

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FABIANA BUTTI ABICHABKI

Eficiência e Produção de Resíduos da Tecnologia de Dupla Filtração em  
Função do Tipo de Filtro Ascendente Utilizado

São Carlos/SP

2012

FABIANA BUTTI ABICHABKI

Eficiência e Produção de Resíduos da Tecnologia de Dupla Filtração em  
Função do Tipo de Filtro Ascendente Utilizado

Trabalho de Graduação apresentado a  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Engenheira  
Ambiental.

Orientadora:  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Lyda Patricia Sabogal Paz

São Carlos/SP

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

A148 Abichabki, Fabiana Butti  
Eficiência e produção de resíduos da tecnologia de  
dupla filtração em função do tipo de filtro ascendente  
utilizado . / Fabiana Butti Abichabki; orientadora Lyda  
Patricia Sabogal Paz. São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --  
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo, 2012.

1. Dupla-filtração. 2. Eficiência. 3. Risco. 4.  
Filtro Ascendente. I. Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO


---

Candidato(a): **Fabiana Butti Abichabki**

Monografia defendida e aprovada em: **17/10/2012** pela Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Lyda Patricia Sabogal Paz**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Marco Antonio Penalva Reali**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

Aos meus pai e mãe, pelo apoio imensurável e amor incomparável; sem os quais nada disso  
teria sido possível.

*“Existiria verdade, verdade que ninguém vê se todos fossem, no mundo, iguais a você.”*

## AGRADECIMENTOS

À Prof. Lyda, por toda a ajuda e paciência no processo de definição e orientação;

A todos os funcionários da EESC/USP que são essenciais para fazer dela uma universidade de ponta;

Aos professores da Engenharia Ambiental, por todo o aprendizado;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de iniciação científica que deu origem a esta monografia;

Ao meu irmão, Youssif, por toda a cumplicidade e conselhos durante os momentos importantes da minha vida, principalmente a graduação;

À República MiMiMi, por terem sido minha família durante os 5 anos e por todas as lembranças de momentos inesquecíveis, sem as quais dificilmente teria conseguido tudo o que consegui;

À Ambiental 08, por esses 10 semestres de alegrias e ajuda mútua;

Às meninas de Campinas, pelo apoio e amizade;

Ao Lucas, por toda a paciência nos momentos de agonia, companheirismo, carinho e amor;

Aos meus avós e orgulhos Lydia, Laércio e Eva, pelo exemplo de vida que são; e

Às famílias Butti e Abichabki, por terem, mesmo que sem querer, dado o apoio fundamental para o início de minha carreira.

“A vida é um eco. Se você não está gostando do que está recebendo, observe o que você está emitindo.”

*Autor desconhecido*

## RESUMO

A presente pesquisa avaliou a tecnologia de tratamento de água por dupla filtração – DF, com vazões de projeto na faixa de 10 a 100L/s, visando definir a eficiência e produção de resíduos da tecnologia em função do filtro ascendente – FA utilizado. O estudo se justifica porque a escolha do FA (ascendente em areia grossa – FAAG ou ascendente em pedregulho – FAP) na DF deve ser obtida após um estudo criterioso, pois existem fatores de projeto e de operação que devem ser avaliados.

A literatura é unânime em afirmar que, na DF, é necessário realizar um anteprojeto com os dois tipos de instalações (FAAG/Filtro rápido descendente – FRD e FAP/FRD) e, em seguida, realizar estudos técnicos comparativos para definir a melhor alternativa a ser implantada. Considerando a inexistência de literatura que facilite a seleção do tipo de filtro ascendente a ser utilizado na tecnologia de DF, o presente projeto de pesquisa analisou a eficiência e produção de resíduos da DF para cada FA, de modo que fosse possível escolher o tipo de pré-filtro a ser usado em pequenos e médios sistemas, desde a perspectiva tecnológica, facilitando o trabalho dos engenheiros projetistas brasileiros. Estimou-se a eficiência das tecnologias de DF (FAAG/FRD e FAP/FRD) e a produção de resíduos, utilizando informações de estações de tratamento de água – ETA existentes, recomendações da literatura e as bases de dados de dissertações e teses, que pesquisaram a DF, desenvolvidas na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP.

A pesquisa permitiu verificar que a DF com FAAG apresenta melhor desempenho na remoção do risco presente no manancial de abastecimento; contudo, gera maior volume de resíduos. Verifica-se, igualmente, que o FRD da DF com FAP precisa ter maior eficiência para gerar água filtrada com características compatíveis à Portaria nº 2914 (2011).

Palavras-chave: dupla-filtração, eficiência, resíduos, filtro ascendente.

## **ABSTRACT**

The present research evaluated the water treatment technology for double filtration - DF, with design flows in the range of 10 to 100L / s, in order to establish the efficiency and waste production of the technology depending on the upward filter - UF used. The study is justified because the choice of UF (Upward Sand Filter - USF or Upward Boulder Filter – UBF) in DF should be obtained after a careful study, because there are factors of design and operation that must be evaluated.

The literature is unanimous in stating that in DF, it is necessary to conduct a draft with both types of facilities (USF / Filter descending fast - FDF and UBF / FDF) and then perform comparative technical studies to determine the best alternative to be deployed. Considering the lack of literature that facilitates the selection of the type of ascending filter to be used in technology DF, this research project examined the efficiency and waste generation from DF for each FA, so that it is possible to choose the type of pre filter to be used in small and medium systems, from the technological perspective, facilitating the work of Brazilian design engineers . The efficiency of technology DF (USF /FDF and UBF / FDF) and waste production were estimated using information from water treatment plants - ETA, existing literature recommendations and databases of theses and dissertations, which investigated DF, developed in the School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo - EESC / USP.

The research showed that the DF with USF had the best perform in removing the risk present in the water supply source, however, generates more waste volume. Also, the FDF of the DF with UBF need to have higher efficiency to generate filtered water features compatible with the Ordinance in 2914 (2011).

Keywords: double-filtration, efficiency, waste, upward filter.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição da Camada Filtrante do Filtro Ascendente de Pedregulho (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008) .....	13
Tabela 2. Características gerais da água bruta.....	15
Tabela 3. Frequência de Lavagem dos Filtros (Sabogal Paz, 2007).....	15
Tabela 4. Volume diário de resíduos gerados (Sabogal Paz, 2007) .....	16
Tabela 5. Pesquisas realizadas na EESC/USP da tecnologia de DF utilizadas no projeto .....	18
Tabela 6. ETA, tipo de tecnologia e parâmetros pesquisados.....	19
Tabela 7. Exemplo de dados de turbidez coletados nas ETA em escala real e piloto para um tipo de sistema de dupla filtração (p. e: FAAG/FRD) .....	21
Tabela 8. Exemplo da estatística descritiva da base de dados para o Sistema FAAG/FRD.....	21
Tabela 9. Exemplo da eficiência calculada nas ETA avaliadas .....	22
Tabela 10. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAAG+FRD) na remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira. ....	29
Tabela 11. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAAG+FRD) na remoção de Escherichia coli, coliformes totais, ferro total e manganês total.....	30
Tabela 12. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAP+FRD) na remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira. ....	31
Tabela 13. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAP+FRD) na remoção de Escherichia coli, coliformes totais, ferro total e manganês total.....	32
Tabela 14. Valores limites encontrados pelo PROSAB (2003), por Di Bernardo & Dantas (2005) e por Sabogal Paz (2007; 2010).....	42
Tabela 15. Características Gerais da Água Bruta a Ser Tratada pela Tecnologia de Dupla Filtração .	43
Tabela 16. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência do filtro ascendente em areia grossa – FAAG da tecnologia de dupla filtração .....	50
Tabela 17. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência do filtro ascendente em pedregulho - FAP da tecnologia de dupla filtração .....	52
Tabela 18. Volume de resíduos gerado na DF em função da oscilação da taxa de descarga de fundo .	61
Tabela 19. Volume de resíduos gerado na DF em função da oscilação da taxa de filtração.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquemas de Instalações de Dupla Filtração .....	4
Figura 2. Fotos Ilustrando Calhas de Coleta de Água de Lavagem e/ou de Água Filtrada (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008) .....	5
Figura 3. Fotos de ETA de Dupla em Resina (Q = 600 L/s) .....	6
Figura 4. Fotos de ETA de Dupla Filtração Construída em Concreto (Q = 11 L/s) (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008).....	6
Figura 5. Fotos de ETA de Dupla Filtração Construída em Concreto (Q = 100L/s) (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008).....	9
Figura 6. Arranjo das unidades na Dupla Filtração (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008) .....	10
Figura 7. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para turbidez que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF com FAP .....	33
Figura 8. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para turbidez que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF com FAAG.....	34
Figura 9. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para cor aparente que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF.....	35
Figura 10. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para turbidez que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF com FAAG, utilizando oxidação. ....	36
Figura 11. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para cor verdadeira que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF.....	37
Figura 12. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para coliformes totais que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF.....	38
Figura 13. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para Escherichia coli que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF.....	39
Figura 14. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para ferro total que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF.....	40
Figura 15. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para manganês total que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF.....	41
Figura 16. Produção de resíduos da DF com FAAG ou FAP em função da adoção de uma taxa inicial de descarga de fundo máxima nos filtros ascendentes.....	55
Figura 17. Produção de resíduos da DF com FAAG ou FAP em função da adoção de uma taxa inicial de descarga de fundo mínima nos filtros ascendentes .....	56
Figura 18. Produção de resíduos na DF com FAAG ou FAP em função do emprego de taxas máximas de filtração nas unidades.....	57

Figura 19. Produção de resíduos na DF com FAAG ou FAP em função do emprego de taxas mínimas de filtração nas unidades.....	58
Figura 20. Massa diária de sólidos (kg/d) gerada na tecnologia de DF.....	59
Figura 21. Produção de resíduos adensados na ETA 5 .....	63

## LISTA DE SIGLAS

CAESB	-Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CASAL	-Companhia de Saneamento de Alagoas
DF	- Dupla Filtração
DFI	- Descarga de Fundo Intermediária
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
ETA	- Estação de Tratamento de Água
ETR	- Estação de Tratamento de Água em Escala Real
FA	- Filtro Ascendente
FAAG	- Filtro Ascendente em Areia Grossa
FAP	- Filtro Ascendente em Pedregulho
FRD	- Filtro Rápido Descendente
PROSAB	- Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SAAE	- Sistema de Água e Esgoto
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
USP	- Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1. Objetivo geral.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	3
3.1 Introdução.....	3
3.2 Descrição da tecnologia .....	3
3.2.1 Funcionamento .....	3
3.2.2 Arranjos das unidades.....	9
3.2.3 Coagulação .....	11
3.2.4 Filtro ascendente.....	11
3.2.5 Filtro rápido descendente - FRD .....	14
3.2.6 Parâmetros de projeto e eficiência.....	14
3.2.7 Geração de resíduos da tecnologia da Dupla Filtração.....	15
3.3 Resíduos em Estações de Tratamento de Água.....	16
4. METODOLOGIA .....	18
4.1. Avaliação da Eficiência da Tecnologia de Dupla Filtração .....	18
4.1.1. Revisão de literatura .....	18
4.1.2. Coleta de dados de ETA em escala real .....	19
4.1.3. Cálculo da eficiência das ETA .....	19
4.1.4. Limitações das ETA .....	22
4.2. Produção de Resíduos das ETA de DF .....	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1 Eficiência da tecnologia .....	28
5.2 Produção de Resíduos na Tecnologia de Dupla Filtração.....	54
5.2.1 Volume de resíduos em função da taxa de descarga do filtro ascendente.....	54
5.2.2 Volume de resíduos em função da taxa de filtração .....	59
5.2.3 Massa de sólidos gerados diariamente na DF.....	60
5.2.4 Produção de resíduos em ETA em escala real.....	63
6. CONCLUSÕES .....	64
7. BIBLIOGRAFIA .....	68
8. APÊNDICES.....	71
APÊNDICE A. Figuras e estatística descritiva dos autores .....	72
APÊNDICE B. Descrição e figuras das eta em escala real .....	121
APÊNDICE C. Exemplo da planilha de cálculo utilizada para quantificar a produção de resíduos da tecnologia de DF .....	135

## **1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA**

A seleção do tipo de pré-filtro (FAAG ou FAP) na Dupla Filtração – DF deve ser analisada com critério, pois existem fatores de projeto e de operação que devem ser considerados. Comparar filtros de areia grossa com filtros em pedregulho significa levantar vantagens e desvantagens de ambos os sistemas. Sendo assim, a escolha do pré-filtro se torna complicada. Por isso, há unanimidade entre autores como Gusmão (2001), Kuroda (2002), Benini (2003), Paula (2003), PROSAB (2003), Di Bernardo (2004), Wiecheteck (2005), Kuroda (2006), Sabogal Paz (2007; 2010) e Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) em afirmar que é necessário realizar um anteprojeto com os dois tipos de instalações (FAAG/FRD e FAP/FRD) e, em seguida, realizar estudos técnicos e econômicos que definam a melhor alternativa. Pela pouca ou inexistente bibliografia para facilitar a seleção do tipo de filtro, a presente pesquisa avaliou a eficiência e a produção de resíduos na tecnologia de DF em função do tipo de filtro ascendente utilizado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a eficiência e a produção de resíduos na tecnologia de dupla filtração em função do tipo de filtro ascendente utilizado.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração
- Estimar a produção de resíduos na DF

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

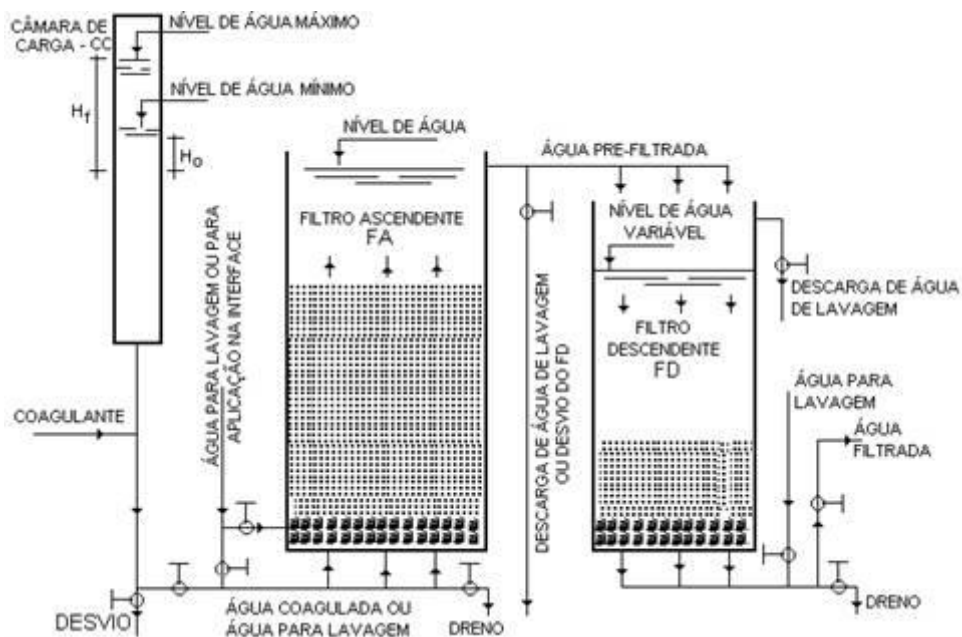
#### **3.1 Introdução**

O tratamento de água constituído de ciclo completo (que inclui: coagulação, floculação, sedimentação ou flotação e filtração) representa a tecnologia mais difundida no Brasil (IBGE, 2010). Porém, em países em desenvolvimento, está ocorrendo a crescente demanda por novas tecnologias que possam substituí-la, tanto pelo seu elevado custo de operação e manutenção, como pela necessidade de mão-de-obra especializada, os quais a tornam mais apropriada para regiões economicamente desenvolvidas (Di Bernardo & Gusmão, 2003; Kuroda et al, 2003). Com isso, destaca-se, entre as tecnologias alternativas, a filtração direta ascendente de água quimicamente coagulada (FDA), que, nas últimas décadas, teve suas limitações superadas e representa, no Brasil, mais de 300 instalações em funcionamento (Di Bernardo & Isaac, 2001). Kuroda et al (2003) cita algumas vantagens da FDA: possibilidade de filtração no sentido do maior para o menor grão, uso de menor quantidade de coagulante e de menor área. Contudo, apesar do exposto, a filtração direta ascendente possui algumas limitações, destacando-se, entre elas, a qualidade microbiológica e físico-química da água bruta, tornando-se necessária a complementação da tecnologia com o tratamento por filtração rápida descendente (FRD), o que representa atualmente a tecnologia da dupla filtração (DF). De acordo com Di Bernardo & Sabogal Paz (2008), a tecnologia da Dupla Filtração se mostrou vantajosa quando a água a ser tratada apresenta valores altos de densidade das algas, cor verdadeira, turbidez e coliformes.

#### **3.2 Descrição da tecnologia**

##### 3.2.1 Funcionamento

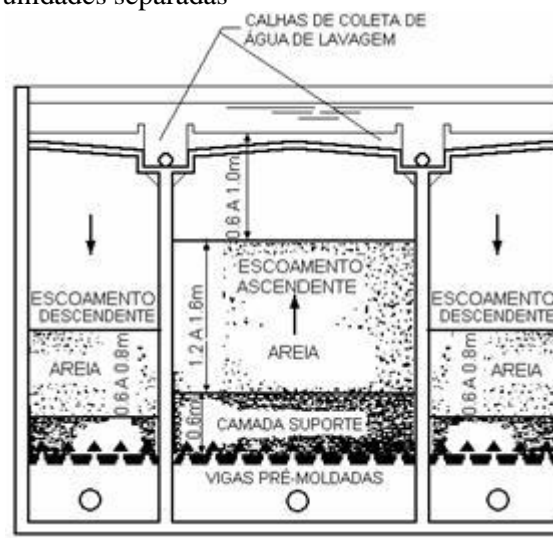
Os dois filtros da dupla filtração, ascendentes e descendentes, podem funcionar conjugados ou separados fisicamente. Na Figura 1 é possível visualizar o funcionamento de um sistema de DF com unidades separadas e conjugadas, operando com taxa constante. Além dos mesmos, o sistema de dupla filtração ainda conta com a câmara de carga, câmara de contato e tubulações.



a) Dupla filtração com unidades separadas



b) Instalação de dupla Filtração



c) Dupla filtração com unidades conjugadas

**Figura 1. Esquemas de Instalações de Dupla Filtração**

O funcionamento da tecnologia é análogo para os dois sistemas (FAP/FRD e FAAG/FRD) e a água bruta chega à câmara de carga, cujo nível de água varia de acordo com a perda de carga devida à retenção de impurezas no meio granular do filtro ascendente, que pode ser constituído de pedregulho (FAP) ou de areia grossa (FAAG). O filtro rápido descendente, por sua vez, tem o meio granular constituído de areia ou antracito e areia (SABOGAL PAZ, 2007).

No filtro ascendente, a tubulação de drenagem possui duas finalidades: a distribuição uniforme da água coagulada e para lavagem, e o descarregamento das impurezas armazenadas

na camada de pedregulho quando são realizadas as descargas de fundo intermediárias (DFIs) ou finais (DFF). Na FAAG a tubulação de água para lavagem possui uma derivação, na qual se aplica água na interface pedregulho-areia fazendo-se uso de uma tubulação perfurada.

A lavagem pode ser feita através do bombeamento de água filtrada vinda de reservatório semienterrado ou elevado. É válido ressaltar que não é necessária a realização da lavagem dos dois filtros da DF simultaneamente (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

A água filtrada no filtro ascendente – FA é coletada em calhas coletoras situadas pouco acima do topo da camada do meio granular; no FAP, esse valor está entre 0,3m e 0,6m, e no FAAG, entre 0,4m e 1,0m. A coleta de água de lavagem dos filtros ascendentes pode ser realizada nas mesmas calhas utilizadas para coleta de água filtrada (Figura 2a). Existe também a opção de duas calhas, uma para coleta de água de lavagem e outra para coleta de água filtrada (Figura 2b), por sua vez, essa opção é raramente utilizada quando se tem Dupla Filtração.



a) calha de coleta de água de lavagem e de água filtrada



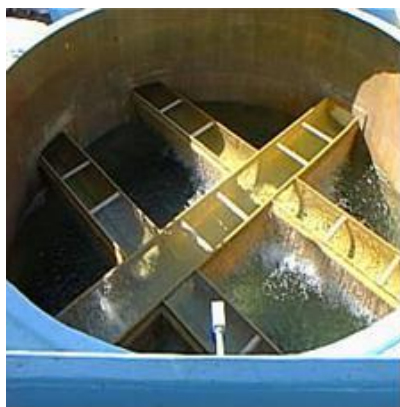
b) calhas separadas para coleta de água filtrada (abaixo) e de água de lavagem dos filtros (acima)

**Figura 2. Fotos Ilustrando Calhas de Coleta de Água de Lavagem e/ou de Água Filtrada (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008)**

A próxima etapa é o encaminhamento da água para o filtro descendente e, depois, para a câmara de contato (local em que recebe os produtos químicos finais). Algumas estações de tratamento que utilizam a dupla filtração são ilustradas a seguir, nas Figuras 3 e 4.



Filtro ascendente



Filtro descendente



Saídas dos filtros descendentes

**Figura 3. Fotos de ETA de Dupla Filtração em Resina ( $Q = 600 \text{ L/s}$ )**



Vista geral da ETA



Câmara de carga



Filtros ascendente e descendente



Tubulações e válvulas dos filtros

**Figura 4. Fotos de ETA de Dupla Filtração Construída em Concreto ( $Q = 11 \text{ L/s}$ ) (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008)**



Vista geral da ETA construída em resina



Câmaras de carga única



Interligação entre o filtro ascendente e o descendente



Filtros ascendente e descendente



Saídas dos filtros descendentes

**Figura 4a. Fotos de ETA de Dupla Filtração Construída em Resina ( $Q = 50 \text{ L/s}$ ) (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008)**



Vista geral da ETA



Câmara de carga



Filtro ascendente de pedregulho



Efluente do FAP



Interligação entre os filtros ascendente e descendente



Filtro descendente, reservatório de água tratada (à direita) e tanque de recepção da água das lavagens dos filtros (à esquerda)

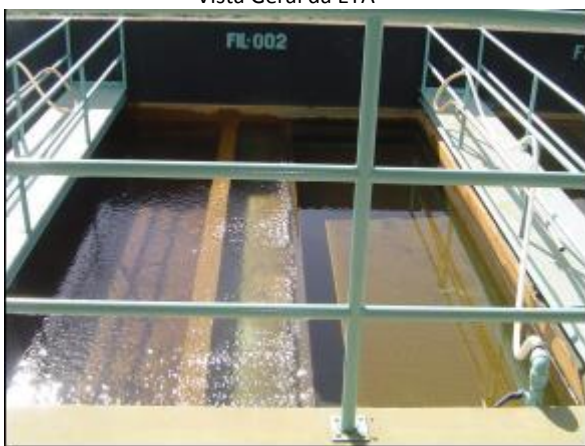
**Figura4b. Fotos de ETA de Dupla Filtração Construída em Chapa Metálica (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008)**



Vista Geral da ETA



Vista geral das unidades de dupla filtração



Unidade de DF (filtro ascendente à esquerda e filtro descendente à direita)

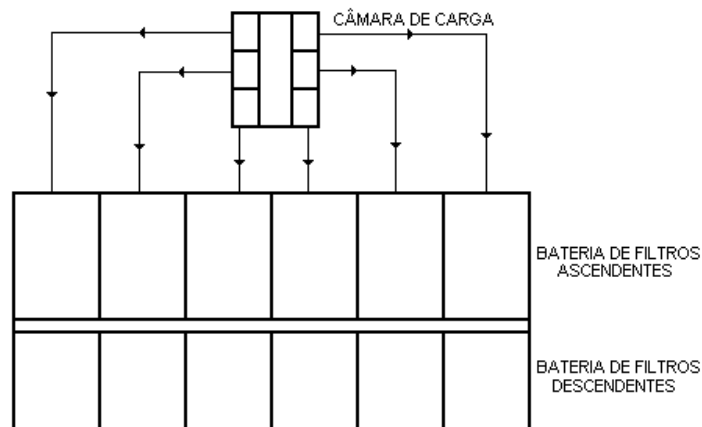


Tubulações e acessórios dos filtros

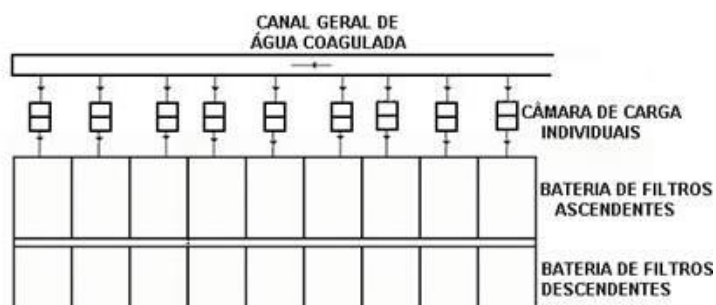
**Figura 5. Fotos de ETA de Dupla Filtração Construída em Concreto ( $Q = 100L/s$ ) (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008)**

### 3.2.2 Arranjos das unidades

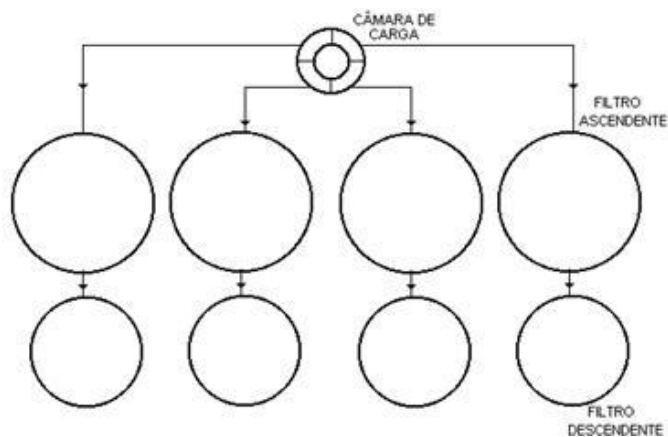
As unidades de DF têm arranjos diferentes de acordo com a capacidade das estações de tratamento de água. As Figuras 6a e 6b mostram os arranjos mais utilizados. De acordo com Di Bernardo & Sabogal Paz (2008) o fim da carreira de filtração do filtro ascendente ou descendente afeta em termos de sobrecarga hidráulica somente os filtros da própria bateria.



- a) Instalação de Dupla filtração com Baterias Independentes de Filtros Ascendentes e Descendentes, Recomendada para ETA de Pequena e de Média Capacidade



- b) Instalação de Dupla filtração com Baterias Independentes de Filtros Ascendentes e Descendentes, Recomendada para Instalações de Grande Capacidade



- c) Instalação com Unidades de Dupla Filtração Independentes, Recomendada para ETA de Pequena e de Média Capacidade

Figura 6. Arranjo das unidades na Dupla Filtração (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008)

Os filtros ascendentes funcionam com taxa constante e os descendentes, com taxa constante ou declinante. Já na Figura 6c, toda unidade será afetada com a paralisação de um dos filtros. Nos três arranjos devem ser executadas descargas de fundo intermediárias nos filtros ascendentes. O número de DFIs depende das características da água afluyente e da perda de carga no meio granular.

A programação das DFIs deve estar relacionada ao desenvolvimento dessa perda de carga e o valor máximo da turbidez e cor aparente no efluente do FA. Porém, para água bruta com valores elevados desses parâmetros, observou-se que a penetração de impurezas ocorre em todo o material granular, possibilitando o transpasse. Sendo assim, é recomendável que a descarga seja realizada em função de valores máximos de turbidez ou cor aparente do efluente do FA. Tomam-se, como esses valores, 10uT para turbidez e 50uH para cor aparente, realizando-se a DFIs no filtro ascendente sempre que um deles for atingido na água filtrada (WIECHETECK, 2005).

### 3.2.3 Coagulação

O coagulante é introduzido na câmara de carga, antes da divisão da vazão. Geralmente, em instalações menores, há uma única câmara de carga e, em instalações maiores, há uma unidade de mistura rápida única e um canal que liga a água coagulada às várias câmaras de carga. O mecanismo de coagulação utilizado na DF é por adsorção-neutralização de cargas. Os ensaios de tratabilidade da água requerem o uso de Jarteste com *kit* de filtros de laboratório.

### 3.2.4 Filtro ascendente

A facilidade da limpeza do meio granular deve ser prioridade no projeto do fundo dos filtros ascendentes. A quantidade de água utilizada para lavagem final, tanto no filtro de areia grossa, como no pedregulho, está sendo reduzida com a crescente utilização de ar, que se mostrou eficiente, apesar de resultar em custos elevados de construção, operação e manutenção. A limpeza do FAAG e FAP se torna eficiente quando há um sistema de drenagem adequado, garantindo que as impurezas sejam majoritariamente removidas com poucas descargas de fundo.

Existem vários tipos de fundos utilizados na dupla filtração. A escolha do mesmo deve facilitar a distribuição de água coagulada e para lavagem, bem como o carregamento de sólidos na descarga de fundo intermediária ou final. As vigas em forma de V invertido, os troncos de pirâmide e as placas providas de orifícios são os mais utilizados (PROSAB, 2003).

#### 3.2.4.1 Filtro ascendente em areia grossa – FAAG

Di Bernardo & Sabogal Paz (2008) enfatizam que nos projetos de filtros com areia grossa como meio filtrante deve-se prever a entrada de água na interface. A camada suporte dos filtros ascendentes de areia grossa deve ser especificada para a distribuição de água na interface, auxílio na distribuição de água para lavagem e para evitar a entrada de areia pelos orifícios da tubulação de água na interface bem como a ocorrência de rupturas na região da mesma. Essas características podem ser confirmadas com a correta escolha do tamanho dos grãos das subcamadas adjacentes.

Para que haja maior capacidade volumétrica na retenção de impurezas, os grãos da areia grossa devem ser maiores do que os comumente utilizados na filtração direta ascendente – FDA e devem possuir as seguintes características: tamanho efetivo de 1,68 a 2,00 mm; espessura da camada de 1,2 a 1,8m; coeficiente de esfericidade de 0,7 a 0,8 e coeficiente de desuniformidade de 1,4 a 1,8 (PROSAB, 2003).

Quanto à lavagem, há a opção de utilizar somente água ou água e ar. Quando a primeira opção é escolhida, podem ser utilizadas duas bombas idênticas em paralelo, operando uma delas para a lavagem do filtro descendente ou aplicação de água na interface durante uma DFI. A vazão aplicada para lavagem deve ser fixada a partir da determinação da velocidade mínima de fluidificação. É mesmo esperado que o valor da velocidade seja maior do que os comumente adotados na tecnologia da FDA, devido à diferença de tamanho dos grãos já explicada. Caso opte-se pela lavagem com água e ar, a velocidade da água para limpeza é da mesma ordem de grandeza do que as utilizadas na lavagem de filtros descendentes (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

PROSAB (2003) citam algumas vantagens e desvantagens da utilização do filtro ascendente com areia grossa em relação ao filtro ascendente em pedregulho. Dentre as vantagens tem-se a melhor qualidade da água pré-filtrada e as taxas maiores com consequentes áreas menores requeridas. Contudo, sobressaltam-se algumas desvantagens, como a maior complexidade da limpeza do FAAG, que exige maior carga hidráulica

disponível, menor duração de carreira e maior geração de resíduos (em virtude dos maiores vazão e tempos de bombeamento).

