul.
1,68	400,0	37,20%	37,20%
1,41	365,0	34,00%	71,20%
1,19	173,0	16,10%	87,30%
0,84	100,0	9,30%	96,60%
0,71	7,0	0,70%	97,30%
0,59	10,0	0,90%	98,20%
0,29	8,00	0,70%	98,90%
0,00	11,0	1,00%	99,90%
TOTAL	1.074,0		

Obs: Peneira 0,00 (é o material não retido)

90%: 1,07

40%: 1,66

Tamanho Efetivo (TE): 1,07
 Coeficiente Uniformidade (CU): 1,55

obs: margem de tolerância de 5%

* Metodologia seguindo Norma ABNT nº11799 / EB2-2097 (Material filtrante Areia- Seixo e Carvão)

Análise realizada por:

Natália Lilian S. Nascimento