#### 3.2.4.2 Filtro ascendente em pedregulho – FAP

Nos projetos de filtros com pedregulho não há necessidade de introdução de água na interface quando se realiza descarga de fundo intermediária. Após a descarga de fundo final, dependendo do método de lavagem (ar e água ou somente água), podem ser usadas quatro ou cinco subcamadas de pedregulho, seguindo recomendações sintetizadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Composição da Camada Filtrante do Filtro Ascendente de Pedregulho (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008)**

Subcamada	Espessura (cm)		Tamanho do Pedregulho (mm)	
	Lavagem com Ar e Água	Lavagem com Água Somente	Lavagem com Ar e Água	Lavagem com Água Somente
Fundo	30 a 40 (*)	30 a 40 (*)	25,4 a 38,0 (*)	25,4 a 38,0 (*)
Primeira	15 a 30	15 a 30	12,7 a 19,0	12,7 a 19,0
Segunda	15 a 30	15 a 30	6,4 a 12,7	6,4 a 12,7
Terceira	15 a 30	40 a 70	3,2 a 6,4	3,2 a 6,4
Superior	20 a 40	-	2,0 a 3,2 (**)	-

(\*): depende do tipo de fundo, (\*\*) depende do sistema de lavagem

A lavagem pode ser realizada com descargas de fundo. Deve-se realizar a descarga de fundo com uma velocidade mínima pré-estabelecida, encher o filtro com água limpa e realizar, novamente, uma descarga de fundo. Esse procedimento deve ser repetido até que se observe a qualidade desejada na água descarregada. No FAP também há a possibilidade de lavagem com ar e água simultaneamente.

Apesar de já estarem evidentes as vantagens da FAP quando comparada à FAAG, vale ressaltar a facilidade de limpeza, menor espessura do meio granular, maior duração de carreira, possibilidade de maior concentração de sólidos suspensos totais, turbidez e cor verdadeira na água bruta coagulada afluyente (quando se considera a facilidade de execução de DFIs e limpeza do meio granular). Quanto às desvantagens, é válido ressaltar a necessidade de menor concentração de patogênicos na água bruta, necessidade de maiores áreas (pelas menores taxas) e possibilidade de desprendimento do material retido (causando obstrução rápida do FRD) quando há operação inadequada.

### 3.2.5 Filtro rápido descendente - FRD

Os fundos dos filtros descendentes podem ter vários formatos, como a viga em forma de V invertido, placa e tubulações perfuradas, fundo falso com bocais, blocos distribuidores, entre outros. Assim a escolha do formato e da composição da camada suporte varia de acordo com o sistema de drenagem (PROSAB, 2003).

Estudos visando a remoção de turbidez, cor verdadeira e organismos fitoplanctônicos, como os de Kuroda (2002); Benini (2003); De Paula (2003) e Di Bernardo (2004) comprovaram que não há necessidade do uso de antracito e areia (dupla camada) na filtração descendente.

Pode-se optar pelo uso somente da areia, seguindo as características de tamanho efetivo de 0,4 a 0,45mm; espessura da camada de 0,6 a 0,7mm; coeficiente de esfericidade de 0,7 a 0,85 e coeficiente de desuniformidade de 1,4 a 1,8. Nesse caso, a taxa de filtração não deve ultrapassar 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d. Já quando se opta pela camada dupla, esse valor pode ser de até 400m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d.

O meio filtrante do filtro descendente deve garantir que não haja transpasse e que existam carreiras de filtração com produção efetiva de água de mais de 95%. É importante, portanto, que se realizem estudos em instalação piloto para definição do material filtrante e da taxa a serem adotadas, minimizando os riscos de erro.

Di Bernardo & Sabogal Paz (2008) alertam que, quando há o FAAG, usam-se duas bombas em paralelo para lavagem sendo uma delas para ser usada no FRD. Quando há o FAP, pode ser usada somente uma bomba para encher o FAP, executando as DFs, e para a lavagem do FRD. Independente do meio filtrante do FRD é desejável que haja 30% de expansão da areia quando a lavagem é feita só com água.

### 3.2.6 Parâmetros de projeto e eficiência

Os parâmetros de qualidade da água comumente utilizados para avaliar a eficiência da tecnologia são ferro total, manganês total, turbidez, cor verdadeira, coliformes totais, *Escherichia coli*, sólidos suspensos totais, DBO, carbono orgânico total e densidade de algas, segundo Tabela 2.

**Tabela 2. Características gerais da água bruta**

Tipo de tecnologia	PROSAB (2003)		Di Bernardo & Dantas (2005)		Sabogal Paz e Di Bernardo (2007)
	FAP/FRD	FAAG/FRD	FAP/FRD	FAAG/FRD	FAP/FRD
Ferro Total (mg/L)	Não estabelecido valor máximo				100% ≤ 10; 95% ≤ 5 90% ≤ 2
Manganês Total (mg/L)					100% ≤ 2; 95% ≤ 1; 90% ≤ 0,5
Turbidez (uT)	100% ≤ 200; 95% ≤ 150; 90% ≤ 100	100% ≤ 150; 95% ≤ 100; 90% ≤ 50	100% ≤ 200; 95% ≤ 150; 90% ≤ 100	100% ≤ 150; 95% ≤ 100; 90% ≤ 50	100% ≤ 200; 95% ≤ 150; 90% ≤ 100
Cor Verdadeira (uH)	100% ≤ 100; 95% ≤ 75; 90% ≤ 50	100% ≤ 100; 95% ≤ 75; 90% ≤ 50	100% ≤ 100; 95% ≤ 75; 90% ≤ 50	100% ≤ 100; 95% ≤ 75; 90% ≤ 50	100% ≤ 100 95% ≤ 75 90% ≤ 50
Coliformes totais (NMP/100mL)	≤ 5000	≤ 5000	≤ 5000	≤ 10000	100% ≤ 5000; 95% ≤ 2500; 90% ≤ 1500
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1500	≤ 2500	100% ≤ 1500; 95% ≤ 1000; 90% ≤ 500

### 3.2.7 Geração de resíduos na tecnologia da Dupla Filtração

A geração de resíduos para a tecnologia da DF ainda é um tema novo e pouco estudado. Informações relevantes são encontradas em Sabogal Paz (2007) para sistemas com vazões de projeto entre 10 a 40 L/s, quando somente água é utilizada na lavagem, conforme Tabela 3.

**Tabela 3. Frequência de Lavagem dos Filtros (Sabogal Paz, 2007)**

Tipo de Filtro	Duração da carreira de filtração	Período para DFIs	Tempo de lavagem do filtro e/ou das DFIs
Filtro Ascendente em pedregulho	1 semana	6h, 12h e 24h (em função da turbidez afluente)	5 minutos para lavagem; 2 minutos para DFIs
Filtro rápido descendente	24 horas	Não se aplica	10 minutos para lavagem

A autora avaliou os resíduos gerados nas limpezas dos filtros da DF com FAP, e foram calculados os volumes de resíduo diários gerados, conforme Tabela 4.

**Tabela 4. Volume diário de resíduos gerados (Sabogal Paz, 2007)**

Vazão (L/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	Volume diário de resíduos (m <sup>3</sup> )	Perda diária de água na limpeza (%)
10	864	60,7	7,03
		72,4	8,38
		48,1	5,57
		59,7	6,91
		41,8	4,84
		53,4	6,18
20	1728	121,5	7,03
		144,8	8,38
		96,2	5,57
		119,5	6,92
		83,6	4,84
		106,9	6,19
40	3456	236,1	6,83
		283,2	8,19
		185,2	5,36
		232,4	6,72
		159,8	4,62
		207	5,99

### 3.3 Resíduos em Estações de Tratamento de Água

Os projetos de abastecimento de água trazem benefícios à população; entretanto, durante muito tempo foram desconsiderados eventuais impactos negativos sobre o ambiente. Nada mais natural e desejável é que os projetos de saneamento se submetam à revisão das atividades poluidoras.

Segundo Gandini *et al* (2000), as variáveis que determinam o impacto ambiental nas estações de tratamento de água – ETA são: área construída, volume de construção, requerimentos energéticos, produtos químicos e resíduos gerados no tratamento. A última variável representa sério problema para empresas de saneamento brasileiras, uma vez que no país existem restrições para dispor os resíduos no ambiente, conforme leis federais e variadas leis estaduais.

A crescente preocupação e regulamentação para preservar e recuperar a qualidade do meio ambiente tem imposto a busca de alternativas de tratamento, aproveitamento e disposição dos resíduos das ETA, em aproximadamente 6000 estações existentes no Brasil (IBGE, 2002). Porém ainda há sistemas que vertem seus resíduos nos corpos de água.

Conforme ASCE *et al* (1996), os resíduos gerados nas ETA podem ser divididos em quatro categorias: i) lodos: gerados na descarga dos decantadores, na raspagem de flutuadores, na lavagem de filtros, no abrandamento e na remoção de ferro e manganês da água bruta; ii) concentrado salino: resultante do tratamento de água por técnicas de membrana, osmose reversa, eletrodialise e troca iônica; iii) carvão ativado e resinas de troca iônica desgastadas e

leito filtrante usado e iv) emissões gasosas de unidades de controle de odor ou de técnicas de *air stripping*. Segundo Cornwell *et al* (1987), os lodos gerados na lavagem dos filtros e descarga dos decantadores (ou flutuadores) são os mais representativos nas ETA .

O interesse pelo tratamento, aproveitamento e disposição adequada do resíduo da ETA é assunto relativamente novo no Brasil. Por isso, ainda não há regulamentação que forneça limites na quantidade e na qualidade do lodo utilizado em cada uma das alternativas de aproveitamento e de disposição do resíduo; assim, somente análises de laboratório e/ou escala piloto, podem indicar a melhor técnica.

Os métodos comumente utilizados para tratamento dos lodos consideram: equalização, regularização, condicionamento, adensamento, desaguamento e, em alguns casos, secagem e incineração. O intuito das técnicas é reduzir o volume do resíduo até determinada concentração de sólidos, em função das opções de aproveitamento, de disposição e da possibilidade de novamente empregar a água clarificada no sistema.

Os resíduos das ETA , depois de tratados, podem ser utilizados como: matéria-prima para fabricação de tijolos e blocos cerâmicos, produção de cimento, incorporação do lodo em matriz de concreto, melhoramento de solos agrícolas, recuperação de coagulantes, auxiliar na decantação de água com baixa turbidez e recirculação no sistema. As técnicas de disposição comumente utilizadas são: aterro, estações de tratamento de esgoto – ETE e corpos de água (TSUTYIA *et al.* 2001).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Avaliação da Eficiência da Tecnologia de Dupla Filtração

Os parâmetros de turbidez, cor verdadeira, ferro total, manganês total, coliformes totais e *Escherichia coli* foram avaliados. Destaca-se que não foi possível avaliar mais parâmetros, porque não houve número suficiente de dados que permitissem realizar um estudo estatístico confiável.

As atividades realizadas para orientar a discussão final foram: i) revisão de literatura em livros, revistas, Internet, dissertações e teses; ii) coleta de dados em ETA em escala real (ETR); iii) cálculo do desempenho das ETA; e iv) estabelecimento das limitações das tecnologias (FAAG/FRD e FAP/FRD).

#### 4.1.1. Revisão de literatura

Foram analisadas as dissertações e teses desenvolvidas na EESC/USP associadas à tecnologia de dupla filtração, conforme Tabela 5. A ideia foi estudar a base de dados dessas pesquisas para, posteriormente, realizar a estatística descritiva dos parâmetros pré-fixados.

**Tabela 5. Pesquisas realizadas na EESC/USP da tecnologia de DF utilizadas no projeto**

Autor	Título da pesquisa	Tipo de pesquisa
Gusmão (2001)	Utilização de filtração direta ascendente como pré-tratamento a filtração rápida descendente para tratamento de águas para abastecimento	Doutorado
Kuroda (2002)	Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração.	Mestrado
Paula (2003)	Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando filtração ascendente em areia grossa.	Mestrado
Benini (2003)	Remoção de substâncias húmicas na dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho.	Mestrado
Di Bernardo (2004)	Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada.	Doutorado
Wiecheteck (2005)	Remoção de substâncias húmicas em tratamento de água por meio de pré-oxidação e dupla filtração.	Doutorado
Kuroda (2006)	Remoção de células e subprodutos de <i>microcystis</i> spp. por dupla filtração, oxidação e adsorção.	Doutorado

Os dados de qualidade da água (bruta e filtrada) ajudaram o cálculo da eficiência das tecnologias de DF. Essa análise foi complementada com leitura de livros, revistas e documentos na Internet associados ao tema.

#### 4.1.2. Coleta de dados de ETA em escala real

A atividade foi fundamental para conhecer o desempenho da DF. Os dados de qualidade da água (bruta e tratada) auxiliaram o cálculo da eficiência das tecnologias de DF. Os sistemas avaliados estão na Tabela 6.

**Tabela 6. ETA, tipo de tecnologia e parâmetros pesquisados.**

ETA de DF avaliada	Tecnologia	Parâmetros
ETA 1	FAAG/FRD	Turbidez, <i>Escherichia Coli</i> e Coliformes Totais
ETA 2	FAAG/FRD	Turbidez, Cor Aparente, Ferro Total
ETA 3	FAP/FRD	Turbidez, Cor Aparente, Ferro Total, Manganês Total, Coliformes Totais
ETA 4	FAAG/FRD	Cor Aparente, Ferro Total
ETA 5	FAAG/FRD	Turbidez, Coliformes Totais, Cor Aparente

Para obter os registros de qualidade da água foi necessário entrar em contato com as seguintes empresas de saneamento: Sistema Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos/SP – SAAE, Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL, Secretaria de Saúde da Prefeitura de Cachoeira Dourada/MG e Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB.

#### 4.1.3. Cálculo da eficiência das ETA

O desempenho das estações foi realizado considerando os dados de qualidade de água bruta, filtrada e/ou tratada, obtidos nas dissertações, teses e estações de tratamento de água. A análise, em conjunto, dos dados de ETA em escala piloto e real, foi realizada admitindo-se:

- a) As ETA em escala real e piloto devem apresentar a mesma eficiência na remoção dos parâmetros atingindo, na água tratada ou filtrada, um valor menor ou igual ao máximo permissível da Portaria nº 2914/2011;
- b) Os dados comparados devem corresponder à mesma tecnologia (igual combinação de processos e operações de tratamento);

- c) Pressupõe-se não existir diferença entre a água filtrada (gerada em instalações piloto) e a água tratada (gerada em ETA em escala real) para avaliar a eficiência das tecnologias. Ou seja, os processos finais de desinfecção, ajuste de pH e fluoração na água tratada das ETA em escala real não alterarão consideravelmente as características das variáveis de risco físico-químicas avaliadas;
- d) No cálculo da eficiência, admite-se que a água filtrada poderá apresentar até 100 NMP/100mL de coliformes totais e de *Escherichia coli*, considerando posterior desinfecção eficiente na ETA e inexistência de microrganismos resistentes à desinfecção como protozoários e vírus na água bruta;
- e) Não foi considerado, no cálculo da eficiência das estações, o tempo de residência da água no sistema. Nesse caso, pressupõe-se que o afluente à ETA imediatamente sai dela;
- f) Os dados disponíveis da variável de risco avaliadas devem corresponder, sempre que possível, ao mesmo dia e, aproximadamente, à mesma hora, simultaneamente, na água bruta e na água filtrada e/ou tratada, para um mesmo tipo de ETA (FAAG/FRD ou FAP/FRD);
- g) Os dados devem apresentar os mesmos indicadores e, no possível, deverão ser quantificados pelos mesmos métodos.

As informações que atendam às exigências anteriores foram utilizadas para avaliar a concentração da variável de risco na água bruta afluente ao sistema, gerando água de consumo conforme a Portaria nº 2914/2011, determinando, assim, a eficiência das ETA de DF (FAAG/FRD e FAP/FRD).

No exemplo da Tabela 7, os dados em cinza foram selecionados para avaliar a eficiência da ETA de DF (p.e: FAAG/FRD) na remoção de turbidez, porque o efluente da estação é inferior a 0,5 uT (garantindo as exigências do padrão de potabilidade brasileiro). Analogamente, isso foi feito para todos os outros parâmetros, respeitando o tipo de filtro ascendente.

Ainda no exemplo, os dados selecionados, em cinza, na Tabela 7 foram levados para uma planilha em *Excel*, correspondente a cada tipo de ETA de DF (FAAG/FRD ou FAP/FRD) para cada variável de risco. O intuito foi realizar a estatística descritiva dos dados, determinando o desempenho de cada tecnologia, considerando as frequências de ocorrência da variável em estudo; conforme Tabela 8.

**Tabela 7. Exemplo de dados de turbidez coletados nas ETA em escala real e piloto para um tipo de sistema de dupla filtração (p. e: FAAG/FRD)**

Tecnologia	Dados coletados na revisão de literatura e nas ETA avaliadas	Variável e indicador de risco	Data da coleta da variável de risco		Turbidez Água Bruta (uT)	Turbidez Água filtrada ou tratada (uT)
			Dia / mês/ ano	Hora		
Tecnologia de DF (p.e: FAAG/FRD)	Dissertação A	Variável: Turbidez Indicador: uT Método: Nefelométrico	24/01/2004	12:00	500	2,0
			25/01/2004	12:00	200	1,5
			26/01/2004	13:00	88	0,3
			05/03/2004	20:00	20	0,2
			10/05/2004	08:00	12	0,3
	Tese B		24/11/2000	22:00	700	8,0
			25/11/2000	11:00	600	5,0
			19/12/2000	08:00	70	0,5
			05/01/2001	14:00	25	0,3
			05/01/2001	08:00	32	0,5
			05/01/2001	14:00	250	2,5
			05/01/2001	09:30	11	0,5
			05/01/2001	07:00	10	0,4
	ETA real X		24/01/2003	12:30	800	5,0
			25/02/2003	13:20	400	2,5
			19/03/2003	13:00	50	0,5
			05/04/2003	13:40	25	0,3
			05/05/2003	08:00	32	0,5
			05/06/2003	11:00	130	2,5
			05/07/2003	09:00	15	0,3
		05/08/2003	09:00	20	0,1	

Obs: A, B, X: qualquer dissertação, tese ou ETA real avaliada, respectivamente.

**Tabela 8. Exemplo da estatística descritiva da base de dados para o Sistema FAAG/FRD**

Estatística	Turbidez (uT)	
	Água Bruta	Água Filtrada
Média	27	0,43
Moda	32	0,30
Mediana	24	0,30
Desvio Padrão	20	0,29
Coefficiente de Variação (%)	72	67,28
Mínimo	10	0,10
Frequência de Ocorrência 100 %	88	0,5
Frequência de Ocorrência 95 %	58	0,5
Número de Dados Disponíveis	800	800

No exemplo da Tabela 8 poder-se-ia dizer que de um total de 800 dados de turbidez extraídos da Tabela 7, para a tecnologia de DF (p.e: FAAG/FRD), a estação poderia suportar picos de até 88 uT na água bruta. Porém, seria ideal que o parâmetro fosse inferior a 58 uT em 95% do tempo para garantir eficiência. Essa análise também foi realizada para cada parâmetro fazendo surgir, ao final da compilação de dados, uma tabela como a do exemplo (Tabela 9).

Destaca-se que os resultados gerados foram confrontados com os obtidos em pesquisas associadas ao assunto, para tentar fixar a eficiência das ETA de DF. Evidentemente, cada parâmetro foi amplamente discutido na pesquisa indicando sua influência na eficiência do sistema. A metodologia proposta, recomendada por Sabogal Paz (2007; 2010), permitiu estabelecer as características gerais da água bruta a ser tratada pelas ETA de DF, conforme Tabela 9.

**Tabela 9. Exemplo da eficiência calculada nas ETA avaliadas**

Parâmetros	Tecnologias de Dupla Filtração	
	FAAG/FRD	FAP/FRD
Parâmetro 1 (p.e: Turbidez)	$100\% \leq K; 95\% \leq L$	$100\% \leq A; 95\% \leq B$
Parâmetro 2 (p.e: Cor Verdadeira)	$100\% \leq f; 95\% \leq g$	$100\% \leq p; 95\% \leq q$
Outros parâmetros	De maneira análoga, foi definida a frequência de ocorrência de 100% e 95% dos outros parâmetros	

É importante ressaltar que não foi avaliada a capacidade de analisar as variáveis de risco conjugadas (p.e: águas que apresentem simultaneamente turbidez baixa e a cor verdadeira alta).

#### 4.1.4. Limitações das ETA

Para cada tecnologia de DF foram definidos os valores máximos das variáveis de risco e as restrições de vazão (faixa entre 10 a 100L/s), com o intuito de orientar a seleção das ETA (FAAG/FRD e FAP/FRD).

## **4.2. Produção de Resíduos das ETA de DF**

Para avaliar a produção de resíduos na DF foram consideradas as seguintes atividades: i) revisão de literatura; ii) definição da programação da limpeza das unidades filtrantes utilizando *Excel* segundo procedimentos realizados por Sabogal Paz (2010); e iii) definição das características dos resíduos conforme Tabela 9.

O volume de resíduos gerados foi calculado a partir de uma planilha em Excel, cujo formato pode ser conferido no Apêndice C. Abaixo, encontra-se um algoritmo de como a planilha se desenvolveu.

- Características da ETA

As vazões utilizadas para construção dos gráficos foram de 10L/s, 20L/s, 40L/s, 70L/s e 100L/s. Respectivamente, foram usados 1 FA+ 1 FRD; 2 FA + 2 FD; 2 FA + 2 FD; 3 FA + 3 FD; e 4 FA + 4 FD.

- Características da água bruta

O valor utilizado para água bruta veio do estudo da eficiência da tecnologia, e foram usados os valores de 100% e 95%, seguindo a mesma metodologia.

- Estimativa da concentração de SST na água bruta, coagulada e filtrada

Para estimativa da concentração de sólidos suspensos totais gerados na ETA, fez-se uso da Equação 1, em que  $T_u$  é a turbidez (uT) e  $a$  é o coeficiente a ser determinado.

(1)

De acordo com Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), o valor de  $a$  deve estar entre 0,7 e 2,2 para águas com baixa cor verdadeira, que representa o caso do projeto. Sendo assim, foi adotado o valor médio de 1,45. Já para turbidez, foi adotado que o valor para água coagulada era o mesmo para água bruta. O valor para a água pré-filtrada, de acordo com Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) foi adotado em 10uT. O valor para a água filtrada foi fixado em 0,5uT, de acordo com a Portaria 2914/2011. Dessa forma, é possível estabelecer a concentração de sólidos suspensos nas águas bruta, coagulada e filtrada. Vale ressaltar que para água filtrada foi adotado que essa concentração era zero, levando em conta a dificuldade de quantificar esse valor em água filtrada.

- Características da limpeza das unidades da ETA

- Características da limpeza dos filtros ascendentes

Para calcular a massa de sólidos retidas no filtro ascendente, por unidade de tempo, foi utilizada a 2:

(2)

Em que:

SSTrd: sólidos removidos (kg/d);

SSTac: concentração de sólidos na água coagulada (mg/L ou g/m<sup>3</sup>);

SSTad: concentração de sólidos na água filtrada (mg/L ou g/m<sup>3</sup>); e

Qeta: vazão da ETA (m<sup>3</sup>/d).

- Limpeza do filtro ascendente

A área em planta do filtro foi calculada pela Equação 3:

(3)

Em que:

A: área em planta de um filtro (m<sup>2</sup>);

Qeta: vazão da ETA (m<sup>3</sup>/d);

Tf: taxa de filtração do filtro ascendente (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d).

As taxas de filtração foram estabelecidas de acordo com Di Bernardo e Sabogal Paz (2008). O número de filtros para cada vazão adotada foi o mesmo recomendado por Sabogal Paz (2007; 2010).

A taxa de lavagem dos filtros foi determinada também seguindo recomendação de Di Bernardo e Sabogal Paz (2008). Com esse valor, é possível calcular a vazão de lavagem de um filtro, baseando-se na Equação 4:

(4)

Em que:

Q lav: vazão de lavagem de um filtro (m<sup>3</sup>/s);

Vlav: taxa de lavagem (m/s);

Apf: área em planta de cada filtro.

É válido ressaltar que a lavagem foi feita somente com água para que seja compatível com os recursos locais de pequenas e médias comunidades brasileiras (entre 5000 e 45000 habitantes).

O tempo de lavagem do filtro ascendente seguiu a recomendação do item 5.12.9.1 da NBR 12216/1992, e foi adotado como o mínimo, 15 minutos. Com isso, foi possível calcular o volume de água de lavagem de um filtro, seguindo a Equação 5:

(5)

Em que:

VOLLav: volume de água de lavagem de um filtro ( $m^3$ );

Qlav: vazão de lavagem de um filtro ( $m^3/s$ );

Tlav: tempo de lavagem de um filtro (s).

Por fim, a duração da carreira de filtração foi determinada segundo os resultados obtidos na pesquisa.

- Descarga de fundo

Para calcular o volume de descarga de fundo, foi adotado o valor médio da taxa de descarga dentre o intervalo recomendado por Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).

Com a área em planta de cada filtro já calculada, foi possível estabelecer a vazão de descarga, seguindo Equação 6:

(6)

Em que:

Qd: vazão de descarga ( $m^3/d$ );

Td: taxa de descarga (m/d);

Apf: área em planta de cada filtro ( $m^2$ ).

Ainda segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), as descargas de fundo devem durar entre 10s e 2 minutos. Foi adotado o tempo de 1 minuto. Sendo assim, pode-se calcular o volume de uma descarga com a Equação 7:

(7)

Em que:

VOLD: volume de uma descarga de fundo ( $m^3$ );

Qd: vazão de descarga ( $m^3/d$ );

td: tempo de descarga (d).

Como no FAAG é necessária a aplicação de água na interface simultaneamente à descarga de fundo, o volume encontrado acima também representa o volume utilizado na aplicação de água na interface. Esses volumes são iguais para evitar a formação de um colchão de ar entre o meio filtrante e o pedregulho da camada suporte.

Finalmente, a frequência de realização de DFIs adotada segue recomendação de Di Bernardo (2004).

- Características da limpeza dos filtros descendentes

Para calcular a massa de sólidos retidas no filtro descendente, por unidade de tempo, foi utilizada a Equação 8:

(8)

Em que:

SSTr<sub>fi</sub>: sólidos removidos (kg/d);

SST<sub>ad</sub>: concentração de sólidos na água coagulada (mg/L ou g/m<sup>3</sup>);

SST<sub>af</sub>: concentração de sólidos na água filtrada (mg/L ou g/m<sup>3</sup>); e

Q<sub>eta</sub>: vazão da ETA (m<sup>3</sup>/d).

- Limpeza dos filtros descendentes

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), a taxa de filtração dos filtros descendentes deve estar entre 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia e 300m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia.

A área em planta dos filtros foi calculada segundo Equação 9:

(9)

Em que:

A: área em planta de um filtro (m<sup>2</sup>);

Q<sub>eta</sub>: vazão da ETA (m<sup>3</sup>/d);

T<sub>f</sub>: taxa de filtração do filtro descendente (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d).

O número de filtros foi adotado segundo recomendação de Sabogal Paz (2007). Com isso, o diâmetro do mesmo foi facilmente calculado.

A taxa de lavagem dos filtros foi determinada também seguindo recomendação de Di Bernardo e Sabogal Paz (2008). Com esse valor, é possível calcular a vazão de lavagem de um filtro, baseando-se na Equação 10:

(10)

Em que:

Q lav: vazão de lavagem de um filtro ( $m^3/s$ );

Vlav: taxa de lavagem ( $m/s$ );

Apf: área em planta de cada filtro ( $m^2$ ).

O tempo de lavagem do filtro ascendente segue recomendação do item 5.12.9.1 da NBR 12216/1992, e foi adotado como o mínimo, 10 minutos.

Com isso, foi possível calcular o volume de água de lavagem de um filtro, seguindo a Equação 11:

(11)

Em que:

VOLLav: volume de água de lavagem de um filtro ( $m^3$ );

Qlav: vazão de lavagem de um filtro ( $m^3/s$ );

Tlav: tempo de lavagem de um filtro (s).

Por fim, a duração da carreira de filtração foi determinada segundo os resultados da pesquisa.

- Cálculo da produção de resíduos

Tendo o exposto acima devidamente calculado para cada tipo de filtro e para cada vazão, o volume de resíduos gerado pôde ser calculado.

Para cada vazão, foi calculada a geração de resíduos para cada possível ocorrência diária. Sendo assim, combinou-se a ocorrência de DFI no FA, lavagem no FA e lavagem no FRD, para observar a oscilação na geração de resíduos em cada caso. Somado a isso, variou-se a taxa de descarga e a taxa de filtração de cada filtro.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Eficiência da tecnologia

A eficiência da dupla filtração foi avaliada considerando os sistemas em escala piloto pesquisados por Gusmão (2001), Benini (2003), Paula (2003), Wiechdeck (2005), Kuroda (2002), Kuroda (2006) e Di Bernardo (2004) e as estações de tratamento de água em escala real denominadas ETA 1, ETA 2, ETA 3, ETA 4 e ETA 5.

Destaca-se que a eficiência da tecnologia de dupla filtração depende do processo de coagulação, do desempenho do FAP ou FAAG e do período de amadurecimento do filtro rápido descendente – FRD.

Os Apêndices A e B apresentam os dados processados por autores e por ETA que permitem estimar a eficiência da tecnologia na remoção do parâmetro presente no manancial.

A estatística descritiva que expressa o desempenho da tecnologia de dupla filtração, com alguns parâmetros de projeto e operação dos sistemas pesquisados, está sintetizada nas Tabelas 10 a 13. As Figuras 7 a 15 apresentam a distribuição dos valores dos parâmetros e sua frequência acumulada. As características gerais da água bruta a ser tratada pela tecnologia estão na Tabela 14 segundo indicações de PROSAB (2003), Di Bernardo & Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007; 2010).

A seguir avalia-se, por parâmetro, a eficiência da tecnologia em questão.

#### **Turbidez**

Para atingir um valor máximo de 1,0uT na água filtrada, conforme antiga recomendação da Portaria nº 518 (2004), a tecnologia de dupla filtração teve eficiência de 98,6% utilizando FAAG, com valores entre 1,0 e 372 uT na água bruta; e de 97,4% empregando FAP, com valores na água bruta entre 1,0 e 384 uT, segundo Tabelas 10 e 12.

Atendendo a Portaria nº 2914 (2011), para conseguir valor máximo de 0,5uT na água filtrada, a tecnologia de dupla filtração teve eficiência de 99,1% utilizando FAAG, com valores entre 6,0 e 372 uT na água bruta; e de 98,6% empregando FAP, com valores na água bruta entre 1,0 e 384 uT, conforme Tabelas 10 e 12.

Observa-se que ao reduzir o valor de turbidez na água filtrada para 0,5uT, conforme indicação da Portaria nº 2914 (2011), a eficiência da DF, independente do tipo de filtro ascendente, foi praticamente a mesma, por volta de 99%.

**Tabela 10. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAAG+FRD) na remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira.**

Estatística	Turbidez (uT) - limite 1,0uT			Turbidez (uT) - limite 0,5uT			Cor Aparente (uC)			Cor Verdadeira (uH)			Cor Aparente com oxidação (uC)		
	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R (%)	Água bruta	Água Final	R (%)	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R(%)
Média	48	0,4	98,6	50	0,19	99,1	46	1	95,8	30	1	96,6	114	2	98,6
Moda	13	0,0	(-)	13	0,04	(-)	20	1	(-)	35	1	(-)	107	1	(-)
Desvio Padrão	64	0,3	(-)	75	0,15	(-)	36	1	(-)	9	0	(-)	28	2	(-)
Mediana	24	0,3	(-)	15	0,17	(-)	35	1	(-)	31	1	(-)	108	1	(-)
Coefficiente de Variação (%)	134	80,3	(-)	151	75,55	(-)	77	62	(-)	30	38	(-)	24	120	(-)
Mínimo	1	0,0	(-)	6	0,03	(-)	2	0	(-)	9	0	(-)	73	1	(-)
Frequências de Ocorrência 100 %	372	1,0	(-)	372	0,50	(-)	238	14	(-)	60	2	(-)	184	12	(-)
Frequências de Ocorrência 95 %	170	0,9	(-)	285	0,48	(-)	127	2	(-)	41	1	(-)	156	3	(-)
Frequências de Ocorrência 90 %	91	0,8	(-)	99	0,43	(-)	104	2	(-)	35	1	(-)	153	2	(-)
Frequências de Ocorrência 80 %	64	0,67	(-)	75	0,35	(-)	70	1	(-)	35	1	(-)	144	1	(-)
Frequências de Ocorrência 70 %	47	0,51	(-)	42	0,27	(-)	50	1	(-)	33	1	(-)	128	1	(-)
Frequências de Ocorrência 60 %	39	0,4	(-)	22	0,21	(-)	40	1	(-)	32	1	(-)	115	1	(-)
Frequências de Ocorrência 50 %	24	0,28	(-)	15	0,17	(-)	35	1	(-)	31	1	(-)	108	1	(-)
Frequências de Ocorrência 40 %	16	0,2	(-)	13	0,11	(-)	28	1	(-)	30	1	(-)	105	1	(-)
Frequências de Ocorrência 30 %	13	0,14	(-)	12	0,06	(-)	22	1	(-)	25	1	(-)	97	1	(-)
Frequências de Ocorrência 20%	12	0,06	(-)	10	0,05	(-)	20	1	(-)	23	1	(-)	90	1	(-)
Frequências de Ocorrência 10%	9	0,04	(-)	9	0,04	(-)	16	1	(-)	20	1	(-)	83	1	(-)
Número de Dados	1069	1069	(-)	739	739	(-)	1064	1064	(-)	32	32	(-)	45	45	(-)
Taxa de filtração (m³/m²dia)	Filtro ascendente em areia grossa						120 a 360								
	Filtro rápido descendente						180 a 480								
Tamanho dos grãos (mm)	Filtro ascendente em areia grossa						1,0 a 2,4								
	Filtro rápido descendente						0,3 a 2,00								
Tamanho efetivo (mm)	Filtro ascendente em areia grossa						1,15 a 1,8								
	Filtro rápido descendente						0,43 a 0,85								
Coefficiente de desuniformidade	Filtro ascendente em areia grossa						1,4 a 1,5								
	Filtro rápido descendente						1,5 a 1,7								
Duração da carreira de filtração (horas)	Filtro ascendente em areia grossa						4 a 72								
	Filtro rápido descendente						4 a 36								
Descargas de fundo intermediárias							Com e Sem								
Coagulante utilizado							Sulfato de Alumínio								
Mecanismo de coagulação							Neutralização de cargas								

**Tabela 11. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAAG+FRD) na remoção de *Escherichia coli*, coliformes totais, ferro total e manganês total.**

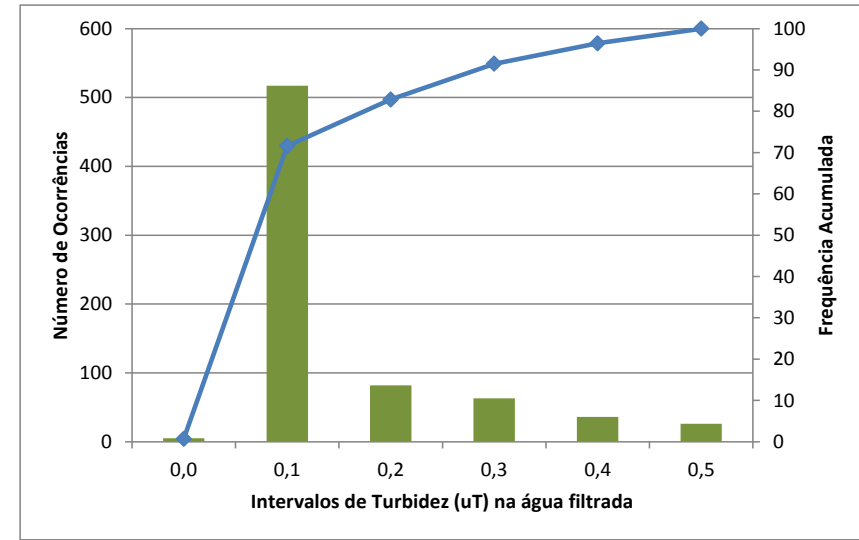
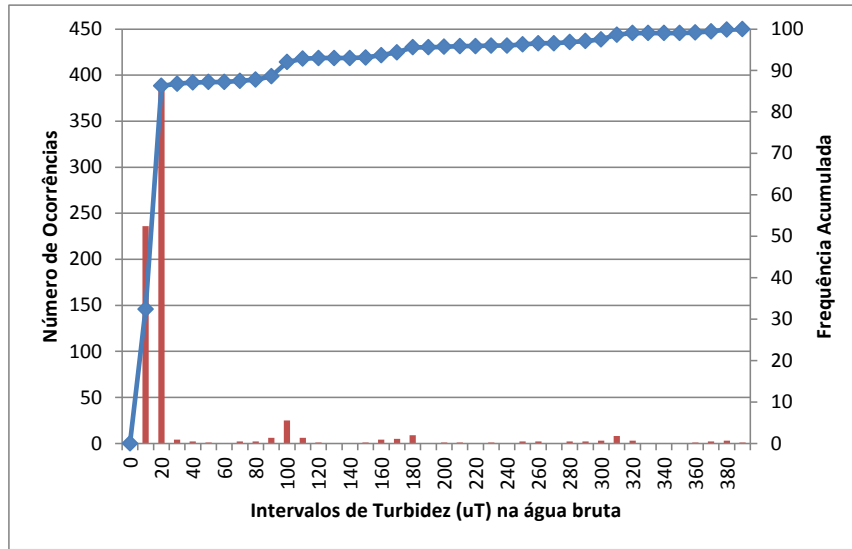
Estatística	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)			Coliformes Totais (NMP/100mL)			Ferro Total (mg/L)			Manganês Total (mg/L)		
	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R (%)	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R(%)
Média	1273	0	97,9	7104	0	99,0	1,03	0,10	73,6	0,037	0,025	36,9
Moda	100	0	(-)	1600	0	(-)	#N/D	0,01	(-)	0,003	0,003	(-)
Desvio Padrão	2172	0	(-)	7142	3	(-)	0,88	0,11	(-)	0,035	0,025	(-)
Mediana	500	0	(-)	5700	0	(-)	0,86	0,07	(-)	0,025	0,015	(-)
Coefficiente de Variação (%)	171	464	(-)	101	1282	(-)	85,39	108,29	(-)	94,545	100,524	(-)
Mínimo	1	0	(-)	1	0	(-)	0,28	0,01	(-)	0,003	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 100 %	27500	2	(-)	54000	57	(-)	3,55	0,30	(-)	0,090	0,060	(-)
Frequências de Ocorrência 95 %	5390	0	(-)	17430	0	(-)	2,39	0,28	(-)	0,090	0,060	(-)
Frequências de Ocorrência 90 %	3980	0	(-)	14900	0	(-)	1,59	0,26	(-)	0,090	0,060	(-)
Frequências de Ocorrência 80 %	1800	0	(-)	10920	0	(-)	1,41	0,20	(-)	0,070	0,052	(-)
Frequências de Ocorrência 70 %	924	0	(-)	9100	0	(-)	1,19	0,15	(-)	0,039	0,038	(-)
Frequências de Ocorrência 60 %	700	0	(-)	7600	0	(-)	0,95	0,13	(-)	0,032	0,024	(-)
Frequências de Ocorrência 50 %	500	0	(-)	5700	0	(-)	0,86	0,07	(-)	0,025	0,015	(-)
Frequências de Ocorrência 40 %	300	0	(-)	4460	0	(-)	0,78	0,01	(-)	0,020	0,009	(-)
Frequências de Ocorrência 30 %	200	0	(-)	2603	0	(-)	0,50	0,01	(-)	0,020	0,004	(-)
Frequências de Ocorrência 20%	175	0	(-)	1560	0	(-)	0,32	0,01	(-)	0,010	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 10%	100	0	(-)	683	0	(-)	0,29	0,01	(-)	0,003	0,003	(-)
Número de Dados	543	543	(-)	635	635	(-)	13	13	(-)	8	8	(-)
Taxa de filtração (m³/m².dia)	Filtro ascendente em areia grossa						120 a 360					
	Filtro rápido descendente						180 a 480					
Tamanho dos grãos (mm)	Filtro ascendente em areia grossa						1,0 a 2,4					
	Filtro rápido descendente						0,3 a 2,00					
Tamanho efetivo (mm)	Filtro ascendente em areia grossa						1,15 a 1,8					
	Filtro rápido descendente						0,43 a 0,85					
Coeficiente de desuniformidade	Filtro ascendente em areia grossa						1,4 a 1,5					
	Filtro rápido descendente						1,5 a 1,7					
Duração da carreira de filtração (horas)	Filtro ascendente em areia grossa						4 a 72					
	Filtro rápido descendente						4 a 36					
Descargas de fundo intermediárias							Com e Sem					
Coagulante utilizado							Sulfato de Alumínio					
Mecanismo de coagulação							Neutralização de cargas					

**Tabela 12. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAP+FRD) na remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira.**

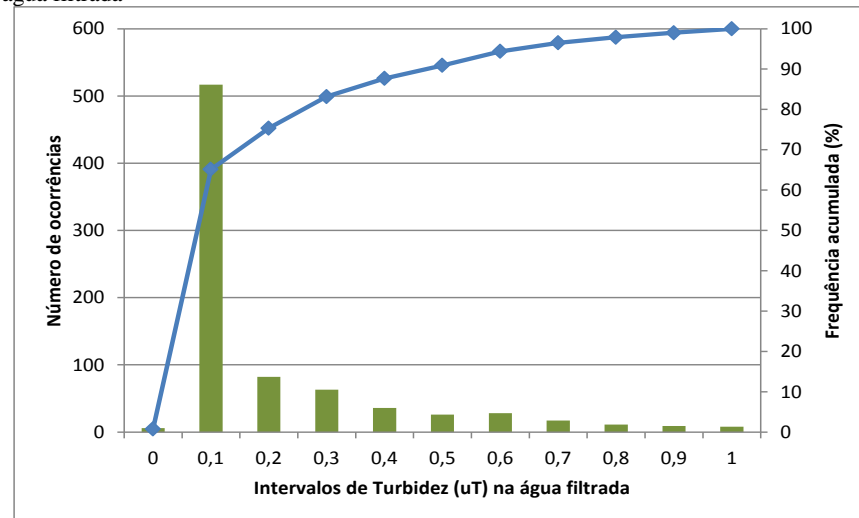
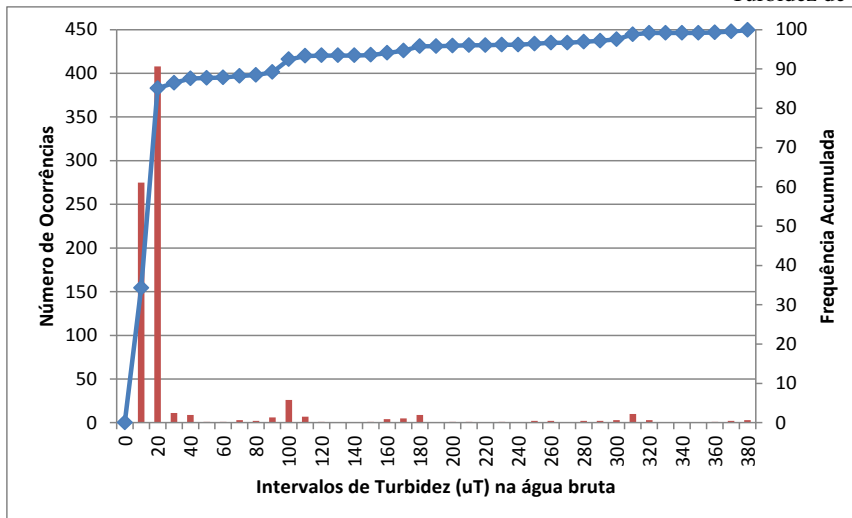
Estatística	Turbidez (uT) - limite 1,0uT			Turbidez (uT) - limite 0,5uT			Cor Aparente (uC)			Cor Verdadeira		
	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R (%)	Água bruta	Água Final	R (%)	Água bruta	Água Final	R(%)
Média	32	0,2	97,4	33	0,1	98,6	129	1	98,8	31	1	96,1
Moda	10	0,0	(-)	10	0,0	(-)	131	1	(-)	35	1	(-)
Desvio Padrão	65	0,2	(-)	66	0,1	(-)	48	1	(-)	8	2	(-)
Mediana	11	0,0	(-)	11	0,0	(-)	126	1	(-)	30	1	(-)
Coefficiente de Variação (%)	204	132,9	(-)	203	112,2	(-)	37	104	(-)	25	141	(-)
Mínimo	1	0,0	(-)	1	0,0	(-)	59	1	(-)	19	0	(-)
Frequências de Ocorrência 100 %	384	1,0	(-)	384	0,5	(-)	407	8	(-)	50	9	(-)
Frequências de Ocorrência 95 %	172	0,6	(-)	173	0,4	(-)	218	4	(-)	47	2	(-)
Frequências de Ocorrência 90 %	94	0,5	(-)	98	97,5	(-)	148	1	(-)	41	1	(-)
Frequências de Ocorrência 80 %	16	0,2	(-)	16	0,18	(-)	133	1	(-)	35	1	(-)
Frequências de Ocorrência 70 %	14	0,1	(-)	14	0,08	(-)	131	1	(-)	33	1	(-)
Frequências de Ocorrência 60 %	12	0,1	(-)	12	0,05	(-)	128	1	(-)	32	1	(-)
Frequências de Ocorrência 50 %	11	0,0	(-)	11	0,04	(-)	126	1	(-)	30	1	(-)
Frequências de Ocorrência 40 %	11	0,0	(-)	11	0,04	(-)	121	1	(-)	29	1	(-)
Frequências de Ocorrência 30 %	10	0,0	(-)	10	0,03	(-)	111	1	(-)	26	1	(-)
Frequências de Ocorrência 20%	9	0,0	(-)	9	0,03	(-)	101	1	(-)	25	0	(-)
Frequências de Ocorrência 10%	6	0,0	(-)	9	0,03	(-)	91	1	(-)	20	0	(-)
Número de Dados	803	803	(-)	729	729	(-)	68	68	(-)	48	48	(-)
Taxa de filtração (m³/m².dia)	Filtro ascendente em pedregulho									60 a 240		
	Filtro rápido descendente									80 a 300		
Tamanho dos grãos (mm)	Filtro ascendente em pedregulho									1,41 a 50		
	Filtro rápido descendente									0,3 a 1,41		
Tamanho efetivo (mm)	Filtro ascendente em pedregulho									(-)		
	Filtro rápido descendente									0,42 a 0,71		
Coeficiente de desuniformidade	Filtro ascendente em pedregulho									(-)		
	Filtro rápido descendente									1,6 a 1,7		
Duração da carreira de filtração (horas)	Filtro ascendente em pedregulho									4 a 72		
	Filtro rápido descendente									4 a 36		
Descargas de fundo intermediárias										Com e Sem		
Coagulante utilizado										Sulfato de Alumínio		
Mecanismo de coagulação										Neutralização de cargas		

**Tabela 13. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência da tecnologia de dupla filtração (FAP+FRD) na remoção de *Escherichia coli*, coliformes totais, ferro total e manganês total.**

Estatística	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)			Coliformes Totais (NMP/100mL)			Ferro Total (mg/L)			Manganês Total (mg/L)		
	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R (%)	Água bruta	Água Final	R(%)	Água bruta	Água Final	R(%)
Média	86	1	64,8	1346	6	73,1	0,89	0,017	97,4	0,016	0,004	54,5
Moda	1	1	(-)	1	1	(-)	0,90	0,005	(-)	0,020	0,003	(-)
Desvio Padrão	89	1	(-)	1807	9	(-)	0,41	0,024	(-)	0,012	0,003	(-)
Mediana	72	1	(-)	687	1	(-)	0,90	0,005	(-)	0,015	0,003	(-)
Coefficiente de Variação (%)	103	79	(-)	134	164	(-)	45,85	141,499	(-)	78,411	74,282	(-)
Mínimo	1	0	(-)	1	0	(-)	0,29	0,005	(-)	0,003	0,001	(-)
Frequências de Ocorrência 100 %	340	4	(-)	6867	42	(-)	1,66	0,080	(-)	0,040	0,010	(-)
Frequências de Ocorrência 95 %	247	3	(-)	5157	24	(-)	1,56	0,060	(-)	0,036	0,010	(-)
Frequências de Ocorrência 90 %	192	2	(-)	4017	11	(-)	1,45	0,040	(-)	0,031	0,010	(-)
Frequências de Ocorrência 80 %	156	1	(-)	2390	8	(-)	1,09	0,021	(-)	0,022	0,004	(-)
Frequências de Ocorrência 70 %	125	1	(-)	1679	6	(-)	0,91	0,008	(-)	0,020	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 60 %	91	1	(-)	1177	2	(-)	0,90	0,005	(-)	0,020	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 50 %	72	1	(-)	687	1	(-)	0,90	0,005	(-)	0,015	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 40 %	57	1	(-)	159	1	(-)	0,86	0,005	(-)	0,010	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 30 %	1	1	(-)	10	1	(-)	0,63	0,005	(-)	0,008	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 20 %	1	1	(-)	1	1	(-)	0,60	0,005	(-)	0,003	0,003	(-)
Frequências de Ocorrência 10 %	1	0	(-)	1	1	(-)	0,45	0,005	(-)	0,003	0,003	(-)
Número de Dados	32	32	(-)	35	35	(-)	11	11	(-)	10	10	(-)
Taxa de filtração (m³/m².dia)	Filtro ascendente em pedregulho						60 a 240					
	Filtro rápido descendente						80 a 300					
Tamanho dos grãos (mm)	Filtro ascendente em pedregulho						1,41 a 50					
	Filtro rápido descendente						0,3 a 1,41					
Tamanho efetivo (mm)	Filtro ascendente em pedregulho						(-)					
	Filtro rápido descendente						0,42 a 0,71					
Coeficiente de desuniformidade	Filtro ascendente em pedregulho						(-)					
	Filtro rápido descendente						1,6 a 1,7					
Duração da carreira de filtração (horas)	Filtro ascendente em pedregulho						4 a 72					
	Filtro rápido descendente						4 a 36					
Descargas de fundo intermediárias							Com e Sem					
Coagulante utilizado							Sulfato de Alumínio					
Mecanismo de coagulação							Neutralização de cargas					

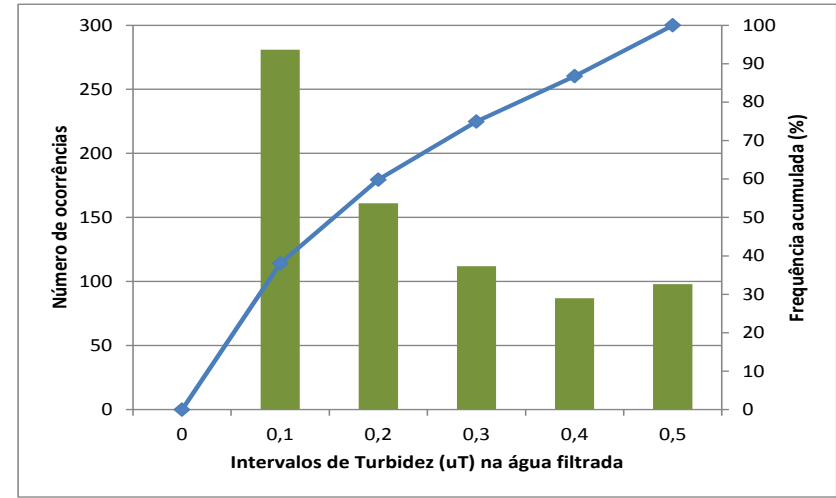
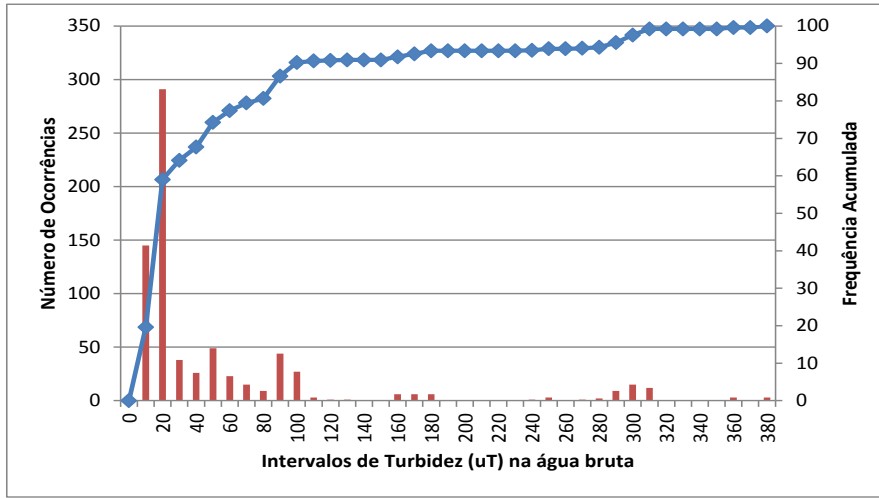


Turbidez de 0,5uT na água filtrada

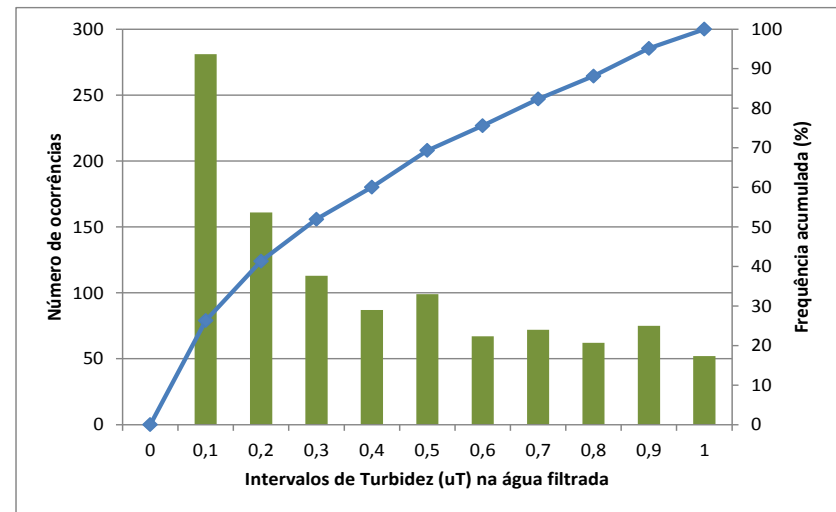
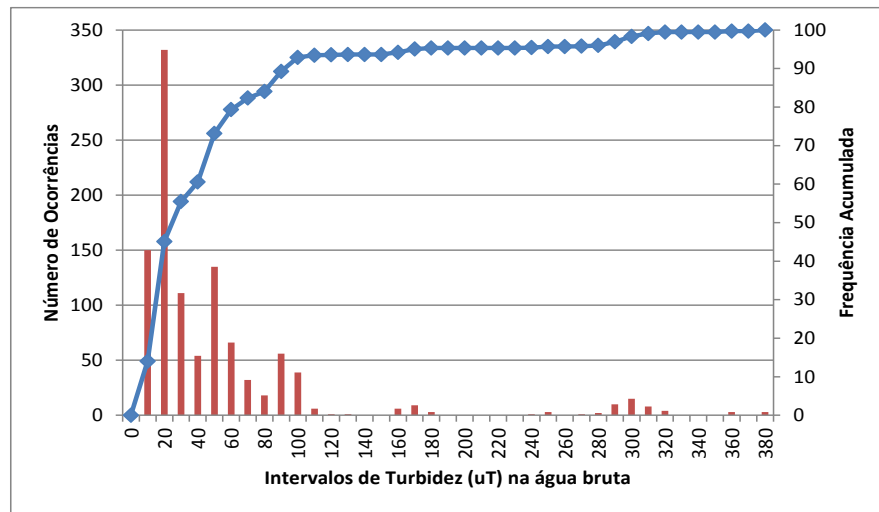


Turbidez de 1,0uT na água filtrada

**Figura 7. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para turbidez que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF com FAP**

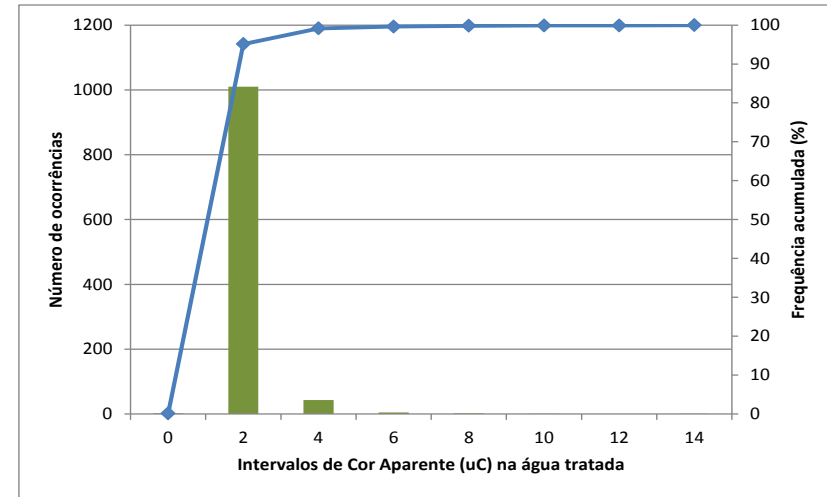
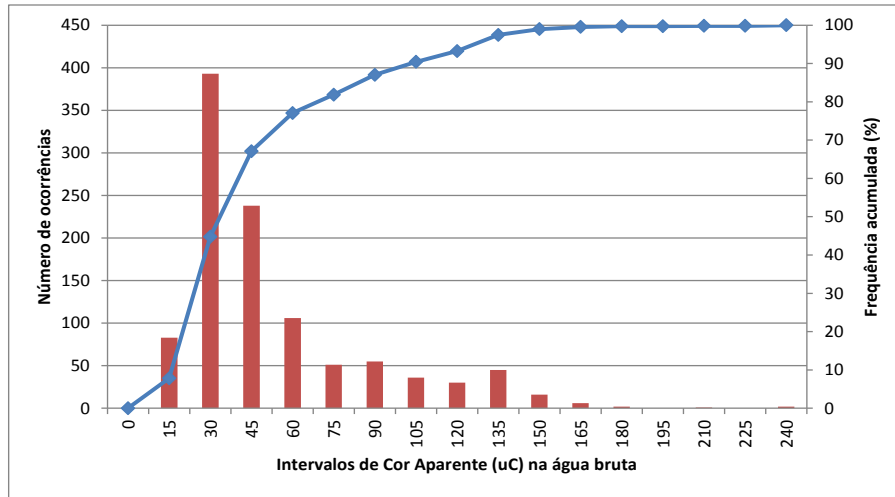


Turbidez de 0,5uT na água filtrada

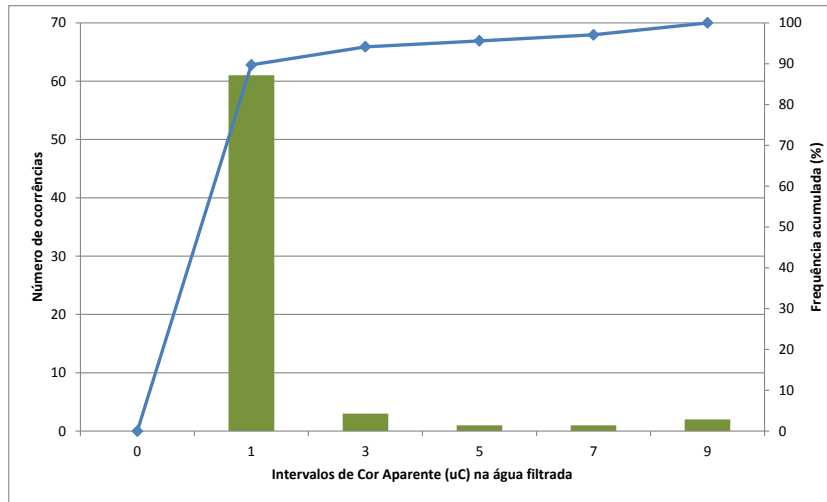
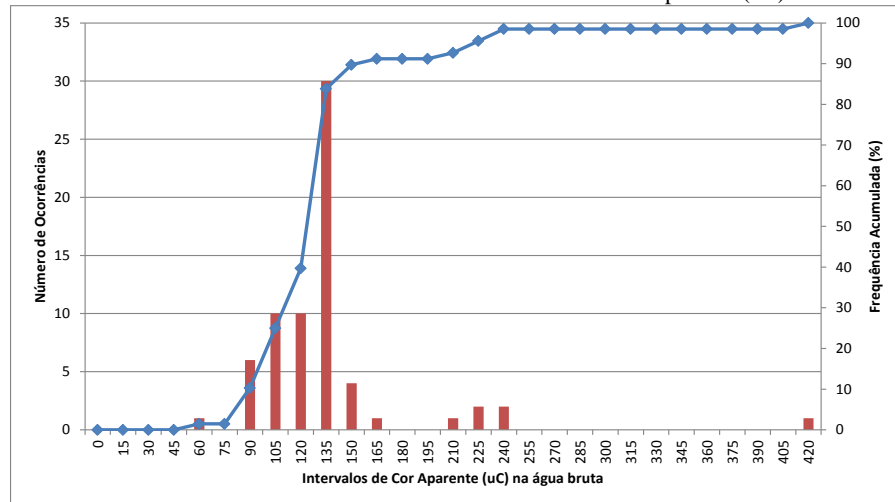


Turbidez de 1,0uT na água filtrada

Figura 8. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para turbidez que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF com FAAG

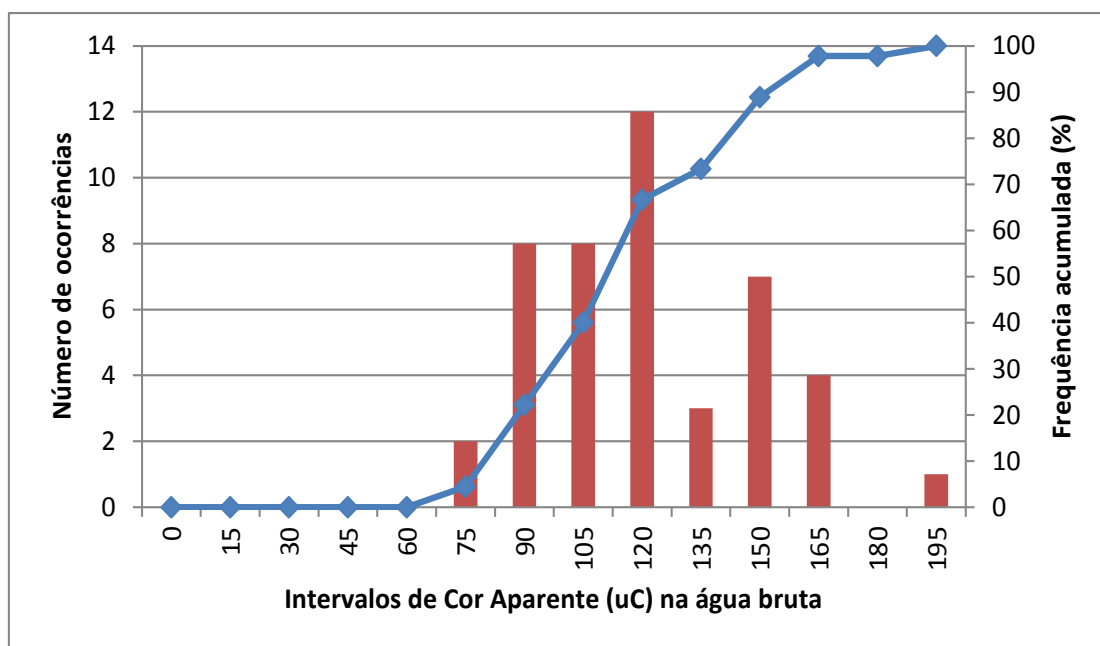


Cor aparente (uC) no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG

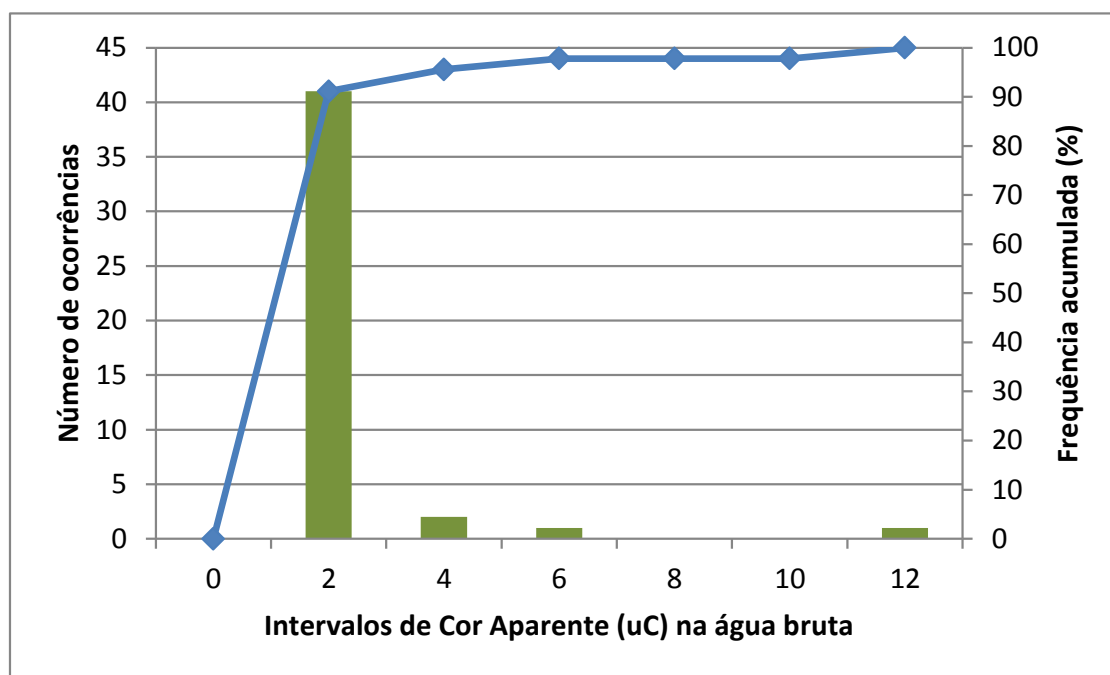


Cor Aparente (uC) no Filtro Ascendente em Pedregulho – FAP

Figura 9. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para cor aparente que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF

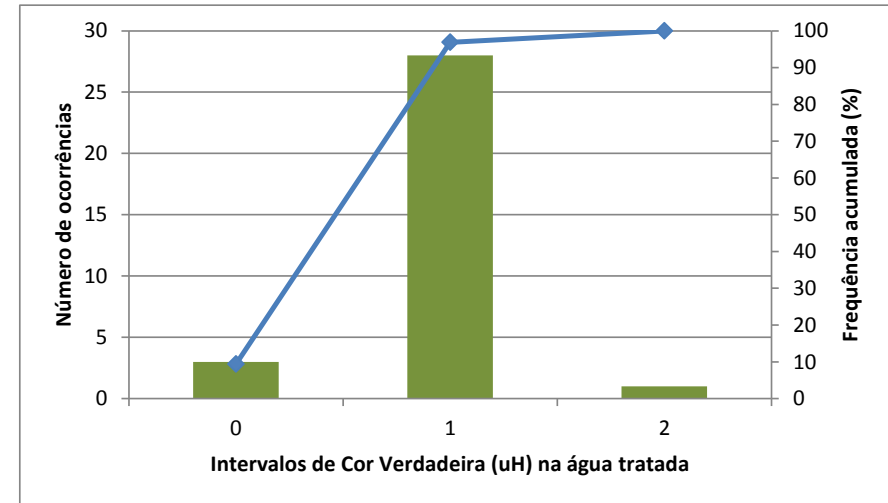
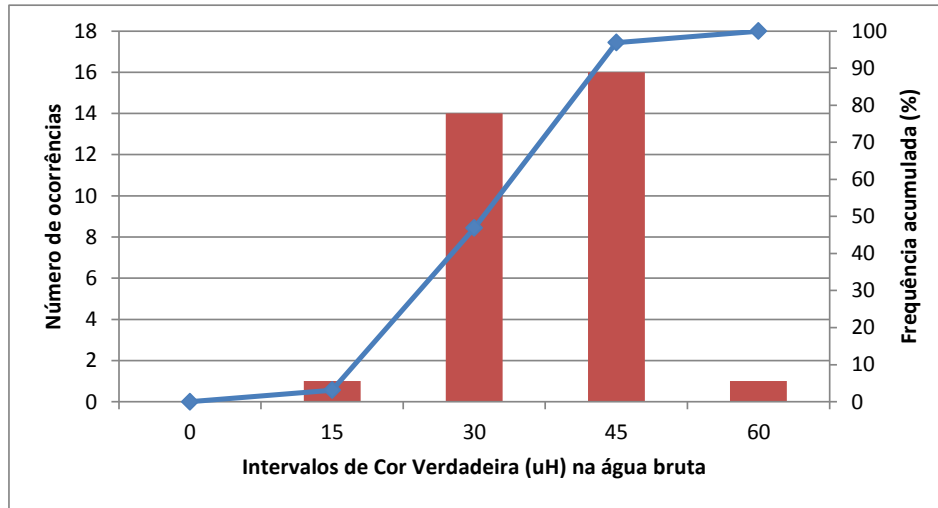


Cor Aparente (uC) na Água Bruta no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG

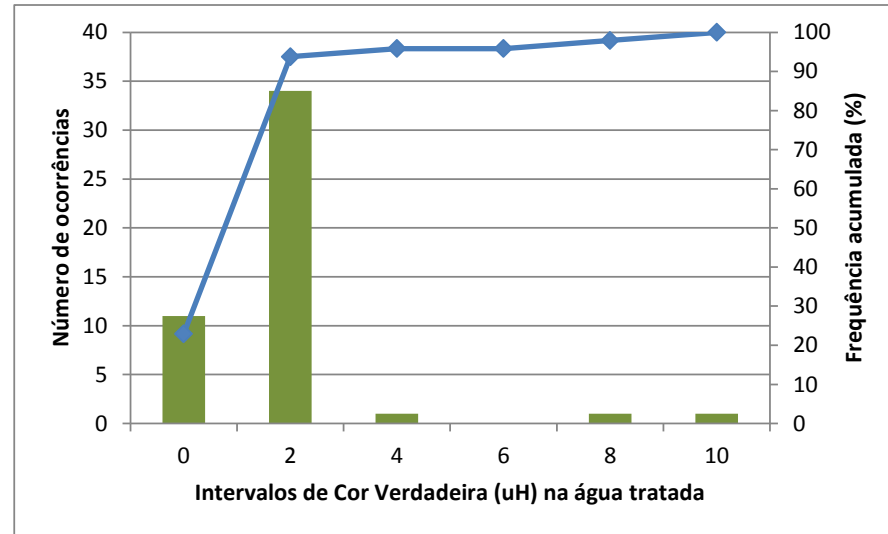
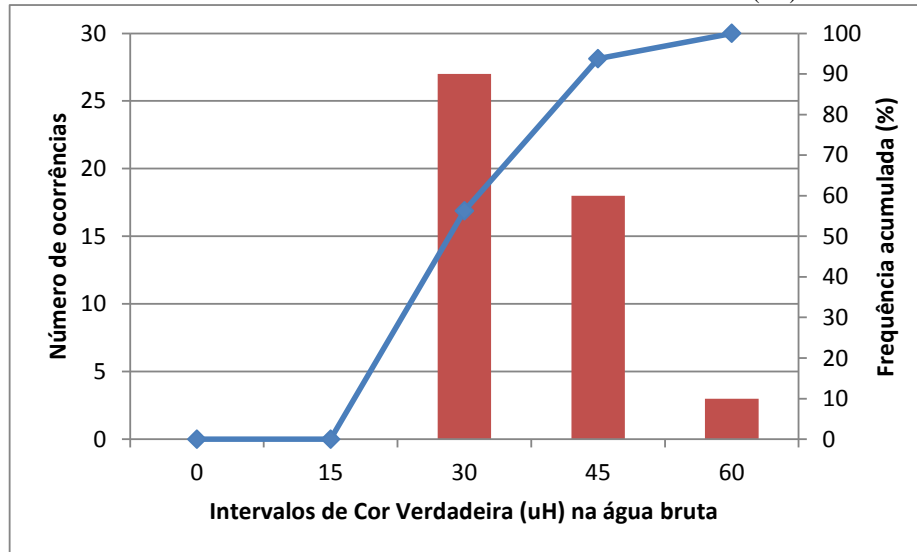


Cor Aparente (uC) na Água Filtrada no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG

**Figura 10. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para cor aparente que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF com FAAG, utilizando oxidação.**

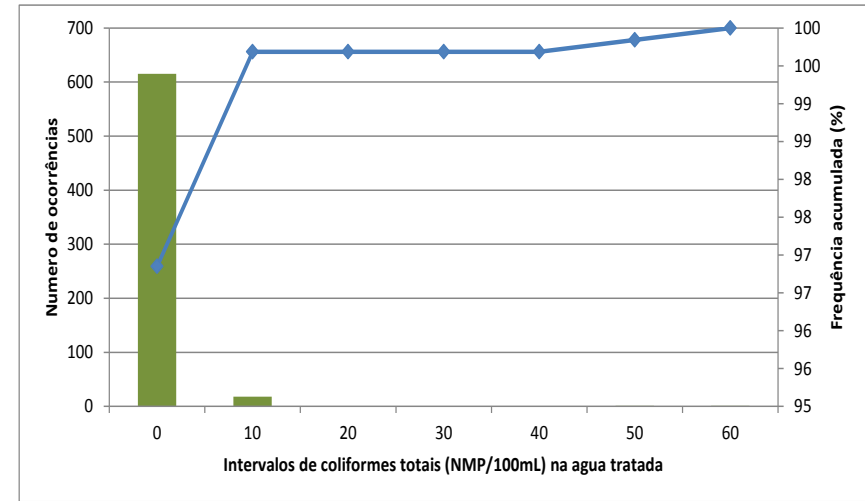
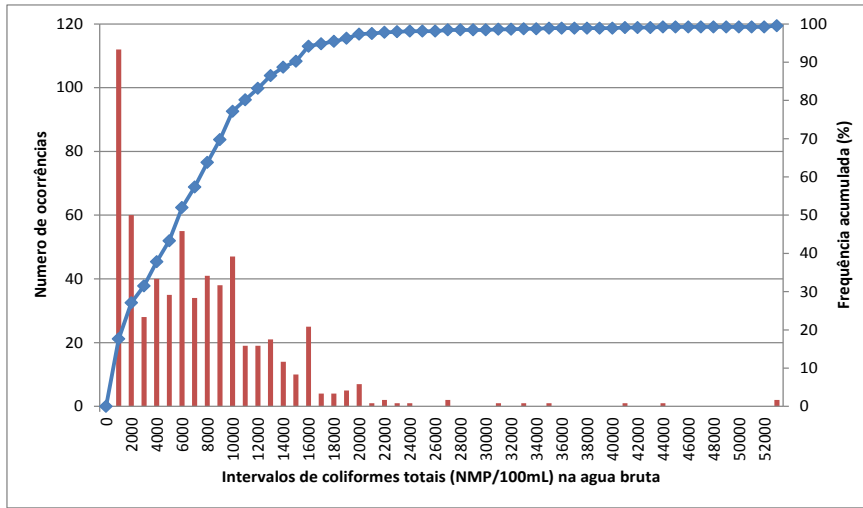


Cor Verdadeira (uH) no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG

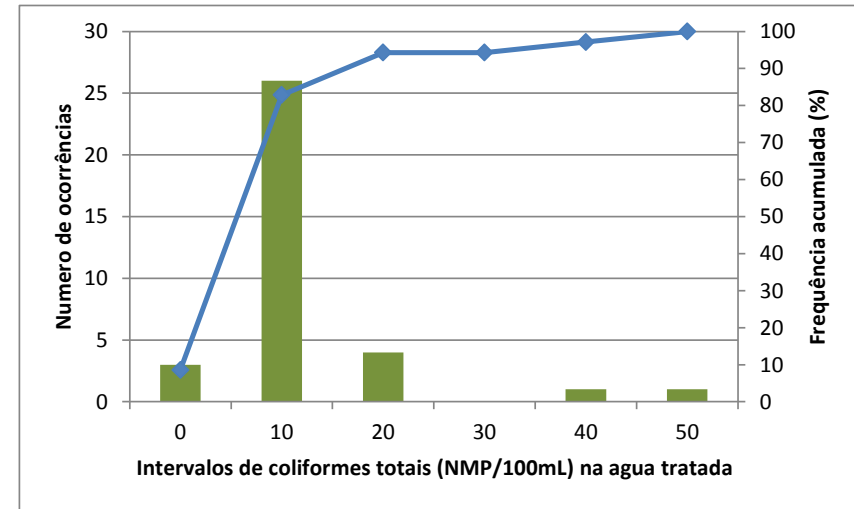
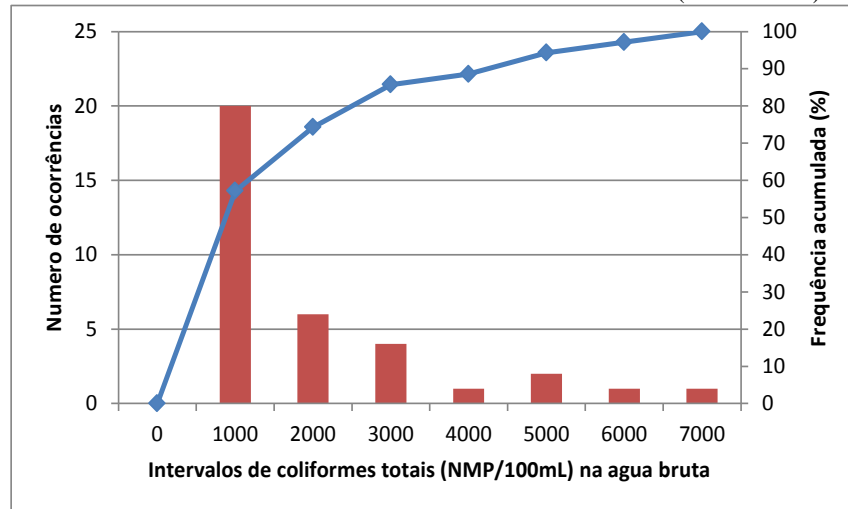


Cor Verdadeira (uH) no Filtro Ascendente em Pedregulho – FAP

Figura 11. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para cor verdadeira que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF

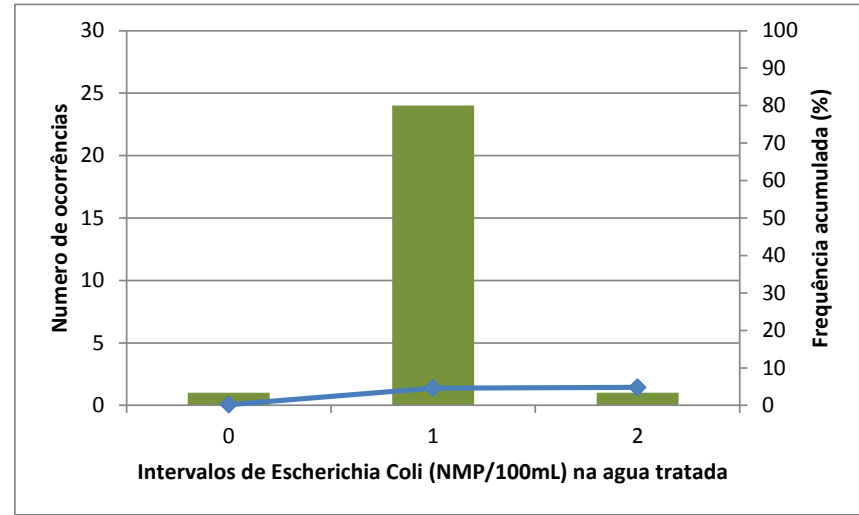
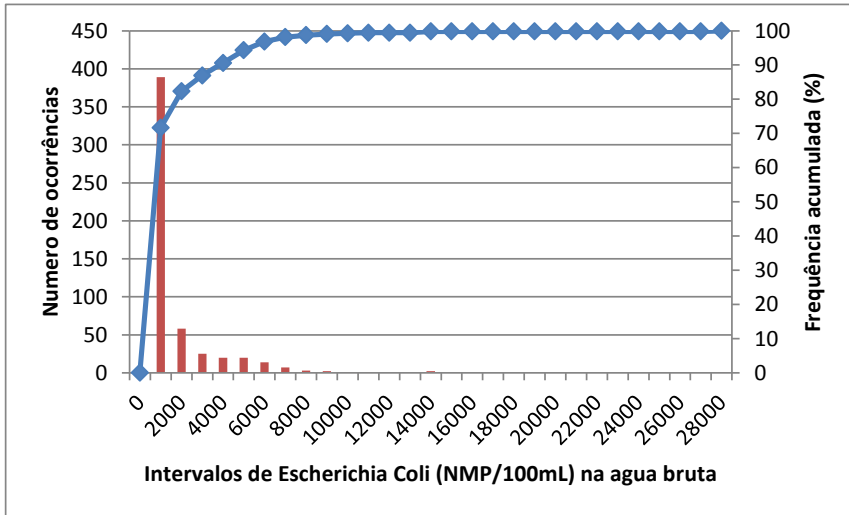


Coliformes Totais (NMP/100mL) no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG

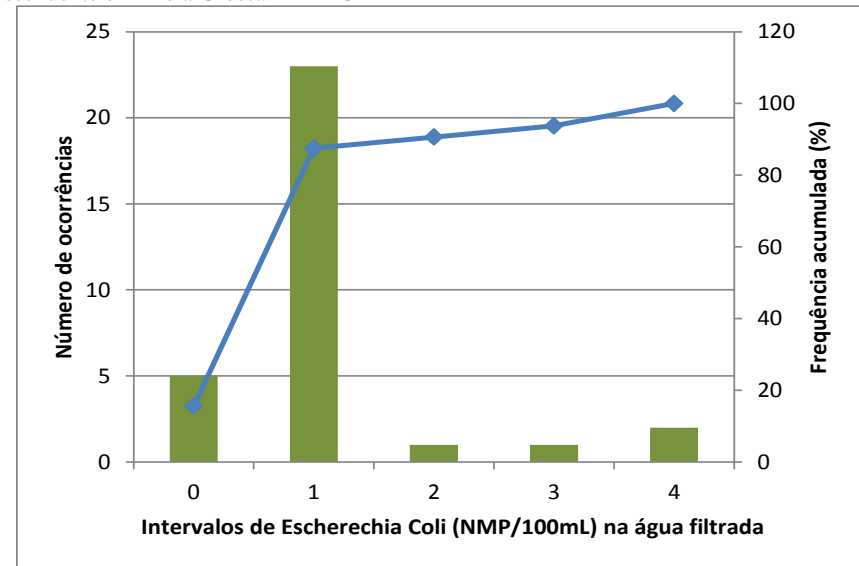
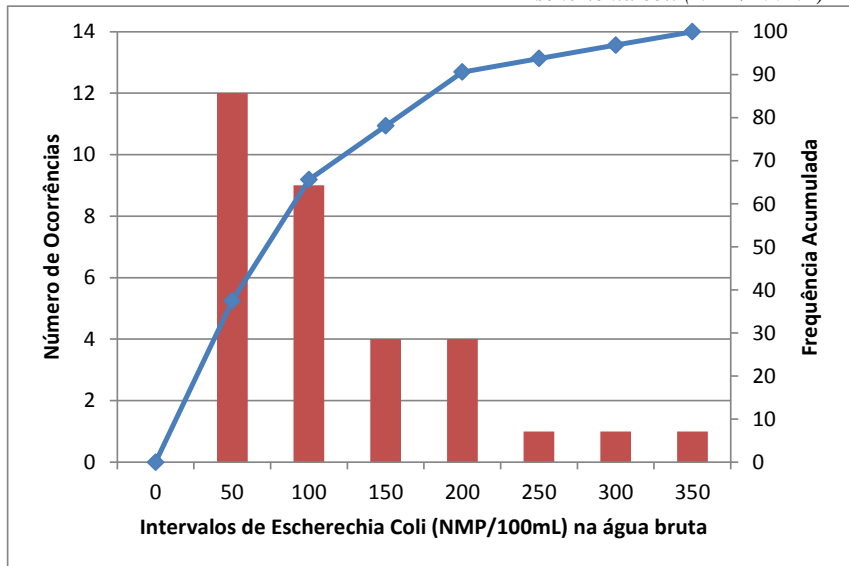


Coliformes Totais (NMP/100mL) no Filtro Ascendente em Pedregulho – FAP

Figura 12. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para coliformes totais que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF

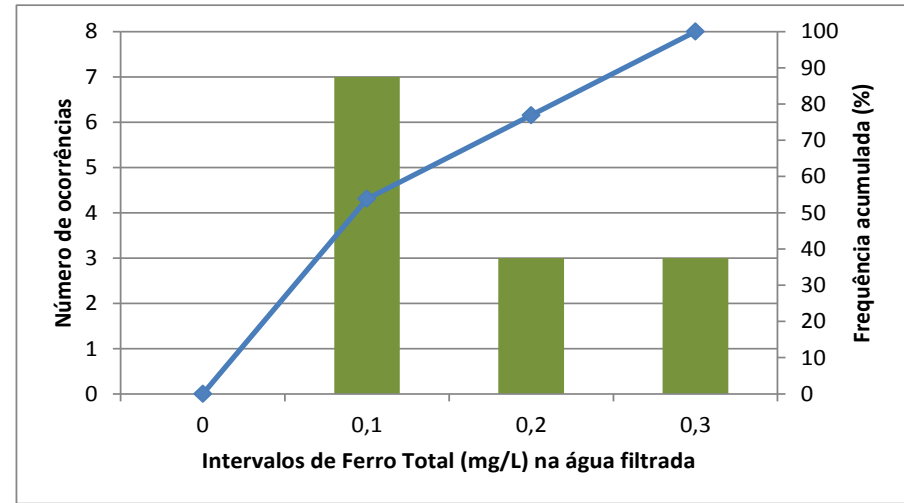
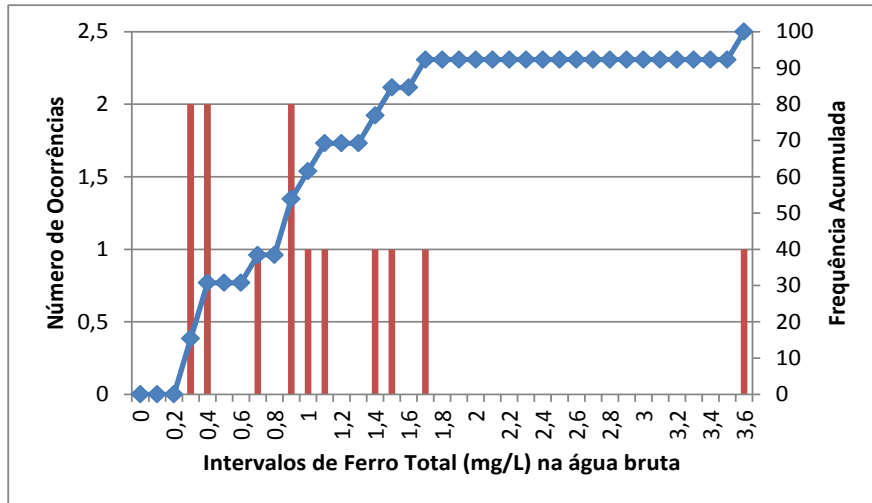


*Escherichia coli (NMP/100mL) no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG*

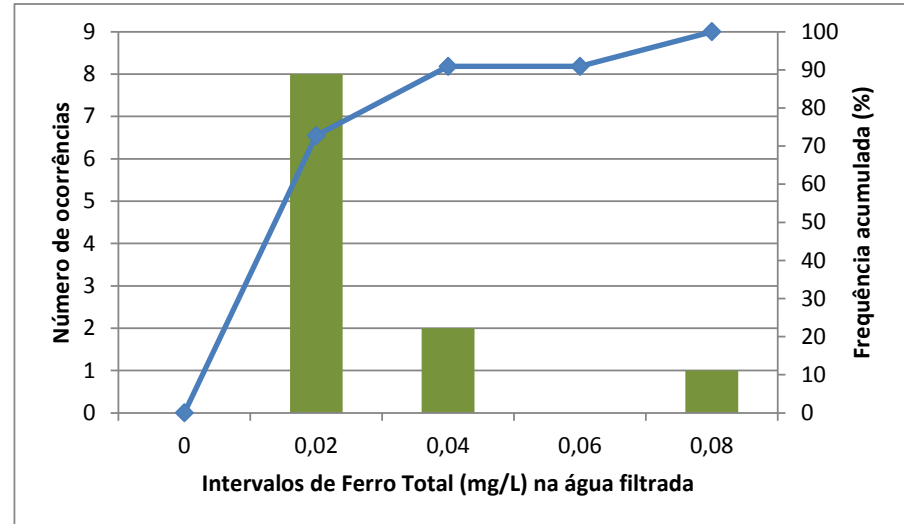
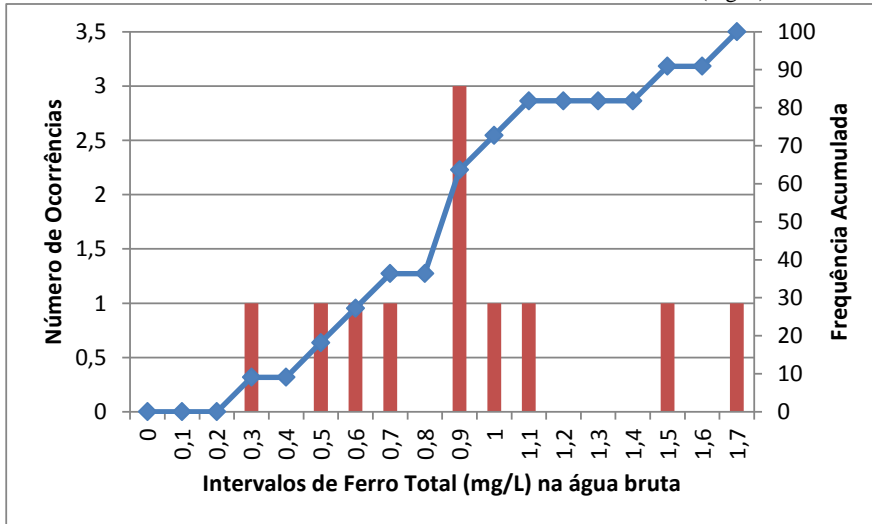


*Escherichia coli (NMP/100mL) no Filtro Ascendente em Pedregulho – FAP*

**Figura 13. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para Escherichia coli que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF**

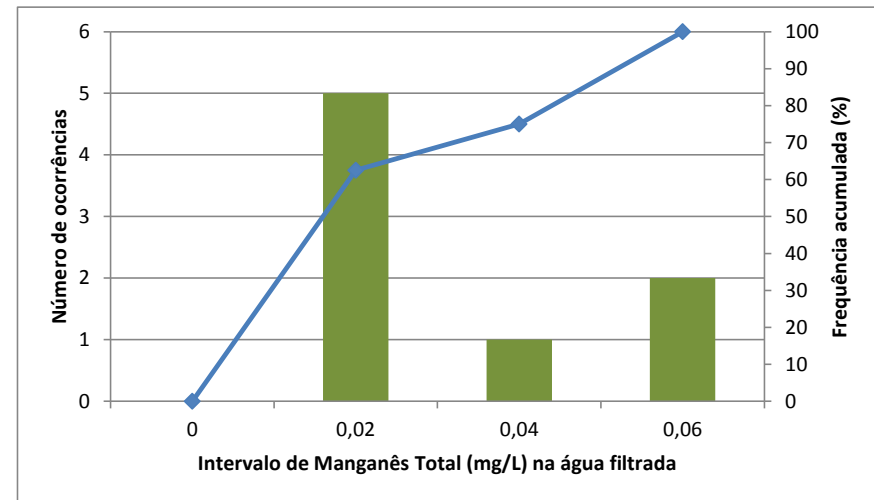
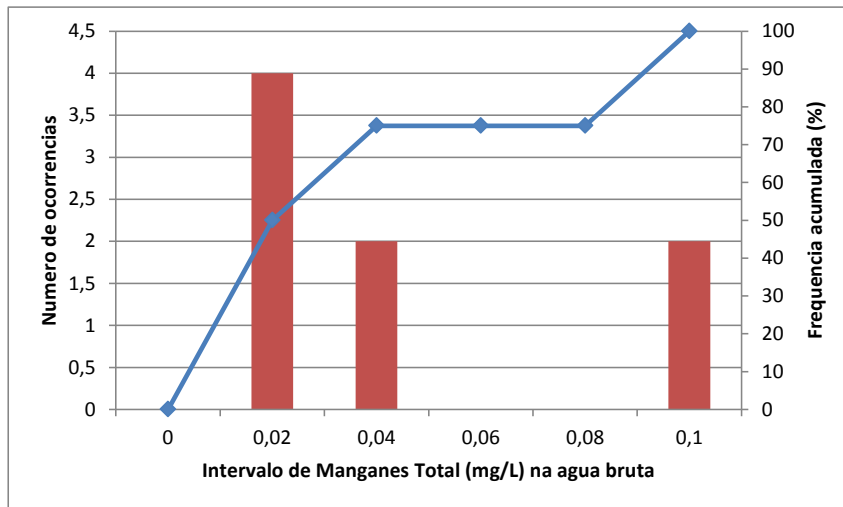


Ferro Total (mg/L) no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG

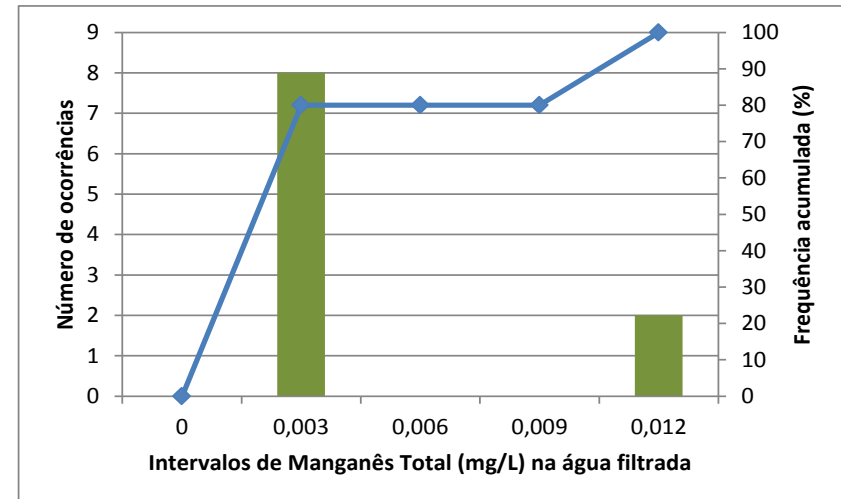
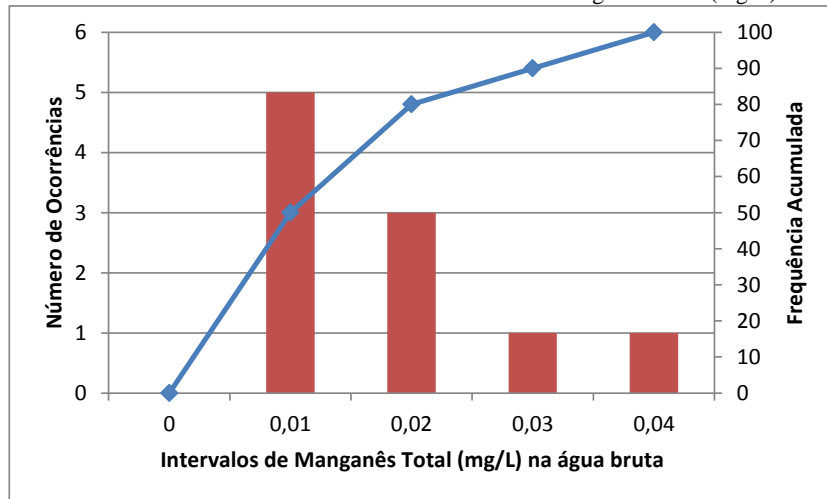


Ferro Total (mg/L) no Filtro Ascendente em Pedregulho – FAP

Figura 14. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para ferro total que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF



Manganês Total (mg/L) no Filtro Ascendente em Areia Grossa – FAAG



Manganês Total (mg/L) no Filtro Ascendente em Pedregulho – FAP

**Figura 15. Distribuição dos valores e da frequência acumulada para manganês total que permite avaliar a eficiência da tecnologia de DF**

**Tabela 14. Valores limites recomendados para água bruta propostos por PROSAB (2003), por Di Bernardo & Dantas (2005) e por Sabogal Paz (2007; 2010)**

Parâmetro	PROSAB (2003)		Di Bernardo & Dantas (2005)		Sabogal Paz (2007; 2010)	
	Tecnologia	FAP/FRD	FAAG/FRD	FAP/FRD	FAAG/FRD	FAP/FRD
Turbidez (uT)		100% ≤ 200	100% ≤ 150	100% ≤ 200	100% ≤ 150	100% ≤ 200
		95% ≤ 150	95% ≤ 100	95% ≤ 150	95% ≤ 100	95% ≤ 150
		90% ≤ 100	90% ≤ 50	90% ≤ 100	90% ≤ 50	90% ≤ 100
Cor Verdadeira (uH)		100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 100
		95% ≤ 75	95% ≤ 75	95% ≤ 75	95% ≤ 75	95% ≤ 75
		90% ≤ 50	90% ≤ 50	90% ≤ 50	90% ≤ 50	90% ≤ 50
Coliformes totais (NMP/100mL)		≤ 5000	≤ 5000	≤ 5000	≤ 10000	100% ≤ 5000 95% ≤ 2500 90% ≤ 1500
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)		≤ 1000	≤ 1000	≤ 1500	≤ 2500	100% ≤ 1500 95% ≤ 1000 90% ≤ 500
Ferro Total (mg/L)		*	*	*	*	100% ≤ 10 95% ≤ 5 90% ≤ 2
Manganês Total (mg/L)		*	*	*	*	100% ≤ 2 95% ≤ 1 90% ≤ 0,5

Nota: \* Limite não estabelecido

As Figuras 7 e 8 permitem concluir que, apesar da tecnologia ter sido eficiente na presença de valores altos de turbidez, na faixa de 300uT na água bruta, a maioria dos dados processados para a DF com FAAG ou FAP esteve por volta de 20uT. Ressalta-se que valores elevados do parâmetro devem ser tratados com cautela, pois não existe garantia de que a tecnologia possa suportar os mesmos por longos períodos.

Segundo os dados de Di Bernardo (2004), a DF com FAAG pode operar com turbidez por volta de 300uT por até 27 horas (taxas de filtração: FAAG = 180m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia; FRD = 300m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia). Para a mesma turbidez elevada na DF com FAP, Kuroda (2002) operou o sistema por 3 horas (taxas de filtração: FAP = 120m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia; FRD = 180m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia). Destaca-se que valores elevados de turbidez por longos períodos podem comprometer o desempenho da tecnologia, pela ocorrência de transpasse. Além disso, haverá aumento de perda de carga nos filtros e incremento do volume de resíduos como consequência das frequentes atividades de limpeza, fato que reduz a produção efetiva de água na DF.

Ao desenvolver a pesquisa verificou-se, com os operadores dos sistemas de DF em escala real, que as ETA dificilmente operam com turbidez na água bruta acima de 100uT utilizando FAAG ou FAP. Sendo assim, as frequências de ocorrência de 100% e 95% das Tabelas 10 e 12 devem ser descartadas, considerando que os elevados valores apresentados são isolados.

Analisando aos dados processados estatisticamente, recomenda-se, para atender a Portaria nº 2914 (2011), que a DF com FAAG ou FAP apresente na água bruta um valor máximo de turbidez de 100uT, o qual é próximo à frequência de ocorrência 90% das Tabelas 10 e 12. O restante dos dados de turbidez deve ser inferior à frequência de 80% (75 uT) para DF com FAAG, conforme Tabela 10.

No caso da DF com FAP, observa-se que é difícil avaliar o remanescente dos dados de turbidez na água bruta, segundo Tabela 12, porque a frequência de ocorrência de 80% equivale a 16 uT. Acredita-se que a DF com FAP seja mais eficiente, assim, os dados disponíveis não permitem adotar um valor coerente. Calculando a frequência de ocorrência de 88% chega-se a um valor de 81 uT, no entanto, considerando que a DF com FAAG é mais eficiente na remoção do paramento, segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), porque o FAAG possui menor granulometria. Recomenda-se, então, que o remanescente dos valores de turbidez na água bruta na DF com FAP sejam no máximo igual á recomendação feita para a DF com FAAG (75 uT). Em função dos resultados obtidos, as frequências de ocorrência do parâmetro de 100% e 95% para a DF com FAAG ou FAP estão sintetizadas na Tabela 15.

**Tabela 15. Características Gerais da Água Bruta a Ser Tratada pela Tecnologia de Dupla Filtração**

Variável Parâmetro	Indicador	
	FAP/FRD**	FAAG/FRD**
Turbidez (uT)	100% ≤ 100* 95% ≤ 75	100% ≤ 100* 95% ≤ 75
Cor aparente (uC)	100% ≤ 100* 95% ≤ 70	100% ≤ 100* 95% ≤ 70
Cor verdadeira (uH)	100% ≤ 50* 95% ≤ 40	100% ≤ 60* 95% ≤ 40
Coliformes totais (NMP/100mL)	100% ≤ 5000* 95% ≤ 4000	100% ≤ 9000* 95% ≤ 7500
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	100% ≤ 1500* 95% ≤ 1000	100% ≤ 4000* 95% ≤ 1800
Taxas de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia)	FAP: 80 a 180 FRD: 120 a 240	FAAG: 120 a 240 FRD: 150 a 300

Notas:

FAP: filtro ascendente em pedregulho; FAAG: filtro ascendente em areia grossa

FRD: filtro rápido descendente.

\* valores superiores poderão acontecer na tecnologia, porém o evento deve ter cura duração (estima-se que seja no máximo de 2 horas, segundo os dados avaliados nesta pesquisa).

\*\*valores recomendados sem uso de oxidação, adsorção ou qualquer outro tratamento considerado avançado.

Segundo os resultados obtidos no processamento estatístico dos dados e na consulta à ETA em escala real, os valores recomendados por PROSAB (2003), Di Bernardo e Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007; 2010), para turbidez, podem ser considerados muito elevados. Destaca-se que esses valores foram sugeridos utilizando a Portaria nº 518 (2004) que permitia turbidez de 1,0uT na água filtrada.

### **Cor Aparente**

As Tabelas 10 e 12 permitem constatar que a tecnologia proporcionou uma remoção de 95,8% na DF com FAP e de 98,8% na DF com FAAG, fornecendo água tratada em torno de 2 e 3uH, respectivamente, atendendo às normas da Portaria 2914/2011.

Embora os valores da água bruta estiverem entre 59 e 407uC na DF com FAP e entre 2 e 238uC na DF com FAAG, observa-se, pelas Figuras 9 e 10, que a maioria dos dados ficou próximo de 30uC no FAAG e de 135uC no FAP. Observa-se que existem valores elevados de cor aparente na água bruta tratada pela DF com FAP. Isto acontece porque foram estudados os dados obtidos por Benini (2003), a qual pesquisou a remoção de cor na tecnologia.

Nos dados analisados foi constatado um pico de 407uH na DF com FAP, com duração de 6 horas, segundo resultados de Benini (2003), cujas taxas de filtração foram de 120m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FAP e 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FRD. Na DF com FAAG, o pico foi de 238uH com duração de 1 hora, segundo resultados de Wiecheteck (2005) para taxas de filtração de 240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FAAG e 280m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FRD. Destaca-se que valores elevados de cor aparente por longos períodos podem comprometer o desempenho da tecnologia, pela ocorrência de transpasse. Sendo assim, é possível estabelecer um valor máximo (pico) de 100 uC para cor aparente na DF com FAP utilizando um valor próximo à frequência de ocorrência de 20%, segundo Tabela 12. A decisão foi tomada de tal forma que o valor sugerido fosse próximo à recomendação de turbidez. Para o restante dos dados que possam estar presentes na água bruta a ser tratada pela DF com FAP recomenda-se 70 uC que é um valor próximo à frequência de ocorrência de 10%.

Por sua vez, a DF com FAAG teve o valor máximo (pico) de 100 uC atribuído conforme a frequência de ocorrência de 90%. A determinação foi tomada de tal forma que o valor sugerido fosse próximo, igualmente, à indicação para turbidez. Recomenda-se que o restante dos dados presentes na água bruta a ser tratada pela DF com FAAG não ultrapasse o valor correspondente à frequência de 80% (70 uC), segundo Tabela 15.

É provável que a DF suporte valores maiores que 100uC, contudo, como a maioria dos dados elevados foram obtidos em ETA em escala piloto (Benini, 2003 e Wiecheteck, 2005), estimou-se, então, conveniente sugerir valores menores, já que se aproximam aos recomendados para turbidez.

Ao avaliar a remoção de cor aparente com oxidação, Wiecheteck (2005) empregou o processo em alguns ensaios de DF com FAAG, segundo Tabela 10. No entanto, não foi possível obter dados de remoção do parâmetro, com oxidação, para a tecnologia com FAP.

A Tabela 10 permite observar que os valores de cor aparente na água bruta utilizando oxidação ficaram entre 73 e 184uH com remoção de 98,6%. O fato permitiu ter menos que 12 uC na água final, atendendo às recomendações da Portaria 2914/2011.

A análise da Figura 10 indica que a maioria dos dados na água bruta esteve próximo de 120uH (gerando água filtrada com valores em torno de 2 uC), desta foram, aconselhar-se esse valor com máximo a ser adotado na tecnologia. Na DF com FAP não há como recomendar um valor máximo, quando a oxidação é utilizada, porque não houve dados disponíveis para analisar.

### **Cor Verdadeira**

As Tabelas 10 e 12 apresentam uma remoção de 96,1% na DF com FAP, com teores na água bruta de 19 a 50uH, e de 96,6% na DF com FAAG, com valores de 9 a 60uH na água bruta. Nos dois casos a água final teve menos que 9 uH, atendendo à recomendação da WHO (2011). Analisando a Figura 11, percebe-se que, na maioria do tempo, os valores na água bruta estiveram próximos a 30uH na DF com FAP e a 45uH na DF com FAAG.

De acordo com Gusmão (2001), foi constatado um pico de 60uH, na DF com FAAG, que durou cerca de 1 hora, operando com taxas elevadas (360m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FAAG e 480m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FRD). Para a DF com FAP, foi constatado um pico de 50uH em Kuroda (2002), com duração de 12 horas, operando com taxas de 60m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FAP e 100m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FRD.

Destaca-se que dados de cor verdadeira não foram obtidos para ETA em escala real, fato que dificulta a tomada de decisão em relação à sugestão de valores limite. Observa-se o número de dados para avaliar a eficiência da DF foram reduzidos (menos de 48 dados processados, segundo Tabelas 10 e 12). Considerando os dados disponíveis, adotam-se para as duas tecnologias (FAAG + FRD e FAP + FRD) valores próximos às frequências de ocorrência de 100% e 95%. Esses valores estão sintetizados na Tabela 15.

Os valores anteriores podem ser considerados conservadores, no entanto, a remoção do parâmetro depende, principalmente, do processo de coagulação e do pH. Estes são influenciados pela concentração de substâncias húmicas (associadas à cor verdadeira) e, quanto maior seu teor, maior será a dosagem de coagulante requerida, o que pode inviabilizar totalmente o uso dupla filtração (Sabogal Paz, 2007; Di Bernardo & Dantas, 2005). Neste caso, os valores sugeridos podem ser convenientemente tratados pela DF sem sobrecarga do sistema.

Analisando a Tabela 14, percebe-se que os valores recomendados pelo PROSAB (2003), Di Bernardo & Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007; 2010) foram mais elevados se comparados aos encontrados nas Tabelas 10 e 12. Talvez esses valores possam ser viáveis com o uso de oxidação.

### **Coliformes Totais**

As Tabelas 11 e 13 mostram que houve remoção de 99,0% dos coliformes totais quando a DF com FAAG foi utilizada, com valores na água bruta que oscilavam entre 1 e 54000 NMP/100mL; e de 73,1% na DF com FAP, com concentrações variando de 1 a 6867 NMP/100mL. Observa-se, na Figura 12, que a maioria dos dados processados foi inferiores a 10000 NMP/100mL na água bruta a ser tratada na DF com FAAG e de 1000 NMP/100mL na DF com FAP.

Na Figura 12, verifica-se que na DF com FAAG a água filtrada apresentou no máximo 10 NMP/100mL, concentração que pode ser facilmente tratada, posteriormente, quando não há presença de microrganismos resistentes à desinfecção. No caso da DF com FAP, verificam-se concentrações de coliformes totais de até 50 NMP/100mL na água filtrada, demonstrando uma menor eficiência se comparada à tecnologia que possui FAAG.

O valor de 54000 NMP/100mL foi registrado na ETA 5 para taxas médias de filtração no FAAG de  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$  e no FRD de  $270 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ . Na ETA 1 houve outro valor elevado (53000 NMP/100mL) que foi registrado para taxas médias de filtração de  $200 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$  no FAAG e  $300 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$  no FRD. Nos dois eventos citados não houve como verificar suas durações. Destaca-se que a frequência de ocorrência de 100% apresentadas nas Tabelas 11 e 13 é bem maior aos limites estabelecidos pelo PROSAB (2003), Di Bernardo & Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007; 2010). Sendo assim, seria arriscado estabelecer limites levando em conta valores altos isolados. Foram processados 635 dados de coliformes totais para a tecnologia com FAAG e somente 35 dados para a DF com FAP.

Na DF com FAP o valor de coliformes totais de 6867 NMP/100 mL foi obtido na ETA piloto de Kuroda (2002) quando a DF operou com baixas taxas (FAP: 60 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia e FRD: 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia). Destaca-se que a maior parte dos dados com valores elevados de coliformes totais foi registrada na pesquisa dessa autora.

Analisando os dados processados, verifica-se que as tecnologias de DF com FAAG e em menor proporção a DF com FAP conseguiram ser eficientes com elevados valores de coliformes totais; no entanto, a realização de descargas de fundo intermediárias – DFI, no filtro ascendente, pode prejudicar o filtrado, ao causarem picos de microrganismos (por exemplo: coliformes totais e *Escherichia coli*), comprometendo a qualidade da água afluenta a ser encaminhada ao filtro rápido descendente (Sabogal Paz e Di Bernardo, 2007).

Neste contexto, as frequências de ocorrência de 100% e 95% recomendadas na água bruta afluenta à DF serão valores próximos às frequências de 95% e 90% para DF com FAP e de 70% e 60% para DF com FAAG, segundo Tabelas 11 e 13. Assim, os valores sugeridos serão respectivamente, 5000 NMP/100mL e 4000 NMP/100mL; e 9000 NMP/100mL e 7500 NMP/100mL. Estima-se que os valores sejam coerentes considerando que a DF com FAP possui menor eficiência na remoção dos coliformes.

Considerando o risco microbiológico envolvido, principalmente no início da carreira de filtração do filtro rápido descendente, os valores anteriores aceitáveis para o funcionamento da tecnologia são válidos considerando desinfecção eficiente da água filtrada e inexistência de microrganismos resistentes à desinfecção como os protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium*.

Analisando a Tabela 14 percebe-se que os valores recomendados pelo PROSAB (2003), Di Bernardo & Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007; 2010) para a frequência de ocorrência de 100% foram próximos aos sugeridos nesta pesquisa.

### ***Escherichia coli***

As Tabelas 11 e 13 mostram que houve remoção de *Escherichia coli* de 97,9% na DF com FAAG e de 64,8% na DF com FAP. Os valores da água bruta oscilaram entre 1 e 27500 NMP/100mL e 1 e 340 NMP/100mL, respectivamente.

A Figura 12 mostra que a maioria dos valores de água bruta, no entanto, estiveram próximos a 1000 NMP/100mL na DF com FAAG e de 50 NMP/100mL na DF com FAP. A água filtrada gerada após o tratamento apresentou concentrações de até 2 ou 4 NMP/100mL, respectivamente nos sistemas de DF.

Nota-se que há grande diferença dos valores máximos encontrados para a DF com FAP e para a DF com FAAG. Essa diferença acontece, principalmente, por duas razões: i) houve poucos dados no FAP (32) contra 543 no FAAG; e ii) somente houve dados de ETA em escala piloto.

Na DF com FAP é difícil estabelecer novos limites, pela carência de dados, assim, serão sugeridos os valores indicados por Sabogal Paz (2007; 2010), correspondentes a 1500 NMP/100mL e 1000 NMP/100mL para as frequências de ocorrência de 100% e 95%, respectivamente.

No caso da DF com FAAG, o pico de 27500 NMP/100mL foi medido na ETA 1 com taxas de filtração de 200m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FAAG e de 300m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia no FRD. Percebe-se que é um valor isolado, uma vez que há uma queda acentuada da concentração para a frequência de ocorrência de 95% (5390 NMP/100mL). Sendo assim, recomenda-se na água bruta como limite máximo (pico) um valor próximo à frequência de ocorrência de 90% (4000 NMP/100mL). O remanescente dos valores na água bruta pode chegar até 1800 NMP/100mL, segundo frequência de ocorrência de 80% da Tabela 13. Um resumo dos valores recomendados é apresentado na Tabela 15.

Analisando a Tabela 14 percebe-se que os valores recomendados pelo PROSAB (2003), Di Bernardo & Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007; 2010) para a frequência de ocorrência de 100% foram inferiores aos sugeridos nesta pesquisa para a DF com FAAG.

### **Ferro Total e Manganês Total**

As Tabelas 11 e 13 mostram que a remoção de ferro total foi de 73,6% na DF com FAAG e de 97,4% na DF com FAP. Os teores na água bruta ficaram entre 0,3 e 3,6 mg/L na DF com FAAG e entre 0,3 e 1,7mg/L na DF com FAP, gerando efluentes que estão dentro das indicações para Portaria n<sup>o</sup> 2914 (2011). Pela Figura 14 é possível perceber os dados oscilaram bastante nos dois tipos de filtros ascendentes. Apesar de terem sido obtidos poucos dados para esse parâmetro é possível perceber que a tecnologia de DF tem eficiência, uma vez que os valores de ferro total para água filtrada estiveram abaixo do valor máximo permitido pelo Padrão de Potabilidade (0,3 mg/L).

As Tabelas 11 e 13 mostram que houve remoção de manganês total de 36,9% na DF com FAAG e de 54,5% na DF com FAP. Os valores do parâmetro na água bruta oscilaram entre 0,003 e 0,09mg/L e 0,003 a 0,04mg/L respectivamente para cada tipo de DF.

A dificuldade na eliminação do manganês acontece, principalmente, pelo baixo pH comumente utilizado no processo de coagulação (Sabogal Paz e Di Bernardo, 2007). Contudo, todos os valores de água tratada estiveram bem abaixo do valor máximo permitido pela Portaria (0,1 mg/L).

Com os dados disponíveis (menos de 13 registros) não é possível recomendar valores limites de manganês total e de ferro total para a tecnologia de DF. Os valores recomendados por Sabogal Paz (2007; 2010), indicados na Tabela 14, para a DF com FAP serão desconsiderados, uma vez que foram obtidos analisando a tecnologia de filtração direta descendente, considerando suposições que não podem ser comprovadas em escala real. Verifica-se que PROSAB (2003), Sabogal Paz (2007; 2010) e Di Bernardo & Dantas (2005) não apresentam recomendação do parâmetro na DF com FAAG.

### **Desempenho dos filtros ascendentes e filtros rápidos descendentes**

Na Tabela 15 observa-se que a tecnologia de DF com FAAG é mais eficiente na remoção do parâmetro se comparada àquela que utiliza FAP. O fato pode estar relacionado à menor granulometria utilizada no FAAG se comparada com o FAP. As Tabelas 16 e 17 permitem conclusões mais específicas sobre o desempenho do FAAG e FAP, uma vez que, ao invés de somente avaliarem o efluente final, permitem avaliar o efluente dos FA.

Para turbidez em que a água bruta teve, aproximadamente, valores iguais nos filtros (entre 1 e 384uT), o FAAG se mostrou mais eficiente, com remoção de 95,1%, gerando efluentes para posterior tratamento no FRD que permitiram que a DF atendesse a Portaria nº 2914 (2011). Observa-se que a eficiência de remoção de turbidez do FRD da DF com FAAG foi baixa (49%), possivelmente devido à maior eficiência do FAAG, possibilitando menor ocorrência de traspasse.

No caso do FAP a eficiência na remoção de turbidez foi somente de 83%, no entanto, observa-se que o FRD da DF com FAP teve uma eficiência de 92,1%. Verifica-se que o a filtração ascendente gerou efluentes com turbidez na faixa de 0,01 a 32 uT que posteriormente foram tratados no FRD da DF.

Ao avaliar a remoção de cor verdadeira, para água bruta com características similares (9 a 60 uH), verifica-se de novo a superioridade do FAAG com eficiências de 95,7%; contudo, o desempenho do FRD da DF com FAAG foi limitado com remoções de 10,9%. Embora o FAP tivesse menor remoção (92,6%) o FRD da DF com FAP apresentou uma maior eficiência (26,5%).

**Tabela 16. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência do filtro ascendente em areia grossa – FAAG da tecnologia de dupla filtração**

Estatística	Turbidez (uT) - 1,0uT					Turbidez (uT) - 0,5uT					Cor verdadeira (uH)				
	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)
Média	33,00	2,03	0,30	93,5	55,2	31	1,22	0,21	95,1	49,0	30	1	1	95,7	10,9
Moda	13,3	0,04	0,04			13	0,04	0,04			35	1	1		
Desvio Padrão	45,45	3,39	0,34			52	2,79	0,30			9	1	0		
Mediana	16,8	0,63	0,21			13	0,33	0,13			31	1	1		
Coeficiente de Variação (%)	137,71	167,47	112,17			168	229,42	147,50			30	47	38		
Mínimo	6,08	0,01	0,009			6	0,01	0,01			9	0	0		
Frequências de Ocorrência 100 %	372	32	4			372	32,00	3,55			60	2	2		
Frequências de Ocorrência 95 %	87	9	1			134	5,06	0,60			41	2	1		
Frequências de Ocorrência 90 %	62	6	1			61	3,09	0,48			35	2	1		
Frequências de Ocorrência 80 %	43	3	1			37	1,51	0,30			35	1	1		
Frequências de Ocorrência 70 %	32	2	0			20	0,72	0,22			33	1	1		
Frequências de Ocorrência 60 %	24	1	0			15	0,49	0,17			32	1	1		
Frequências de Ocorrência 50 %	17	1	0			13	0,33	0,13			31	1	1		
Frequências de Ocorrência 40 %	14	0	0			12	0,23	0,06			30	1	1		
Frequências de Ocorrência 30 %	12	0	0			11	0,13	0,05			25	1	1		
Frequências de Ocorrência 20 %	11	0	0			10	0,07	0,04			23	1	1		
Frequências de Ocorrência 10 %	9	0	0			9	0,05	0,03			20	1	1		
Número de Dados	867	867	867			616	616	616			32	32	32		
Taxa de filtração (m³/m²/dia)						Filtro ascendente em areia grossa					120 a 360				
						Filtro rápido descendente					180 a 480				
Tamanho dos grãos (mm)						Filtro ascendente em areia grossa					1,0 a 2,4				
						Filtro rápido descendente					0,3 a 2,00				
Tamanho efetivo (mm)						Filtro ascendente em areia grossa					1,15 a 1,8				
						Filtro rápido descendente					0,43 a 0,85				
Coeficiente de desuniformidade						Filtro ascendente em areia grossa					1,4 a 1,5				
						Filtro rápido descendente					1,5 a 1,7				
Duração da carreira de filtração (horas)						Filtro ascendente em areia grossa					4 a 72				
						Filtro rápido descendente					4 a 36				
Descargas de fundo intermediárias											Com e Sem				
Coagulante utilizado											Sulfato de Alumínio				
Mecanismo de coagulação											Neutralização de cargas				

**Tabela 16. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência do filtro ascendente em areia grossa - FAAG da tecnologia de dupla filtração - continuação**

Estatística	Cor aparente (uC)					Cor aparente com oxidação					<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)					Coliformes totais (NMP/100mL)				
	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)	Água bruta	FAAG	FRD	Remoção do FAAG (%)	Remoção do FRD (%)
Média	118	19	1	83,8	58,1	114	31	2	71,1	55,5	90	4	1	56,0	20,7	1694	62	7	70,0	22,2
Moda	131	1	1			107	1	1			1	1	1			1	1	1		
Desvio Padrão	27	21	1			28	36	2			120	8	0			2095	262	15		
Mediana	120	7	1			108	12	1			69	1	1			1160	1	2		
Coefficiente de Variação (%)	23	112	95			24	115	120			134	198	28			124	421	216		
Mínimo	80	1	1			73	1	1			1	1	0			1	1	0		
Frequências de Ocorrência 100 %	238	93	10			184	111	12			503	34	2			8164	1203	57		
Frequências de Ocorrência 95 %	146	59	2			156	104	3			303	21	1			4884	39	47		
Frequências de Ocorrência 90 %	138	45	1			153	88	2			191	13	1			4352	12	7		
Frequências de Ocorrência 80 %	131	38	1			144	68	1			142	2	1			2613	7	5		
Frequências de Ocorrência 70 %	128	30	1			128	45	1			118	1	1			2247	5	3		
Frequências de Ocorrência 60 %	126	21	1			115	32	1			86	1	1			1733	3	2		
Frequências de Ocorrência 50 %	120	7	1			108	12	1			69	1	1			1160	1	2		
Frequências de Ocorrência 40 %	111	3	1			105	4	1			1	1	1			687	1	1		
Frequências de Ocorrência 30 %	100	1	1			97	1	1			1	1	1			10	1	1		
Frequências de Ocorrência 20 %	95	1	1			90	1	1			1	1	1			1	1	1		
Frequências de Ocorrência 10 %	89	1	1			83	1	1			1	1	1			1	1	1		
Número de Dados	98	98	98			45	45	45			26	26	26			21	21	21		
Taxa de filtração (m³/m².dia)						Filtro ascendente em areia grossa					120 a 360									
						Filtro rápido descendente					180 a 480									
Tamanho dos grãos (mm)						Filtro ascendente em areia grossa					1,0 a 2,4									
						Filtro rápido descendente					0,3 a 2,00									
Tamanho efetivo (mm)						Filtro ascendente em areia grossa					1,15 a 1,8									
						Filtro rápido descendente					0,43 a 0,85									
Coefficiente de desuniformidade						Filtro ascendente em areia grossa					1,4 a 1,5									
						Filtro rápido descendente					1,5 a 1,7									
Duração da carreira de filtração (horas)						Filtro ascendente em areia grossa					4 a 72									
						Filtro rápido descendente					4 a 36									
Descargas de fundo intermediárias											Com e Sem									
Coagulante utilizado											Sulfato de Alumínio									
Mecanismo de coagulação											Neutralização de cargas									

**Tabela 17. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência do filtro ascendente em pedregulho - FAP da tecnologia de dupla filtração**

Estatística	Turbidez (uT) - 1,0 uT					Turbidez (uT) - 0,5uT					Cor aparente (uC)				
	Água Bruta	Água FAP	Água FRD	Remoção do FAP (%)	Remoção do FRD (%)	Água Bruta	Água FAP	Água FRD	Remoção do FAP (%)	Remoção do FRD (%)	Água Bruta	Água FAP	Água FRD	Remoção do FAP (%)	Remoção do FRD (%)
Média	22	2,31	0,14	80,57	89,82	23	2,00	0,09	83,0	92,1	129	15	1	87,4	74,6
Moda	10	0,29	0,033			10	0,29	0,03			131	3	1		
Desvio Padrão	50	3,12	0,23			53	2,28	0,11			48	14	1		
Mediana	11	1,5025	0,044			11	1,41	0,04			126	12	1		
Coefficiente de Variação (%)	224	134,77	162,33			225	113,94	124,17			37	91	104		
Mínimo	1	0,14	0			1	0,15	0,00			59	1	1		
Frequências de Ocorrência 100 %	384	34,7	3,4			384	25,40	0,93			407	52	8		
Frequências de Ocorrência 95 %	83	6,4	0,6			155	5,46	0,36			218	45	4		
Frequências de Ocorrência 90 %	19	4,6	0,5			17	17,01	17,01			148	34	1		
Frequências de Ocorrência 80 %	15	3,1	0,2			14	2,90	0,13			133	29	1		
Frequências de Ocorrência 70 %	13	2,4	0,1			13	2,38	0,06			131	18	1		
Frequências de Ocorrência 60 %	12	1,9	0,1			12	1,85	0,05			128	16	1		
Frequências de Ocorrência 50 %	11	1,5	0,0			11	1,41	0,04			126	12	1		
Frequências de Ocorrência 40 %	10	1,1	0,0			10	1,03	0,04			121	8	1		
Frequências de Ocorrência 30 %	10	0,8	0,0			10	0,72	0,03			111	5	1		
Frequências de Ocorrência 20 %	9	0,5	0,0			9	0,49	0,03			101	3	1		
Frequências de Ocorrência 10 %	6	0,3	0,0			9	0,33	0,03			91	2	1		
Número de Dados	750	750	750			680	680	680			68	68	68		
Taxa de filtração (m³/m².dia)	Filtro ascendente em pedregulho					60 a 240									
	Filtro rápido descendente					80 a 300									
Tamanho dos grãos (mm)	Filtro ascendente em pedregulho					1,41 a 50									
	Filtro rápido descendente					0,3 a 1,41									
Tamanho efetivo (mm)	Filtro ascendente em pedregulho					(-)									
	Filtro rápido descendente					0,42 a 0,71									
Coefficiente de desuniformidade	Filtro ascendente em pedregulho					(-)									
	Filtro rápido descendente					1,6 a 1,7									
Duração da carreira de filtração (horas)	Filtro ascendente em pedregulho					4 a 72									
	Filtro rápido descendente					4 a 36									
Descargas de fundo intermediárias						Com e Sem									
Coagulante utilizado						Sulfato de Alumínio									
Mecanismo de coagulação						Neutralização de cargas									

**Tabela 17. Estatística descritiva dos dados das variáveis de risco que permitem avaliar a eficiência do filtro ascendente em pedregulho – FAP da tecnologia de dupla filtração - continuação**

Estatística	Cor verdadeira (uH)					<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)					Coliformes totais (NMP/100mL)				
	Água Bruta	Água FAP	Água FRD	Remoção do FAP (%)	Remoção do FRD (%)	Água Bruta	Água FAP	Água FRD	Remoção do FAP (%)	Remoção do FRD (%)	Água Bruta	Água FAP	Água FRD	Remoção do FAP (%)	Remoção do FRD (%)
Média	30,52	1,96	1,10	92,6	26,5	86	8	1	58,2	45,1	1424	66	6	67	54
Moda	35	1	1			1	1	1			1	1	1		
Desvio Padrão	7,67	2,81	1,56			89	10	1			1833	80	10		
Mediana	30,00	1,00	1,00			72	1	1			687	30	1		
Coefficiente de Variação (%)	25,14	143,26	141,34			103	124	79			129	122	158		
Mínimo	19,00	0,00	0,00			1	0	0			1	1	0		
Frequências de Ocorrência 100 %	50,0	14,0	9,0			340	34	4			6867	236	42		
Frequências de Ocorrência 95 %	47,0	9,0	2,3			247	25	3			5248	214	26		
Frequências de Ocorrência 90 %	41,2	3,3	1,0			192	24	2			4185	198	11		
Frequências de Ocorrência 80 %	35,0	2,0	1,0			156	18	1			2405	153	8		
Frequências de Ocorrência 70 %	33,0	1,0	1,0			125	14	1			1757	93	7		
Frequências de Ocorrência 60 %	32,0	1,0	1,0			91	4	1			1203	38	4		
Frequências de Ocorrência 50 %	30,0	1,0	1,0			72	1	1			687	30	1		
Frequências de Ocorrência 40 %	28,6	1,0	1,0			57	1	1			292	13	1		
Frequências de Ocorrência 30 %	26,0	1,0	1,0			1	1	1			10	1	1		
Frequências de Ocorrência 20 %	25,0	1,0	0,0			1	1	1			1	1	1		
Frequências de Ocorrência 10 %	20,0	0,7	0,0			1	1	0			1	1	1		
Número de Dados	48	48	48			32	32	32			33	33	33		
Taxa de filtração (m³/m²/dia)						Filtro ascendente em pedregulho					60 a 240				
						Filtro rápido descendente					80 a 300				
Tamanho dos grãos (mm)						Filtro ascendente em pedregulho					1,41 a 50				
						Filtro rápido descendente					0,3 a 1,41				
Tamanho efetivo (mm)						Filtro ascendente em pedregulho					(-)				
						Filtro rápido descendente					0,42 a 0,71				
Coefficiente de desuniformidade						Filtro ascendente em pedregulho					(-)				
						Filtro rápido descendente					1,6 a 1,7				
Duração da carreira de filtração (horas)						Filtro ascendente em pedregulho					4 a 72				
						Filtro rápido descendente					4 a 36				
Descargas de fundo intermediárias											Com e Sem				
Coagulante utilizado											Sulfato de Alumínio				
Mecanismo de coagulação											Neutralização de cargas				

A remoção de cor aparente, na FAAG e FAP foi praticamente a mesma, por volta de 80%. O FRD da DF com FAP foi mais eficiente na remoção do parâmetro (74,6%), gerando água filtrada conforme as recomendações da Portaria 2914 (2011).

O FAAG foi um pouco mais eficiente na remoção de coliformes totais (70%) se comparado ao FAP (67%), porém, o FRD da DF com FAP apresentou melhor desempenho na redução do parâmetro (54%). No caso da *Escherichia coli*, a eficiência do FAAG e FAP foi praticamente a mesma, em torno de 50%, contudo, o FRD da DF com FAP teve melhor desempenho com 45,1% contra 20,7% do FRD da DF com FAAG.

Em resumo, segundo as Tabelas 16 e 17, constata-se que a DF com FAAG apresenta melhor desempenho na remoção do parâmetro presente no manancial de abastecimento. Verifica-se, igualmente, que o FRD da DF com FAP precisa ter maior eficiência para gerar água filtrada com características compatíveis à Portaria nº 2914 (2011).

## 5.2 Produção de Resíduos na Tecnologia de Dupla Filtração

A produção de resíduos na DF foi calculada utilizando dois arquivos em *Excel* desenvolvidos, considerando as recomendações de turbidez da Tabela 15. Os arquivos em *Excel* foram desenvolvidos para ETA com vazões de projeto de 10, 20, 40, 70 e 100 L/s (o Apêndice C apresenta um exemplo das planilhas desenvolvidas).

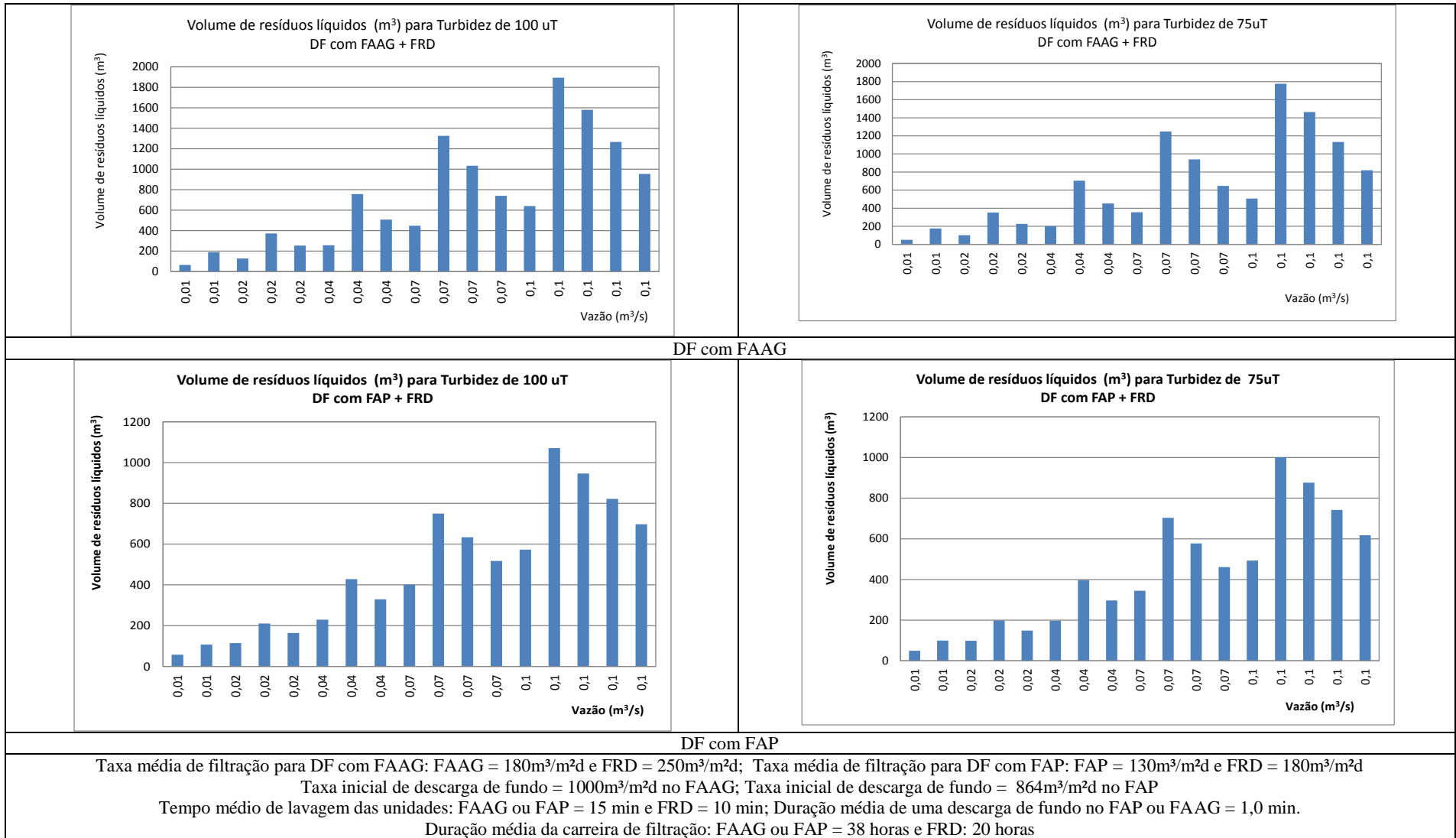
As Figuras 16 a 20 apresentam a produção diária de resíduos e a massa diária de sólidos para cada tecnologia de dupla filtração (FAAG/FRD e FAP/FRD) em função da oscilação da taxa de filtração e da taxa de descarga de fundo do filtro ascendente recomendada em Di Bernardo e Sabogal Paz (2007) e Sabogal Paz (2010).

### 5.2.1 Volume de resíduos em função da taxa de descarga do filtro ascendente

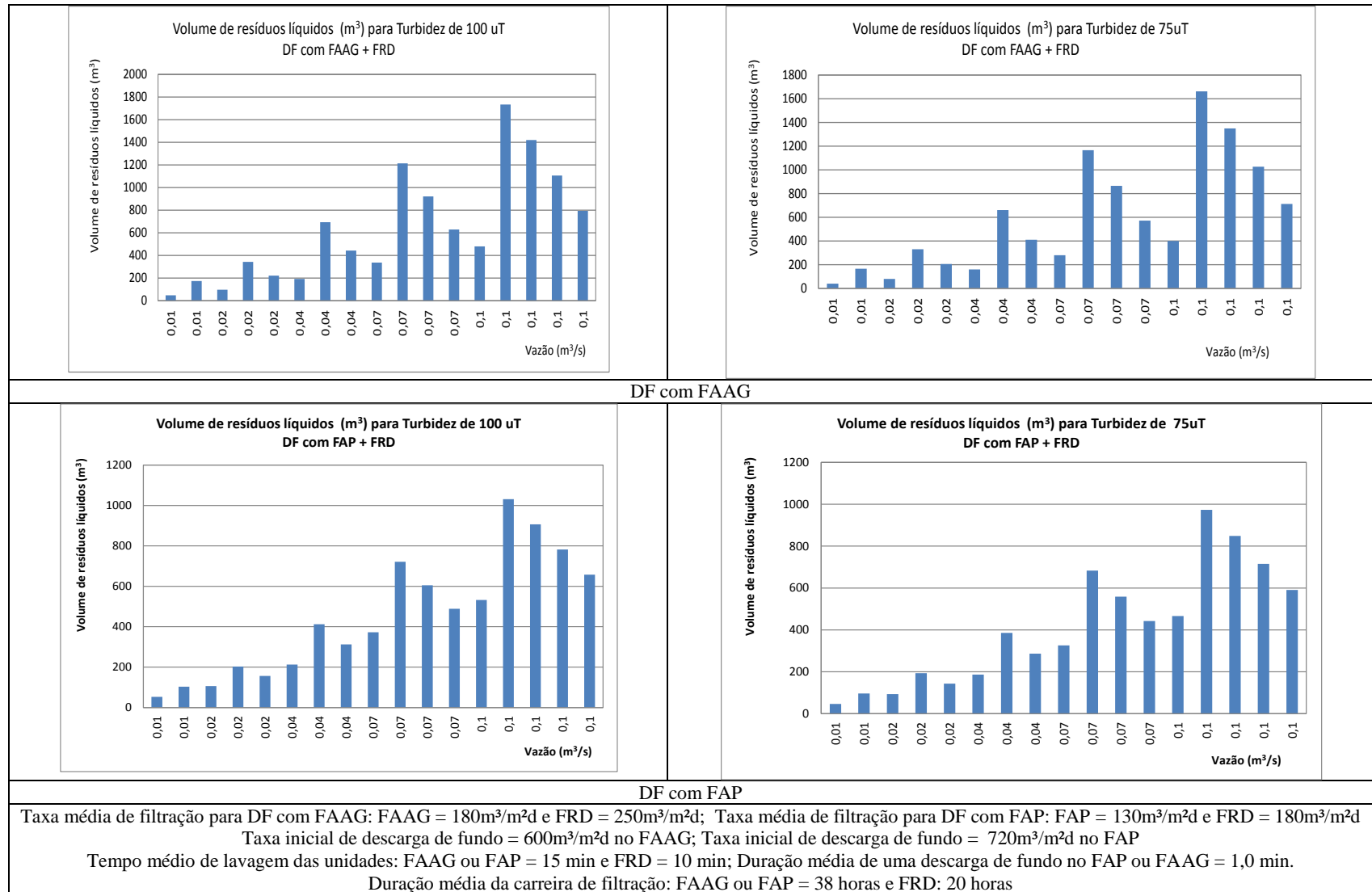
A taxa de descarga de fundo no filtro ascendente (FAAG ou FAP) pode ser representada pela Equação 3.

$$T_d = Q_d/A_f \quad \text{Equação 3}$$

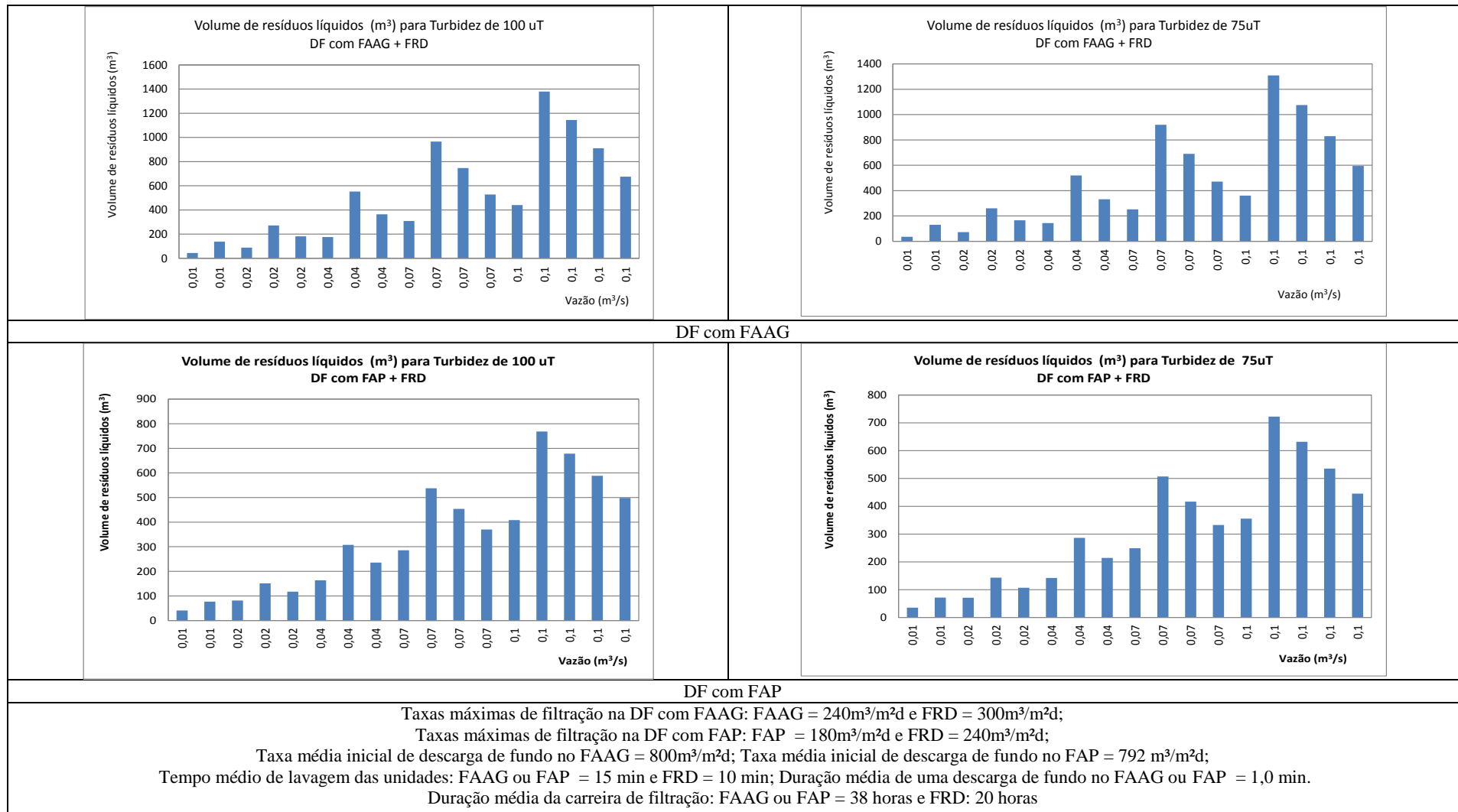
Em que,  $T_d$ : taxa de descarga ( $m^3/m^2d$ );  $Q_d$ : vazão de descarga ( $m^3/d$ ); e  $A_f$ : área em planta do filtro ( $m^2$ ). Ao implantar os filtros ascendentes na estação de DF, a área de cada unidade é pré-fixada e constante, assim, um aumento na taxa inicial de descarga implicaria no incremento da vazão residual e, conseqüentemente, maior produção de resíduos quando o tempo da descarga permanece inalterado.



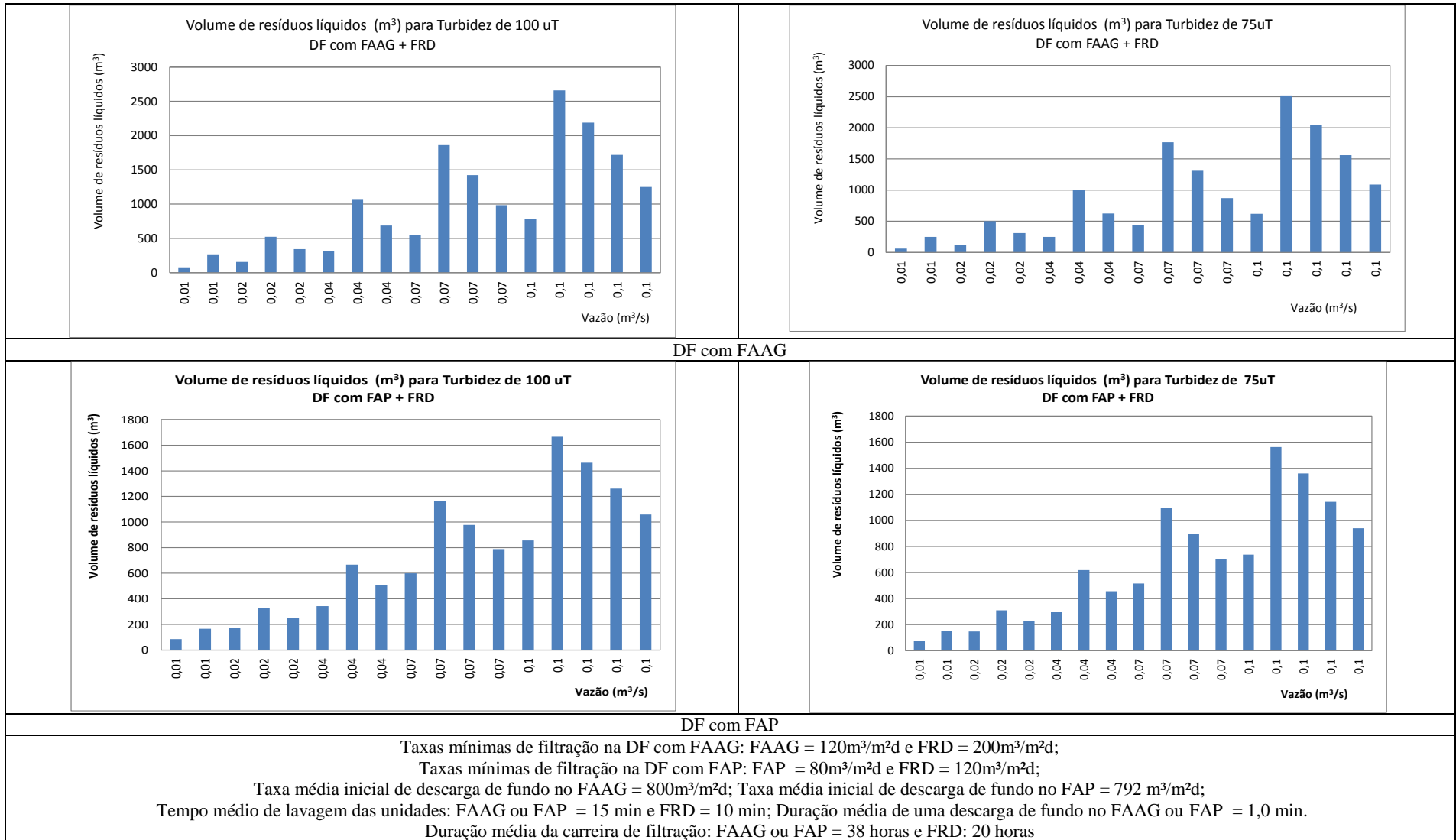
**Figura 16. Produção de resíduos da DF com FAAG ou FAP em função da adoção de uma taxa inicial de descarga de fundo máxima nos filtros ascendentes**



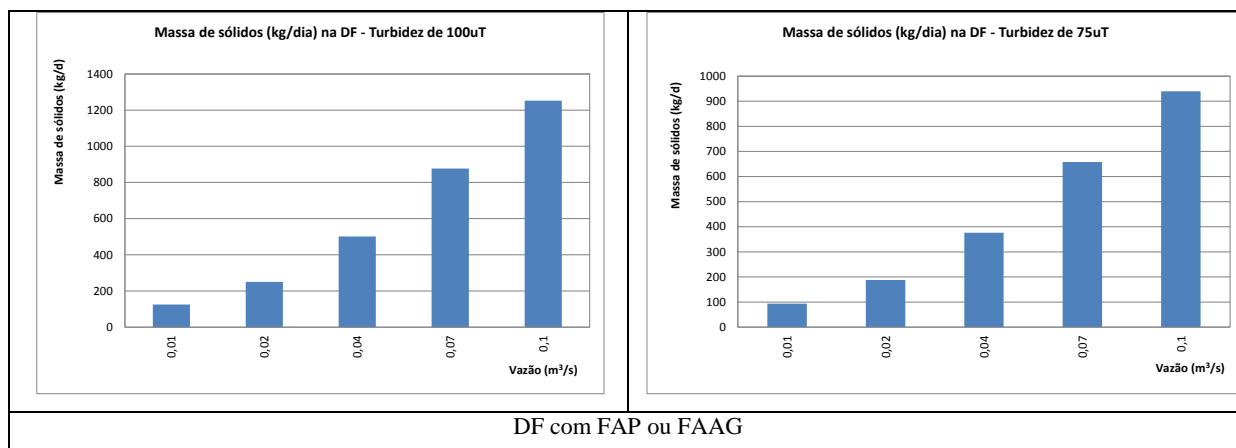
**Figura 17. Produção de resíduos da DF com FAAG ou FAP em função da adoção de uma taxa inicial de descarga de fundo mínima nos filtros ascendentes**



**Figura 18. Produção de resíduos na DF com FAAG ou FAP em função do emprego de taxas máximas de filtração nas unidades**



**Figura 19. Produção de resíduos na DF com FAAG ou FAP em função do emprego de taxas mínimas de filtração nas unidades**



**Figura 20. Massa diária de sólidos (kg/d) gerada na tecnologia de DF**

As Figuras 16 e 17 mostram que para a DF (com FAAG ou com FAP) a suposição acima se fez verdadeira porque a geração de resíduos foi proporcional à taxa de descarga de fundo, para todas as vazões de projeto avaliadas. Neste caso, para uma taxa de descarga máxima ( $1000\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  para FAAG e de  $864\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  para FAP) houve maior geração de resíduos líquidos, tanto para a turbidez máxima (100uT) como para turbidez de 75uT (correspondente à frequência de ocorrência de 95% indicada na Tabela 15).

O volume de resíduos gerado foi maior na DF com FAAG, fato que pode estar relacionado às maiores taxas de descarga recomendadas para a tecnologia (até  $1000\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ) além de precisar água na interface (pedregulho – areia grossa).

A Tabela 18 apresenta o volume de resíduos gerado em cada tecnologia, em função da vazão de projeto. Para as condições estudadas observa-se que a DF com FAAG produz maior volume de resíduos.

Constatou-se, igualmente, que a oscilação de volume de resíduos em função da vazão de projeto depende da programação diária da limpeza das unidades, deste modo, existem dias nos quais somente um filtro é lavado e dias em que todas as unidades devem ser retiradas para limpeza.

### 5.2.2 Volume de resíduos em função da taxa de filtração

A taxa de filtração pode ser representada pela Equação 4. Em que,  $T_f$ : taxa de filtração ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ ),  $Q_a$ : vazão afluente ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) e  $A_f$ : área em planta do filtro ( $\text{m}^2$ ).

$$T_f = Q_a/A_f$$

Equação 4

No projeto de filtros, a vazão afluyente de cada unidade é pré-fixada e constante, então, o aumento da taxa de filtração implicará a diminuição da área em planta requerida para cada unidade, assim, teoricamente, haveria menor produção de resíduos quando a carreira de filtração é inalterada. As Figuras 18 e 19 representam o fato anterior.

Na Tabela 19 verifica-se que quando as menores taxas de filtração são utilizadas a produção de resíduos aumenta quando a carreira média de filtração permanece inalterada (38h para FAAG ou FAP e 20h para FRD). Constata-se, igualmente, que a produção de resíduos é um pouco maior quando são utilizadas as menores taxas de filtração na tecnologia de DF com FAP, esse fenômeno pode acontecer pelo requerimento de maiores áreas nas unidades de filtração.

### 5.2.3 Massa de sólidos gerados diariamente na DF

O cálculo da massa diária de sólidos precisou da aplicação das Equações 1 e 2 considerando os valores de turbidez apresentados na Tabela 15. Como os valores de turbidez para as frequências de ocorrência de 100% e 95% foram iguais para as tecnologias de DF (FAAG/FRD e FAP/FRD), a produção de resíduos foi idêntica, conforme Figura 20, independente da oscilação da taxa de filtração ou da taxa de descarga de fundo nos filtros ascendentes.

**Tabela 18. Volume de resíduos gerado na DF em função da oscilação da taxa de descarga de fundo**

Turbidez	Turbidez = 100uT		Turbidez = 75uT		Turbidez	T = 100uT		T = 75uT	
Tipo de DF	DF + FAAG	DF + FAP	DF + FAAG	DF + FAP	Tipo de DF	DF + FAAG	DF + FAP	DF + FAAG	DF + FAP
Vazão (m³/s)	Taxa média de filtração nas unidades				Vazão (m³/s)	Taxa média de filtração nas unidades			
	FAAG:180 m³/m²d FRD: 250m³/m²d	FAP:130 m³/m²d FRD: 180m³/m²d	FAAG:180 m³/m²d FRD: 250m³/m²d	FAP:130 m³/m²d FRD: 180m³/m²d		FAAG:180 m³/m²d FRD: 250m³/m²d	FAP:130 m³/m²d FRD: 180m³/m²d	FAAG:180 m³/m²d FRD: 250m³/m²d	FAP:130 m³/m²d FRD: 180m³/m²d
<b>Condição 1: Taxa inicial de descarga de fundo máxima recomendada</b> Taxa inicial de descarga de fundo = 1000m³/m²d no FAAG; Taxa inicial de descarga de fundo = 864m³/m²d no FAP Tempo médio de lavagem das unidades: FAAG ou FAP = 15 min e FRD = 10 min; Duração média de uma descarga de fundo no FAP ou FAAG = 1,0 min. Duração média da carreira de filtração: FAAG ou FAP = 38 horas e FRD: 20 horas					<b>Condição 2: Taxa inicial de descarga de fundo mínima recomendada</b> Taxa inicial de descarga de fundo = 600m³/m²d no FAAG; Taxa inicial de descarga de fundo = 720m³/m²d no FAP Tempo médio de lavagem das unidades: FAAG ou FAP = 15 min e FRD = 10 min; Duração média de uma descarga de fundo no FAP ou FAAG = 1,0 min. Duração média da carreira de filtração: FAAG ou FAP = 38 horas e FRD: 20 horas				
Volume de resíduos (m³)									
0,01	64	57	51	49	0,01	48	53	40	47
0,01	189	107	176	99	0,01	173	103	165	96
0,02	128	115	101	99	0,02	96	107	80	93
0,02	372	210	352	198	0,02	343	203	331	193
0,02	253	164	227	148	0,02	221	156	205	143
0,04	256	229	203	197	0,04	192	213	160	187
0,04	757	428	704	397	0,04	693	412	661	386
0,04	507	329	453	297	0,04	443	313	411	286
0,07	448	401	355	345	0,07	336	373	280	326
0,07	1325	750	1247	703	0,07	1213	722	1166	683
0,07	1033	633	939	578	0,07	921	606	865	559
0,07	740	517	647	461	0,07	628	489	572	443
0,1	640	573	507	493	0,1	480	533	400	466
0,1	1893	1071	1776	1001	0,1	1733	1031	1663	973
0,1	1580	946	1463	877	0,1	1420	907	1350	848
0,1	1266	822	1133	742	0,1	1106	782	1026	715
0,1	953	697	820	617	0,1	793	657	713	591

**Tabela 19. Volume de resíduos gerado na DF em função da oscilação da taxa de filtração**

Vazão (m³/s)	T = 100uT		T = 75uT		Vazão (m³/s)	T = 100uT		T = 75uT	
	DF + FAAG	DF + FAP	DF + FAAG	DF + FAP		DF + FAAG	DF + FAP	DF + FAAG	DF + FAP
	FAAG: 240 m³/m²d FRD: 300 m³/m²d	FAP: 180 m³/m²d FRD: 240 m³/m²d	FAAG: 240 m³/m²d FRD: 300 m³/m²d	FAP: 180 m³/m²d FRD: 240 m³/m²d		FAAG: 120 m³/m²d FRD: 200 m³/m²d	FAP: 80 m³/m²d FRD: 120 m³/m²d	FAAG: 120 m³/m²d FRD: 200 m³/m²d	FAP: 80 m³/m²d FRD: 120 m³/m²d
Taxas máximas de filtração recomendadas					Taxas mínimas de filtração recomendadas				
<p><b>Condição 1: taxas máximas de filtração recomendadas</b>            Taxa inicial de descarga de fundo = 800 m³/m²d no FAAG;            Taxa inicial de descarga de fundo = 720 m³/m²d no FAP;            Tempo médio de lavagem das unidades: FAAG ou FAP = 15 min e FRD = 10 min;            Duração média de uma descarga de fundo no FAP ou FAAG = 1,0 min.            Duração média da carreira de filtração: FAAG ou FAP = 38 horas e FRD: 20 horas</p>					<p><b>Condição 2: taxas mínimas de filtração recomendadas</b>            Taxa inicial de descarga de fundo = 800 m³/m²d no FAAG;            Taxa inicial de descarga de fundo = 720 m³/m²d no FAP;            Tempo médio de lavagem das unidades: FAAG ou FAP = 15 min e FRD = 10 min;            Duração média de uma descarga de fundo no FAP ou FAAG = 1,0 min.            Duração média da carreira de filtração: FAAG ou FAP = 38 horas e FRD: 20 horas</p>				
Volume de resíduos (m³)									
0,01	44	41	36	36	0,01	78	86	62	74
0,01	138	77	130	72	0,01	266	167	250	155
0,02	88	82	72	71	0,02	156	171	124	148
0,02	272	151	260	143	0,02	524	327	500	310
0,02	182	118	166	107	0,02	344	252	312	229
0,04	176	163	144	142	0,04	312	343	248	295
0,04	552	307	520	286	0,04	1064	667	1000	619
0,04	364	235	332	214	0,04	688	505	624	457
0,07	308	286	252	249	0,07	546	599	434	516
0,07	966	538	919	507	0,07	1861	1166	1768	1097
0,07	746	454	690	417	0,07	1423	977	1311	894
0,07	527	370	471	333	0,07	984	788	872	705
0,1	440	408	360	356	0,1	780	856	620	738
0,1	1380	768	1310	722	0,1	2659	1666	2519	1562
0,1	1145	678	1075	632	0,1	2189	1464	2049	1360
0,1	910	588	830	536	0,1	1720	1261	1560	1143
0,1	675	498	595	446	0,1	1250	1059	1090	940

### 5.2.4 Produção de resíduos em ETA em escala real

A ETA 5, com FAAG, forneceu dados de geração de resíduos. Essas informações não podem ser comparadas aos resultados obtidos na pesquisa, uma vez que os dados correspondem ao resíduo já adensado. De qualquer forma, os dados foram essenciais para um breve conhecimento da geração dos resíduos de uma ETA em escala real. Sendo assim, os dados estão expostos na Figura 21.

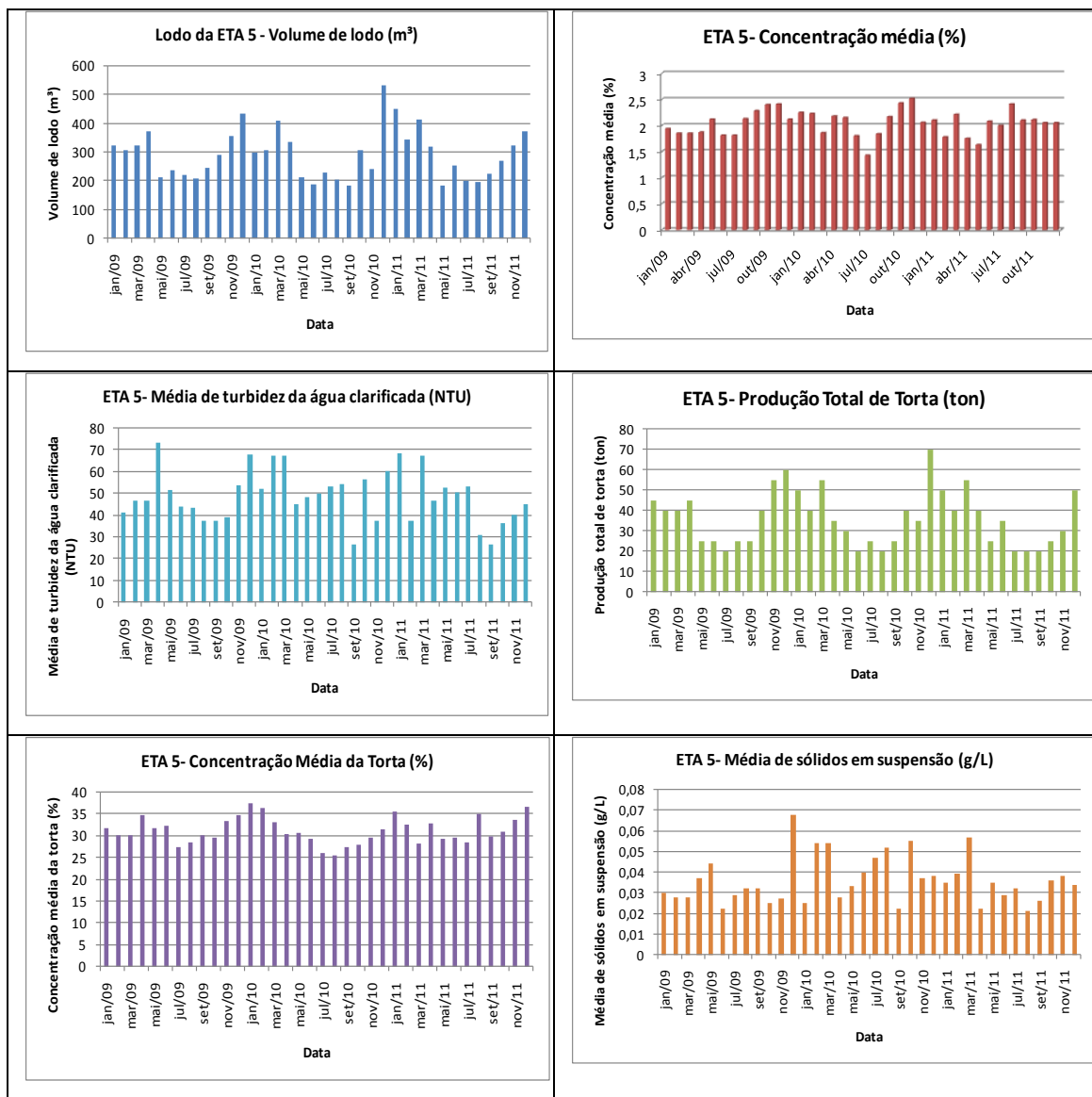


Figura 21. Produção de resíduos adensados na ETA 5

## 6. CONCLUSÕES

Em relação à eficiência da dupla filtração com filtro ascendente em areia grossa – FAAG ou filtro ascendente em pedregulho:

- Para turbidez, atendendo ao valor máximo de 0,5uT conforme Portaria 2914 (2011), as remoções na DF com FAAG e FAP foram, respectivamente, 99,1% e 98,6%. Apesar de a diferença ter sido mínima e a remoção tenha alcançado valores desejáveis para os dois filtros ascendentes, conclui-se que a DF com FAAG foi mais eficiente na remoção do parâmetro talvez porque o FAAG possui menor granulometria quando comparado ao FAP.
- Para cor aparente, a remoção foi de 95,8% na DF com FAP e de 98,8% na DF com FAAG, sem utilizar o processo de oxidação. O estabelecimento de limites foi complicado pelo fato de que a maioria dos dados elevados veio de ETA em escala piloto. Com o processo de oxidação, só foi possível analisar a DF com FAAG, nesse caso, houve 98,6% de remoção.
- Para cor verdadeira, a remoção na DF com FAP e FAAG foi de, respectivamente, 96,1% e 96,6%. A tomada de decisão sobre os valores limites foi dificultada pelo fato de que não existirem dados de cor verdadeira nas ETA em escala real avaliadas.
- Para coliformes totais, a DF com FAAG obteve remoção de 99% e a DF com FAP, de 73,1%. Conclusões mais aprofundadas são difíceis de serem obtidas, uma vez que a tecnologia com FAAG foi baseada na coleta de 635 dados, enquanto que a com FAP a discussão foi baseada somente com 35 dados.
- Para *Escherichia coli*, houve remoção de 97,9% na DF com FAAG e de 64,8% na DF com FAP. Novamente, essa diferença nas eficiências tem, principalmente, dois motivos: menor quantidade de dados na DF com FAP (32) do que na DF com FAAG (543) e somente haver dados de ETA em escala piloto na primeira tecnologia.

- Para ferro total, a remoção foi de 73,6% na DF com FAAG e de 97,4% na DF com FAP. Para manganês total, a remoção foi de 39,3% na DF com FAAG e 54,5% na DF com FAP. Apesar de a remoção ter sido baixa nos dois parâmetros, a eficiência da tecnologia foi comprovada, pois os valores para água tratada estiveram bem abaixo do permitido pela Portaria 2914 (2011). Os baixos valores de eficiência ocorreram, também, porque as águas brutas avaliadas já tinham valor baixo dos parâmetros.
- O filtro ascendente em areia grossa mostrou-se mais eficiente na remoção dos parâmetros. Porém um fator importante, que deve ser levado em consideração, é que os ensaios com cada tecnologia foram feitos em diferentes condições do ambiente e da água bruta.

Em relação à eficiência do pré-filtro (filtro ascendente em areia grossa e filtro ascendente em pedregulho):

- Para turbidez, a remoção do FAAG foi de 95,1% e do FAP de 83%. Em compensação o FRD conjugado ao FAP teve maior eficiência quando trabalhando com ao do FAAG (92,1% contra 49%). Isso pode ser explicado, pois, para DF com FAAG, houve menor tendência ao traspasse, sendo assim, menor quantidade de impurezas chegaram ao FRD. Já na DF com FAP, houve maior tendência ao traspasse, por isso o FRD teve de ter uma eficiência maior para retirar uma maior quantidade de impurezas vindas do FA.
- Para cor verdadeira, a mesma situação anterior aconteceu. Enquanto o FAAG proporcionou remoção de 95,7% e o FAP de 92,6%, seus respectivos FRD apresentaram remoção de 10,9% e 26,5%.
- Para cor aparente, a remoção no FA foi praticamente a mesma, em torno de 80%. No entanto, ao comparar o FRD que sucede o FAP, ele teve eficiência maior eficiência (74,6%) quando comparado ao FRD sucede o FAAG (58,1%).
- Para coliformes totais, o FAAG se mostrou mais eficiente (70%) que o FAP (67%). Mas, mais uma vez, o FRD precedido de FAP teve eficiência maior.
- Para a *Escherichia Coli*, a remoção nos FA foi praticamente a mesma (em torno de 50%), com o FRD precedido de FAP registrando maior eficiência.

- O FAAG apresenta melhor desempenho na remoção dos parâmetros. Sendo assim, é necessário que o FRD que sucede o FAP seja mais eficiente, de modo a gerar água filtrada dentro dos padrões de potabilidade.
- A DF com FAAG se mostrou, no presente trabalho, a tecnologia com mais eficiência na remoção dos parâmetros estudados. É válido ressaltar que os resultados teriam bem mais consistência caso tivessem sido usados os mesmos sistemas de tratamento e a mesma água bruta. Fatores externos e a composição da água bruta devem ser levados em consideração na escolha da tecnologia.

Em relação à geração dos resíduos na tecnologia de dupla filtração:

- Quanto maior foi a taxa de descarga dos filtros ascendentes, maior foi a geração de resíduos. A recomendação de taxas maiores para DF com FAAG pode ser uma das razões para que a geração de resíduos tenha sido maior nesse caso, somado ao fato de que é necessária a aplicação de água na interface pedregulho/areia grossa.
- A DF com FAAG gerou maior volume de resíduos, intensificando o papel da taxa de descarga e do uso de água na interface na produção de resíduos. Além disso, também foram analisadas diversas situações ligadas à programação da limpeza dos filtros, mostrando que a mesma e o treinamento dos funcionários são fundamentais para reduzir a produção de resíduos na ETA.
- A taxa de descarga de fundo no FAAG e FAP deve ser escolhida com critério, porque taxas menores podem gerar menor remoção de impurezas, uma vez que a velocidade de passagem da água pelo meio filtrante é baixa. No entanto, taxas maiores implicarão maior produção de resíduos para um mesmo tempo de descarga.
- Quanto menores as taxas de filtração maior foi a produção de resíduos na tecnologia de dupla filtração. Comparando as duas tecnologias, houve sutil diferença: a DF com FAP gerou mais resíduos com as menores taxas de filtração.
- Da perspectiva ambiental, para filtros com mesma composição granulométrica, quando a carreira de filtração permanece inalterada, a adoção de maiores taxas de filtração pode gerar menor volume de resíduos, porém, do ponto de vista sanitário, a taxa de filtração deve ser cuidadosamente escolhida, principalmente quando existem valores elevados dos parâmetros de qualidade na água bruta, uma vez que taxas de filtração menores garantem maior eficiência na remoção das impurezas

porque a velocidade de passagem da água pelo meio filtrante é reduzida. Esses fatores devem ser ponderados na escolha da taxa de filtração.

- Constatou-se que para alguns casos, a DF com FAAG produziu mais resíduos e, para outros, menos. Isso porque, como já dito, vários fatores influenciam na geração dos mesmos. Por isso, uma análise cuidadosa deve ser feita antes da escolha da tecnologia. É válido ressaltar que qualquer escolha implicará mudança na quantidade de resíduos gerada. Variáveis como taxa de descarga, taxa de filtração, número e tamanho dos filtros e programação de sua limpeza devem ser criteriosamente escolhidas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS -ASCE; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION-AWWA (1996). **Technology Transfer Handbook: Management Of Water Treatment Plant Residual**. New York. 294 P.

BENINI (2003). **Remoção de substâncias húmicas na dupla filtração com filtro ascendente de pedregulho**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.

BRASIL, Portaria N°. 2914/2011. **Padrão de Potabilidade**. Ministério da Saúde.

BRASIL, Portaria N°. 518/2004. **Padrão de Potabilidade**. Ministério da Saúde.

CORNWELL D. A.; BISHOP M. M.; GOULD G. R.; VANDERMEYDEN C. (1987). **Handbook of Practice – Water Treatment Plant Waste Management**. American Water Works Association, Denver, USA.

DI BERNARDO, A (2004). **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.

DI BERNARDO, L ; SABOGAL PAZ, L. P . **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. 1. ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2008. v. 2. 1560 p.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A D (2005). **Métodos e técnicas de tratamento de água**. *Ed RIMA*. 2ª edição.

DUARTE, M.A.C (2011). **Tratamento de Água para Consumo Humano de Reservatório Eutrofizado Através de Pré e Interoxidação, Adsorção em Carvão Ativado e Dupla Filtração**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

GUSMÃO, P. T. R (2001). **Utilização de filtração direta ascendente como pré-tratamento a filtração rápida descendente para tratamento de águas para abastecimento**. Tese (Doutorado). EESC/USP. São Carlos/SP.

KURODA, E (2002). **Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.

KURODA, E (2006) **Remoção de células e subprodutos de microcystis spp. por dupla filtração, oxidação e adsorção.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.

PAULA, D (2003). **Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando filtração ascendente em areia grossa.** Dissertação (Mestrado). EESC/USP. São Carlos/SP.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB (2003). **Tratamento de Água Para Abastecimento por Filtração Direta.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa. 480p.

SABOGAL PAZ, L P (2007). **Modelo Conceitual de Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno Porte.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.

SABOGAL PAZ, L P (2010). Pesquisa de Pós-Doutorado: **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Abastecimento de Comunidades de Pequeno e Médio Porte.** Relatório Final. FAPESP. São Paulo/SP.

SABOGAL PAZ, L. P; DI BERNARDO, L (2007) **Eficiência e Risco na Seleção da Tecnologia de Dupla Filtração.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte / MG.

TSUTIYA, M.T; HIRATA. A. Y (2001) **Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água do Estado de São Paulo.** Congresso

Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. João Pessoa. Brasil. Anais Eletrônicos I-025.

WIECHETECK, G. K (2005) **Remoção de substâncias húmicas em tratamento de água por meio de pré-oxidação e dupla filtração.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for drinking-water quality. Recommendations.** V.1. 5rd ed. Geneva. 2011.

## **8. APÊNDICES**

APÊNDICE A - Figuras e Estatística Descritiva dos Autores

APÊNDICE B - Descrição e Figuras das ETA em Escala Real

APÊNDICE C - Exemplo da Planilha de Cálculo Utilizada para Quantificar a Produção de Resíduos da Tecnologia de DF

## APÊNDICE A. FIGURAS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS AUTORES

### A1. Wiecheteck (2005)

O ensaio foi realizado em duas fases: uma com taxas variáveis e sem pré-oxidação e outra com taxas fixas e com pré-oxidação. As taxas médias de filtração e a pré-oxidação utilizada podem ser analisadas nas tabelas a seguir:

**Tabela A.1. Taxas de filtração por ensaio**

Sem pré-oxidação e com taxas variáveis			Sem e com pré-oxidação e taxas fixas			
Ensaio	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)		Ensaio	Taxa de filtração(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)		Oxidante
	FAAG	FRD		FAAG	FRD	
1	240	280	8	180	280	Sem pré-oxidação
2	180	200	9	180	280	Ozônio
3	180	240	10	180	280	Peróxido de hidrogênio
4	180	280	11	180	280	Tricloro-s-triazina-triona
5	120	160	12	180	280	Dióxido de cloro
6	120	200	13	180	280	Permanganato de potássio
7	120	240	14	180	280	Peroxônio
			15	180	280	Hipoclorito de sódio

**Tabela A.2. Critério para realização de DFIs**

Realização das DFIs
Ocorreram quando a cor aparente do efluente do FAAG atingia valor maior ou igual a 50uH.

### Estatística descritiva

Com os dados plotados em planilhas de Excel, foi possível realizar a estatística descritiva de cada fase do ensaio.

- Fase 1

**Tabela A.3. Estatística descritiva da fase 1**

Estatística	Cor Aparente (uC)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	117	17	1
Moda	131	1	1
Desvio Padrão	27	19	1
Mediana	6	1	1
Coefficiente de Variação (%)	23	108	71
Mínimo	80	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	238	69	7
Frequências de Ocorrência 95 %	145	50	2
Frequências de Ocorrência 90 %	134	42	1
Número de Dados	91	91	91

- Fase 2

**Tabela A.4. Estatística descritiva da fase 2**

Estatística	Cor Aparente (uC)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	117	33	2
Moda	130	1	1
Desvio Padrão	27	36	2
Mediana	111	13	1
Coefficiente de Variação (%)	23	111	128
Mínimo	73	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	184	111	12
Frequências de Ocorrência 95 %	156	99	4
Frequências de Ocorrência 90 %	149	88	2
Número de Dados	52	52	52

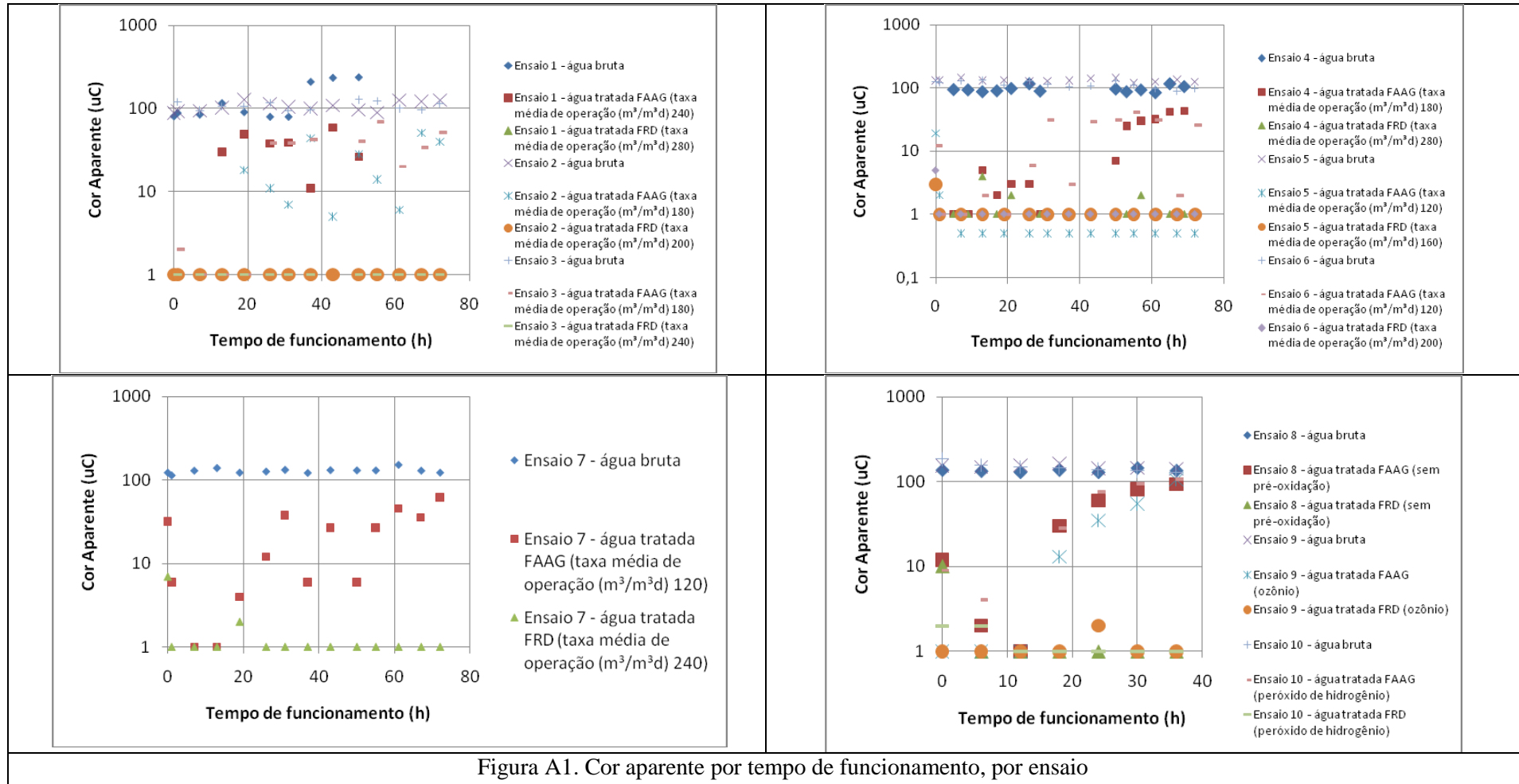
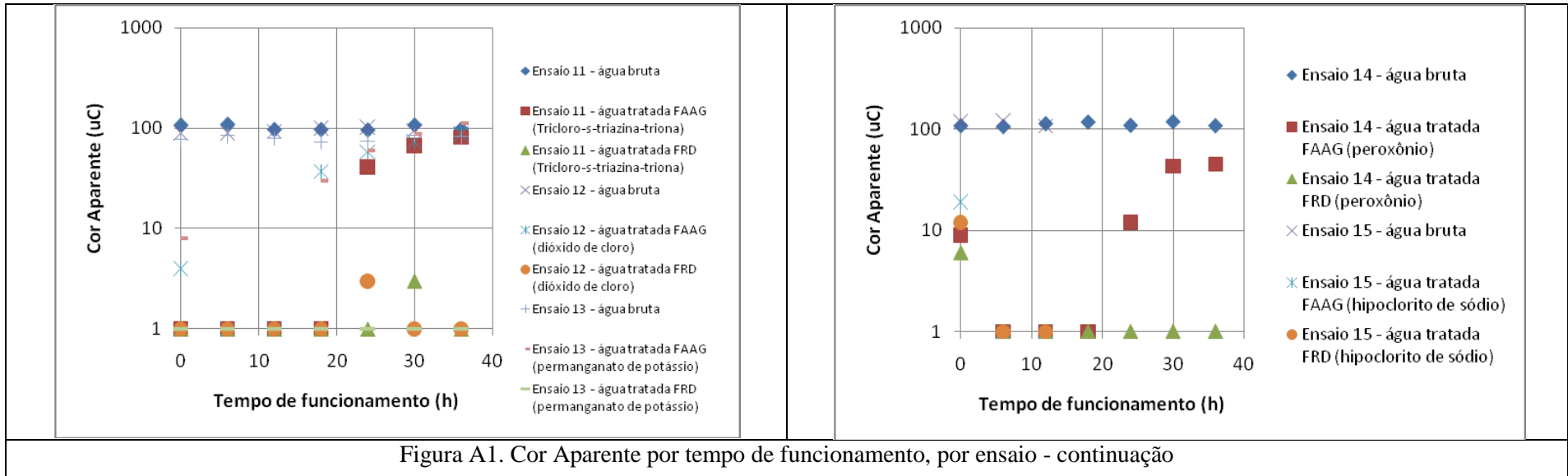


Figura A1. Cor aparente por tempo de funcionamento, por ensaio



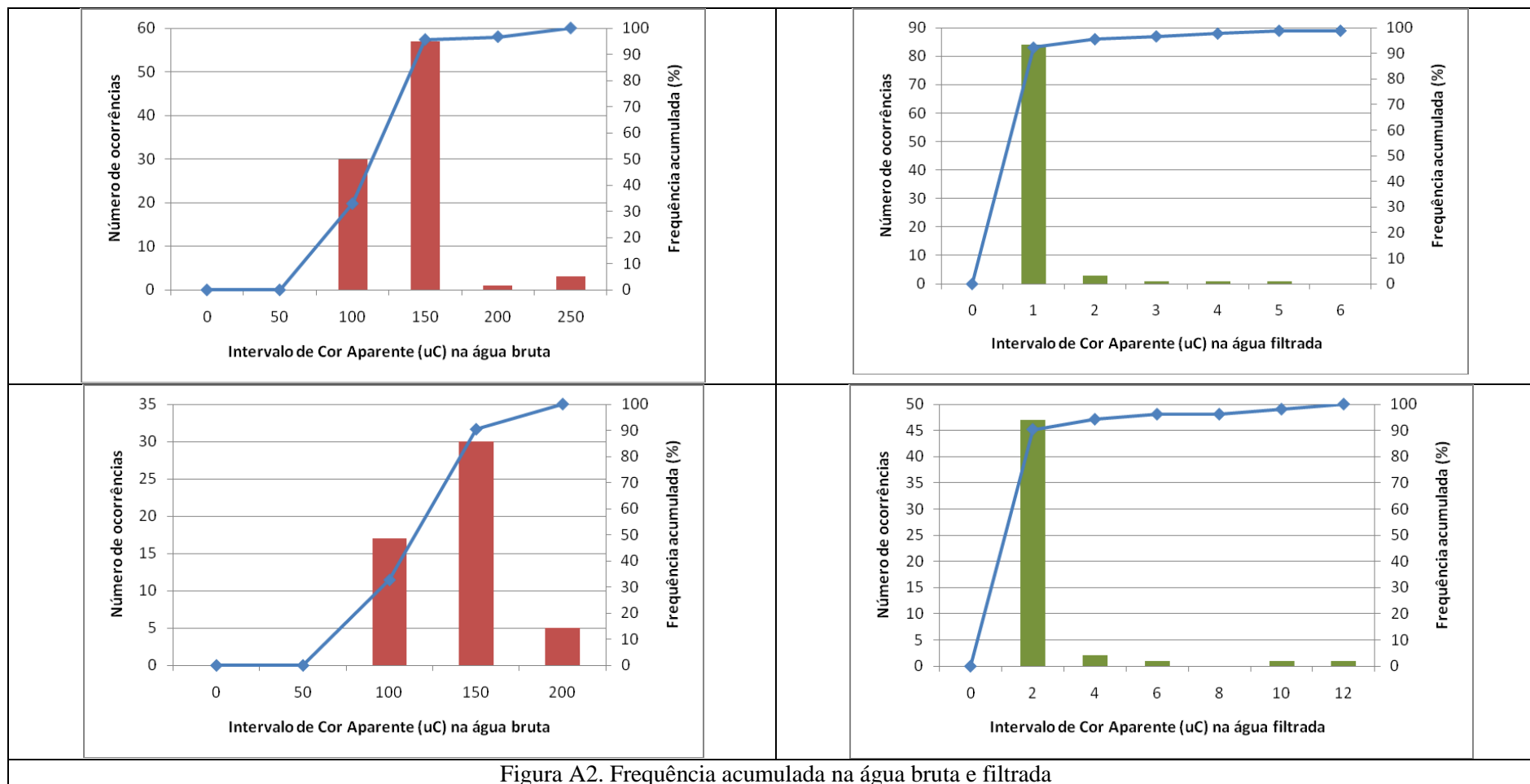


Figura A2. Frequência acumulada na água bruta e filtrada

### A.2 Di Bernardo (2004)

A autora trabalhou com dois tipos de água e dois tipos de sistemas (FAAG e FAP) e com o parâmetro de Turbidez. O detalhamento do trabalho e de cada ensaio encontra-se nas tabelas a seguir:

**Tabela A.5. Informações sobre a água de estudo**

Tipo de águas
1: água com sobrenadante de caulinita, até atingir turbidez final de 100 uT.
2: água com sobrenadante de caulinita, até atingir turbidez final de 300 uT.

Tipo de sistemas
1: Filtro ascendente em areia grossa seguido de filtro rápido descendente
2: Filtro ascendente em pedregulho seguido de filtro rápido descendente

**Tabela A.6. Taxas de filtração por ensaio**

Ensaio	Sistema	Água	Existência de DFIs	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	
				FAAG	FRD
1	I	1	Sem	120	180
2			Sem	240	360
3			Com	240	360
4			Sem	180	300
5			Com	180	300
6		2	Sem	180	300
7			Com	180	300
8			Sem	120	180
9			Com	120	180

Ensaio	Sistema	Água	Existência de DFIs	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	
				FAP	FRD
10	II	1	Sem	120	180
11			Com	120	180
12			Sem	180	300
13			Com	180	300
14		2	Sem	180	180
15			Com	180	180

**Tabela A.7. Critério para execução de DFIs**

Taxa e execução de descarga de fundo
Em torno de 800 e 700 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia, no sistema I a descarga foi efetuada com aplicação simultânea de água e no sistema II, a descarga foi efetuada com esvaziamento total do filtro. A programação das descargas de fundo intermediárias foi feita em função do tempo, com intervalos de 4,5 e 6 horas, variando de acordo com a taxa de filtração e o tipo de água.

**Tabela A.8. Critério para encerramento dos ensaios**

Critérios de encerramento dos ensaios	
No filtro descendente: traspasse, duração da carreira de 72 horas (com perda de carga total no meio granular menor que 1,8m) ou perda de carga total no meio granular igual a 1,8 metros.	No filtro ascendente: traspasse, perda de carga total no meio granular do FAAG de 1,2 metros e no FAP de 0,80 metros com lavagem ou perda de carga total no meio granular do FAAG menor que 1,2 metros e no FAP menor que 0,80 metros.

Estatística Descritiva

- Sistema I: FAAG

**Tabela A.9. Estatística descritiva da fase I**

Estatística	Turbidez (uT)	
	Água Bruta	FRD
Média	158,62	0,29
Moda	301,00	0,20
Desvio Padrão	97,60	0,20
Mediana	93,30	0,22
Coefficiente de Variação (%)	61,53	69,07
Mínimo	74,80	0,08
Frequências de Ocorrência 100 %	313,00	1,40
Frequências de Ocorrência 95 %	301,00	0,58
Frequências de Ocorrência 90 %	300,00	0,50
Número de Dados	109,00	109,00

- Sistema II: FAP

**Tabela A.10. Estatística descritiva da fase II**

Estatística	Turbidez (uT)	
	Água Bruta	FRD
Média	163,9	0,28
Moda	101,0	0,18
Desvio Padrão	97,4	0,12
Mediana	100,0	0,24
Coefficiente de Variação (%)	59,4	43,44
Mínimo	88,5	0,12
Frequências de Ocorrência 100 %	315,0	0,67
Frequências de Ocorrência 95 %	309,6	0,53
Frequências de Ocorrência 90 %	305,8	0,45
Número de Dados	53	53

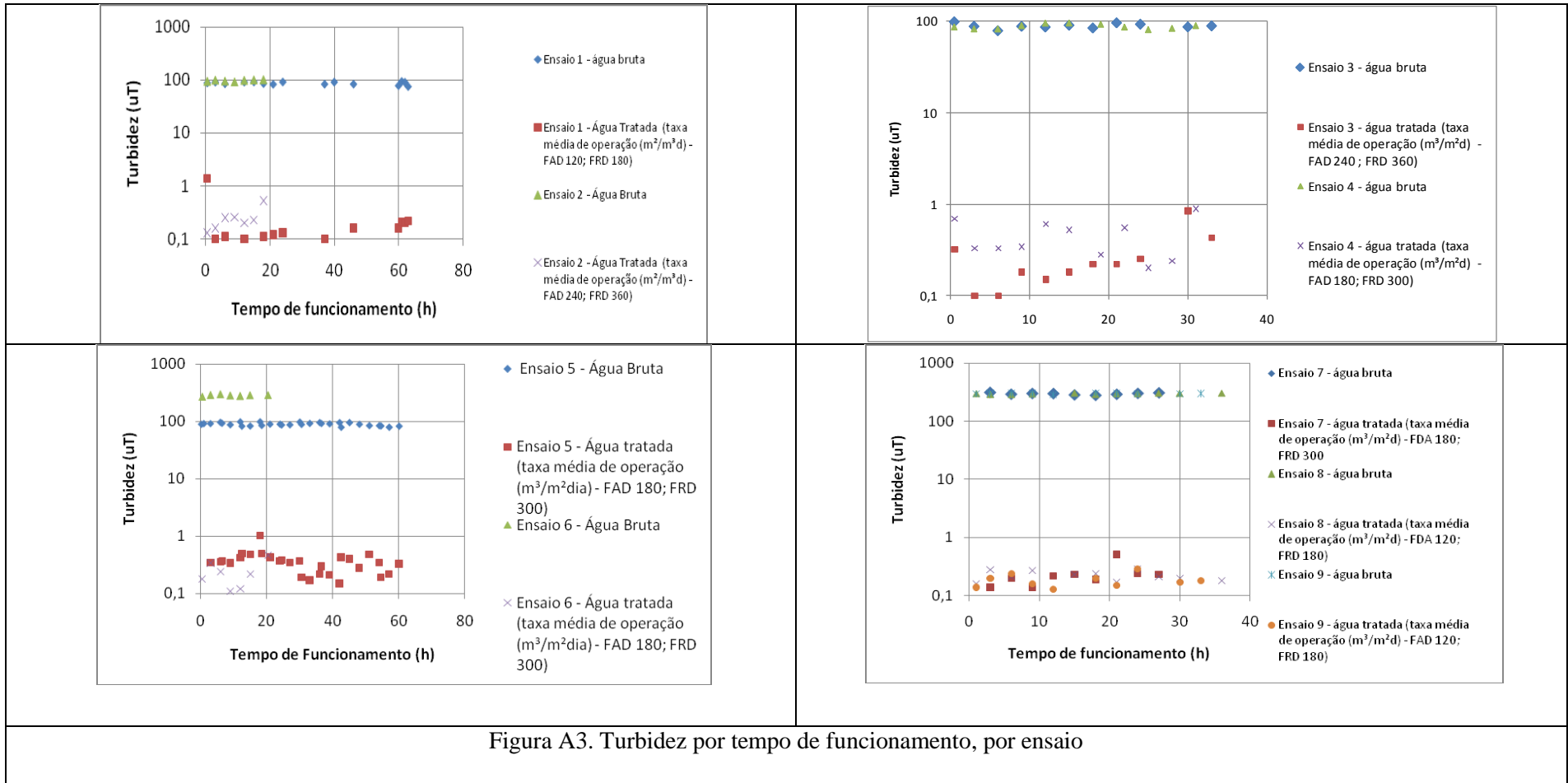


Figura A3. Turbidez por tempo de funcionamento, por ensaio

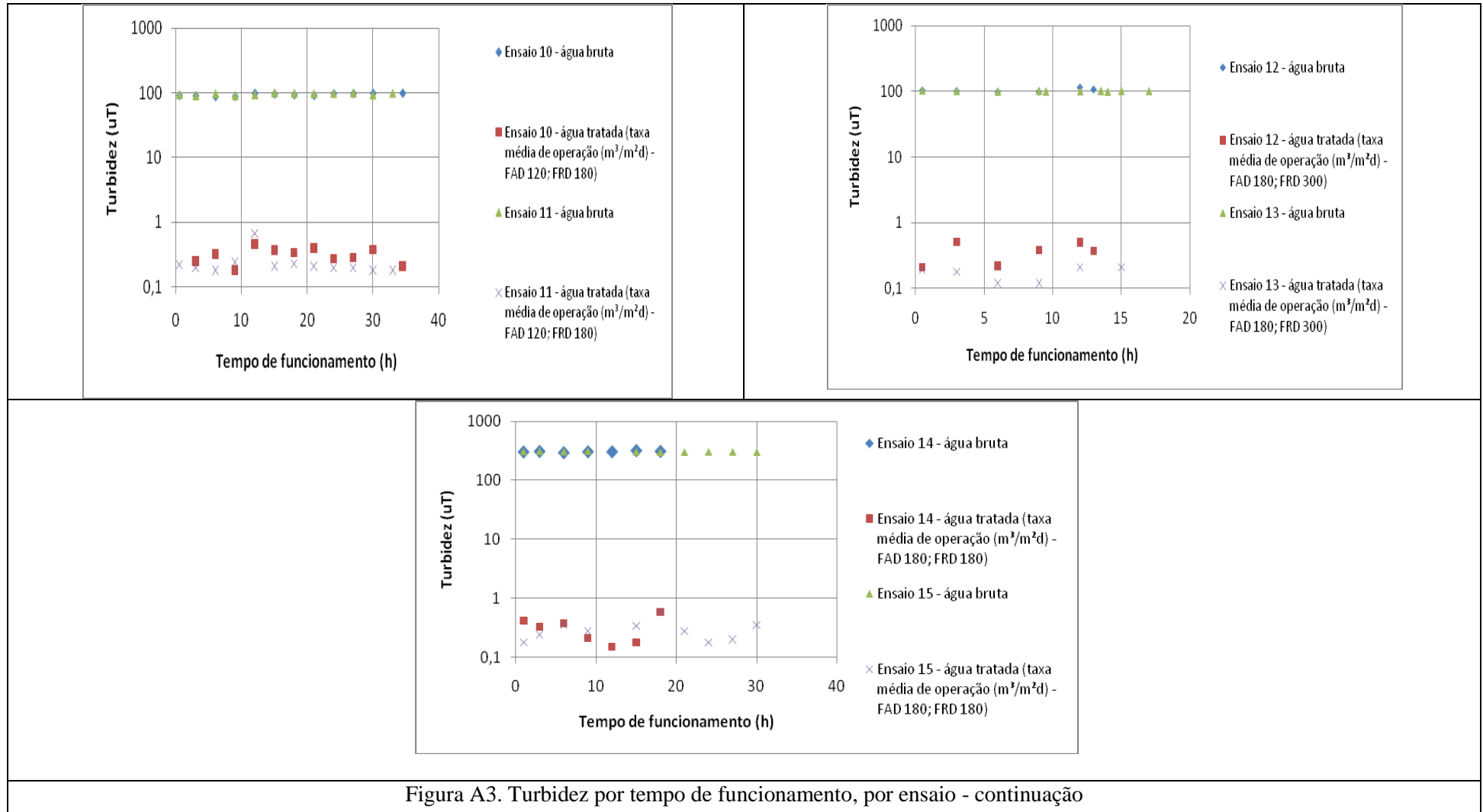


Figura A3. Turbidez por tempo de funcionamento, por ensaio - continuação

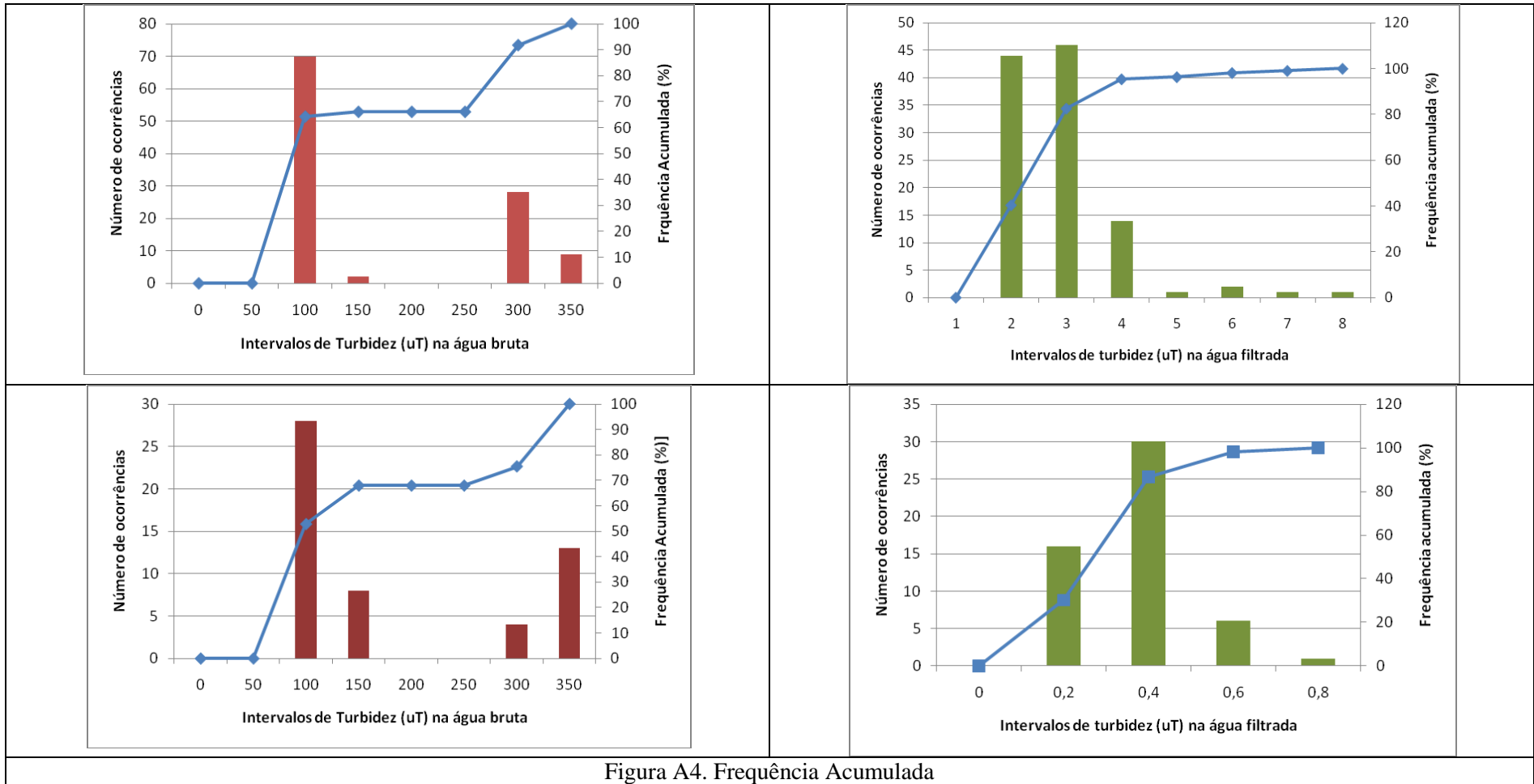


Figura A4. Frequência Acumulada

### A.3 Paula (2003)

As taxas de filtração e os detalhes sobre os ensaios podem ser encontrados nas tabelas a seguir.

**Tabela A.11. Critério para encerramento da carreira de filtração**

Carreira de filtração
Encerrada pelo critério: perda de carga limite no meio granular de 2,2m para o FAAG e 2,1m para o FRD ou produção de água com turbidez maior que 1 uT

**Tabela A.12. Taxas de filtração por ensaio**

Fase	Ensaio	Taxas no FAAG(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Taxas no FRD(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	Operação do FAAG
I	I	120	200	sem DFI
	II	160	300	sem DFI
	III	240	300	sem DFI
	IV	240	400	sem DFI
	V	360	300	sem DFI
	VI	360	400	sem DFI
II	VII	360	400	com DFI
	VIII	240	300	com DFI
III	IX	160	300	com DFI e pico de turbidez de até 380 uT

### Estatística descritiva

- Cor Verdadeira

**Tabela A.13. Estatística descritiva para cor verdadeira**

Estatística	Cor Verdadeira (uH)		
	Água Bruta	FAAG	FRD
Média	30	1	1
Moda	31	1	1
Desvio Padrão	4	0	0
Mediana	31	1	1
Coefficiente de Variação (%)	14	0	0
Mínimo	22	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	38	1	1
Frequências de Ocorrência 95 %	35	1	1
Frequências de Ocorrência 90 %	33	1	1
Número de Dados	15	15	15

- Coliformes Totais

**Tabela A.14. Estatística descritiva para coliformes totais**

Estatística	Coliformes Totais (NMP/100mL)		
	Água Bruta	FAAG	FRD
Média	2032	5	3
Moda	#N/D	1	2
Desvio Padrão	1101	4	2
Mediana	1793	4	2
Coefficiente de Variação (%)	54	77	68
Mínimo	687	1	0
Frequências de Ocorrência 100 %	4352	12	7
Frequências de Ocorrência 95 %	3804	12	7
Frequências de Ocorrência 90 %	3255	11	6
Número de Dados	11	11	11

- *Escherichia coli*

**Tabela A.15. Estatística descritiva para Escherichia Coli**

Estatística	E.Coli (NMP/100mL)		
	Água Bruta	FAAG	FRD
Média	115	1	1
Moda	74	1	1
Desvio Padrão	42	1	0
Mediana	110	1	1
Coefficiente de Variação (%)	36	89	44
Mínimo	63	1	0
Frequências de Ocorrência 100 %	191	6	2
Frequências de Ocorrência 95 %	181	4	1
Frequências de Ocorrência 90 %	171	2	1
Número de Dados	11	11	11

- Turbidez

**Tabela A.16. Estatística descritiva para turbidez**

Estatística	Turbidez (uT)		
	Água Bruta	FAAG	FRD
Média	32,84	0,39	0,107
Moda	14,6	0,04	0,04
Desvio Padrão	66,77	0,79	0,184
Mediana	11,72	0,11	0,05
Coefficiente de Variação (%)	203,2	200,8	172,7
Mínimo	6,08	0,01	0,03
Frequências de Ocorrência 100 %	372	6,76	1,34
Frequências de Ocorrência 95 %	169,5	2,1	0,26
Frequências de Ocorrência 90 %	84,7	0,841	0,19
Número de Dados	344	344	344

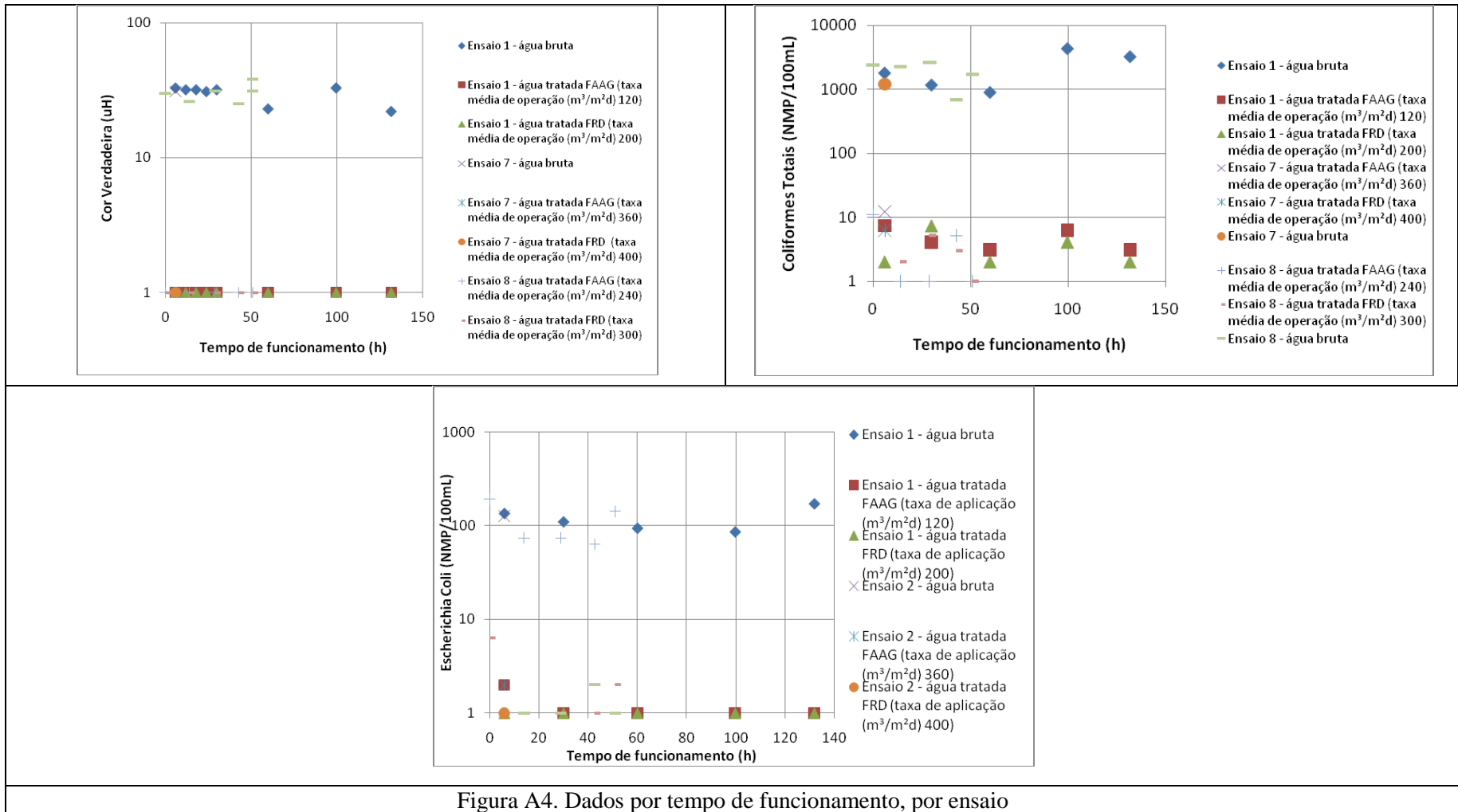
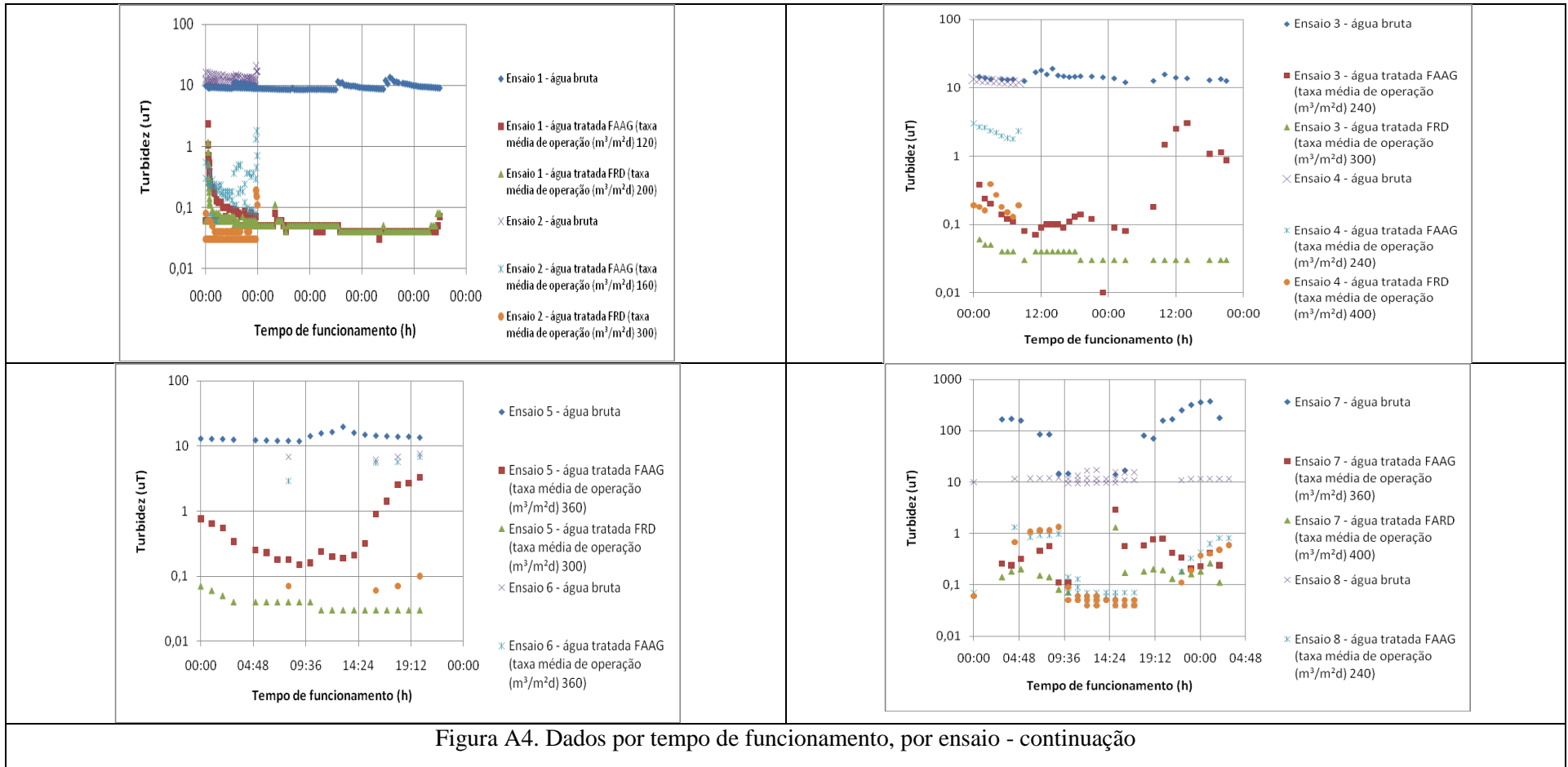


Figura A4. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio



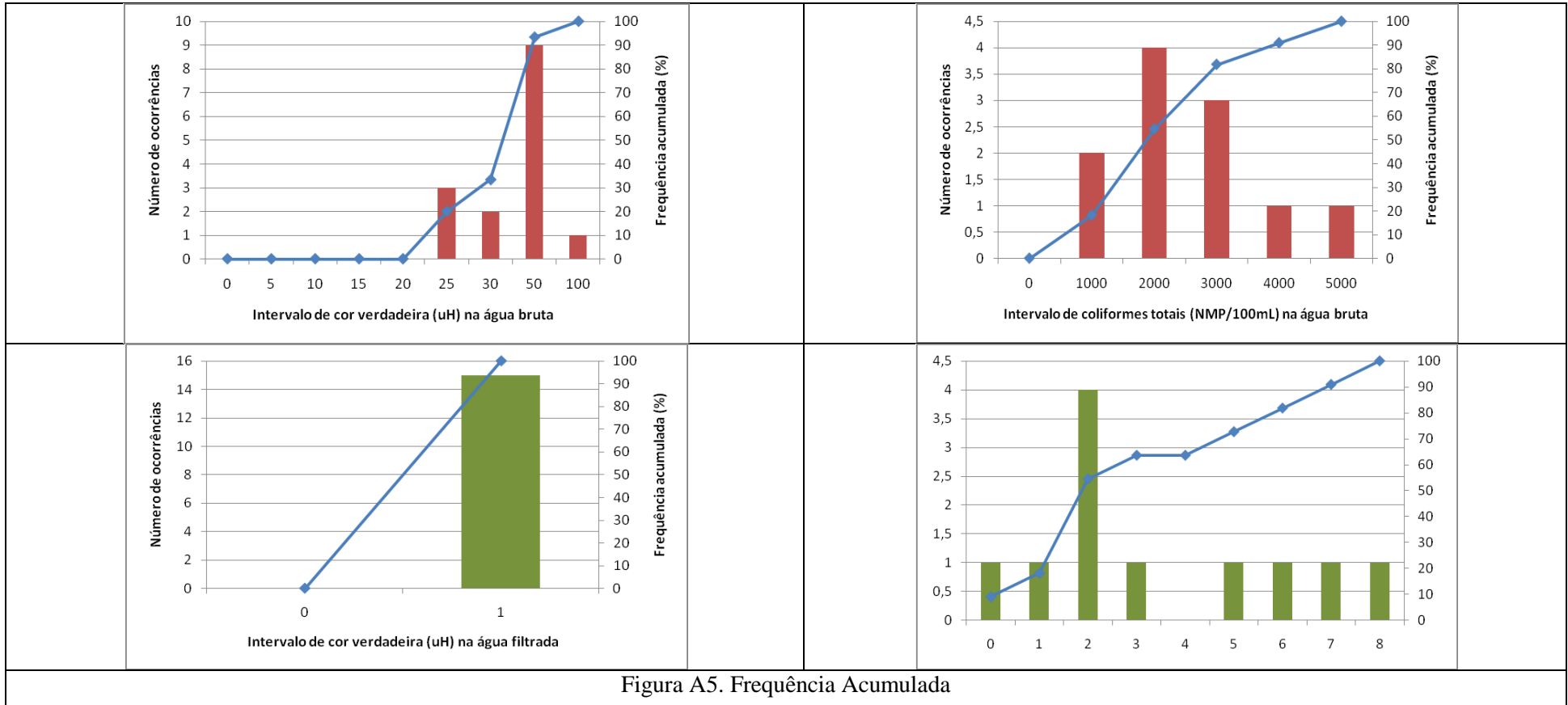


Figura A5. Frequência Acumulada

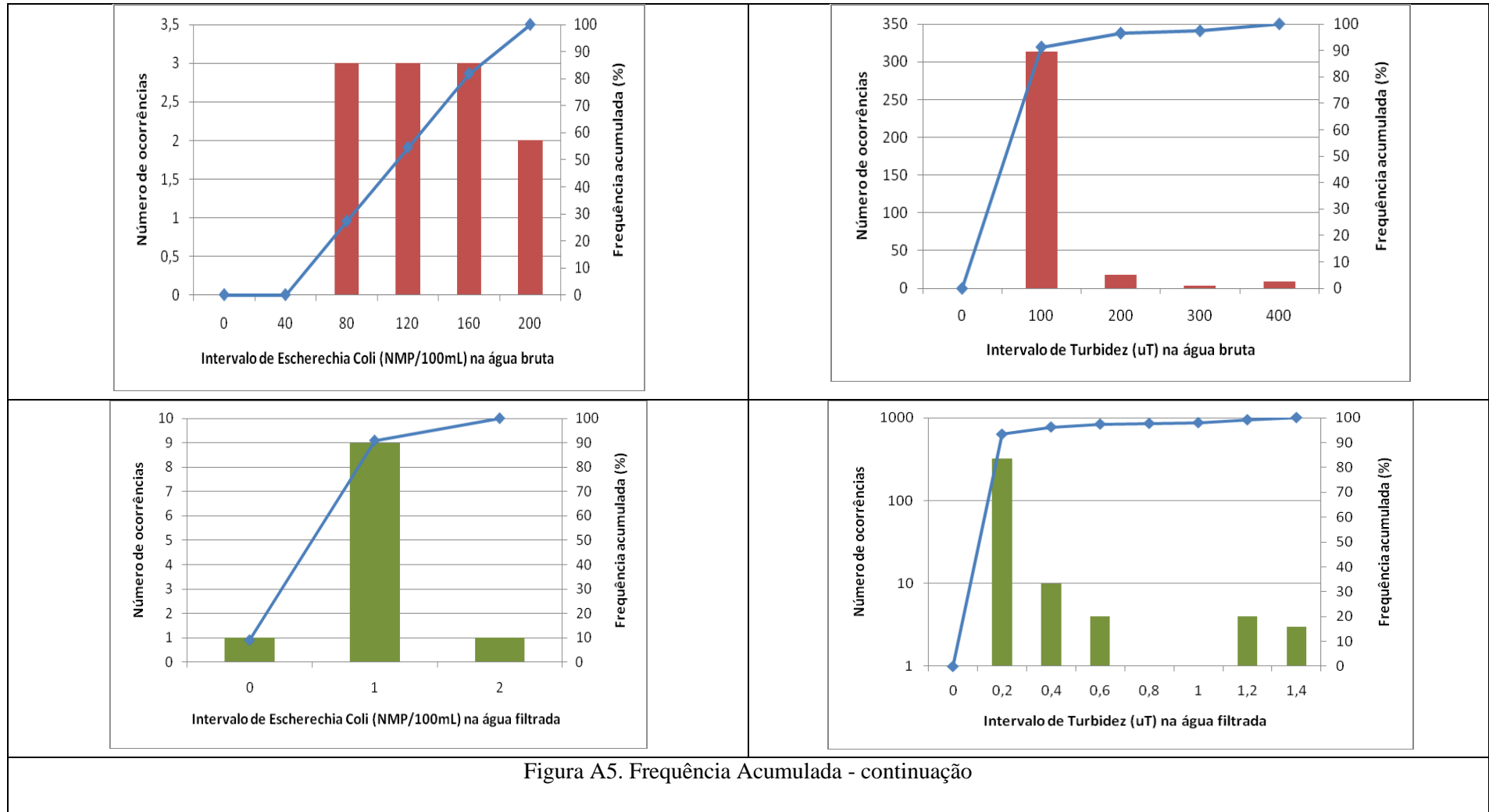


Figura A5. Frequência Acumulada - continuação

#### A.4 Kuroda (2006)

A autora trabalhou com água bruta na qual foi adicionada suspensão de *Microcystis* ssp. e extrato de Microcistina, e trabalhou com oxidação e adsorção com pré, inter e pós-cloração e carvão ativado em pó. O parâmetro trabalhado pela autora foi à turbidez. Para facilitar a futura discussão dos dados, esses dados serão apresentados por ensaios, separando os que receberam oxidação dos que receberam oxidação e adsorção.

**Tabela A.17. Características de cada ensaio**

Ensaio	Características	Especificidades
1	oxidação	intercloração e filtro com carvão ativado granular
2	oxidação e adsorção	pré-cloração e carvão ativado em pó
3	oxidação	pré-cloração
4	oxidação	pós-cloração e filtro com carvão ativado granular
<u>5*</u>	<u>Oxidação</u>	<u>pós-cloração e filtro com carvão ativado granular</u>
<u>6*</u>	<u>oxidação</u>	<u>intercloração e filtro com carvão ativado granular</u>
<u>7*</u>	<u>adsorção</u>	<u>carvão ativado em pó</u>
8	oxidação e adsorção	pré-cloração e carvão ativado em pó

\*Não há dados de turbidez

#### Estatística descritiva

- Ensaio com oxidação

**Tabela A.18. Estatística descritiva dos ensaios com oxidação**

Estatística	Turbidez (uT)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	3,42	0,69	0,32
Moda	#N/D	0,23	0,24
Desvio Padrão	1,0	0,86	0,07
Mediana	2,97	0,35	0,33
Coeficiente de Variação (%)	29,19	124,03	22,18
Mínimo	2,29	0,19	0,19
Frequências de Ocorrência 100 %	5,63	3,19	0,42
Frequências de Ocorrência 95 %	4,82	2,56	0,41
Frequências de Ocorrência 90 %	4,52	1,76	0,405
Número de Dados	16	16	16

- Ensaio com oxidação e adsorção

**Tabela A.19. Estatística descritiva dos ensaios com oxidação e adsorção**

Estatística	Turbidez ( $\mu T$ )		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	2,76	0,36	0,32
Moda	#N/D	0,31	#N/D
Desvio Padrão	0,69	0,05	0,03
Mediana	2,52	0,35	0,31
Coefficiente de Variação (%)	24,94	14,57	9,11
Mínimo	2,37	0,31	0,29
Frequências de Ocorrência 100 %	3,99	0,43	0,36
Frequências de Ocorrência 95 %	3,70	0,42	0,36
Frequências de Ocorrência 90 %	3,41	0,41	0,35
Número de Dados	5,00	5,00	5,00

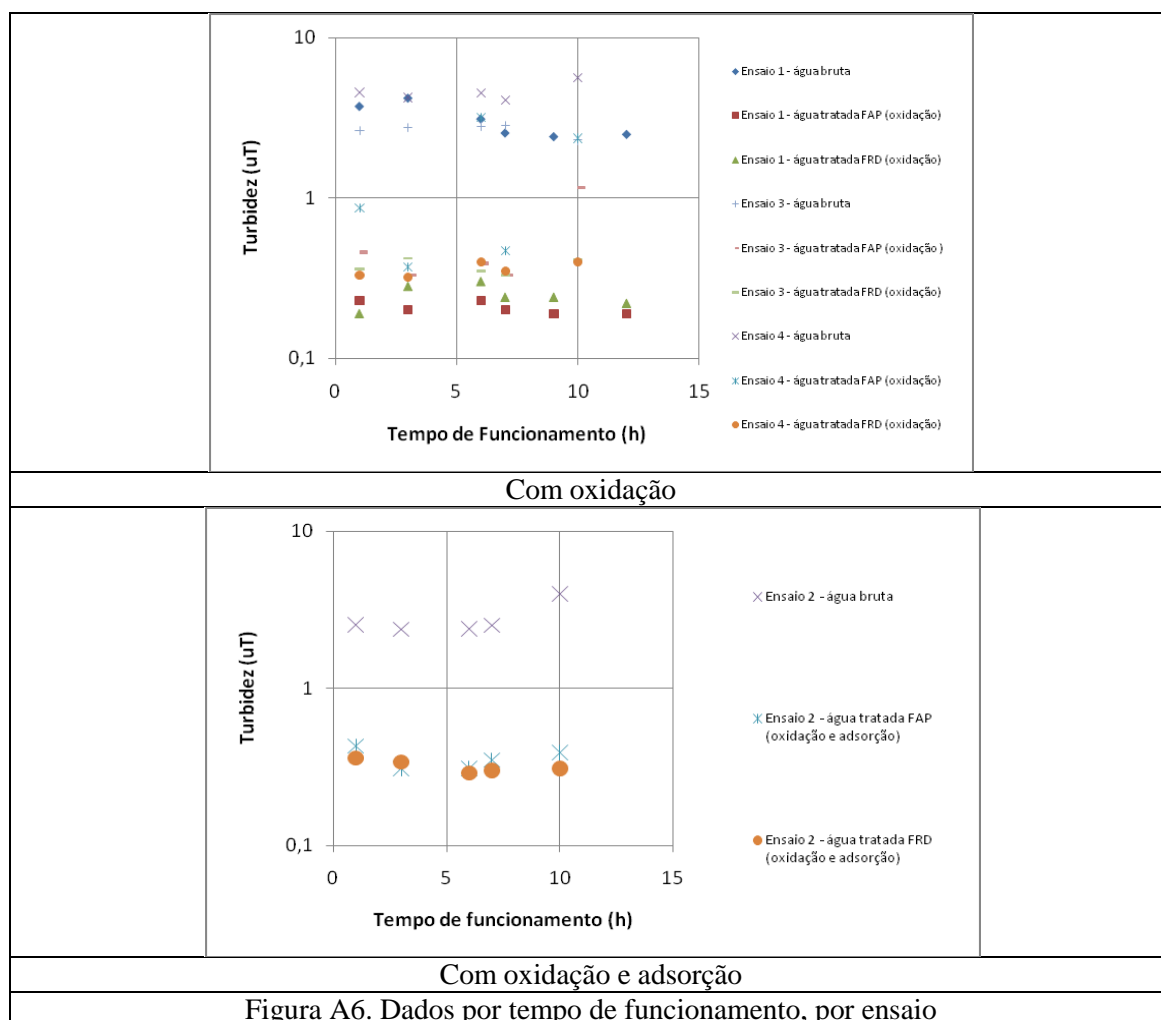
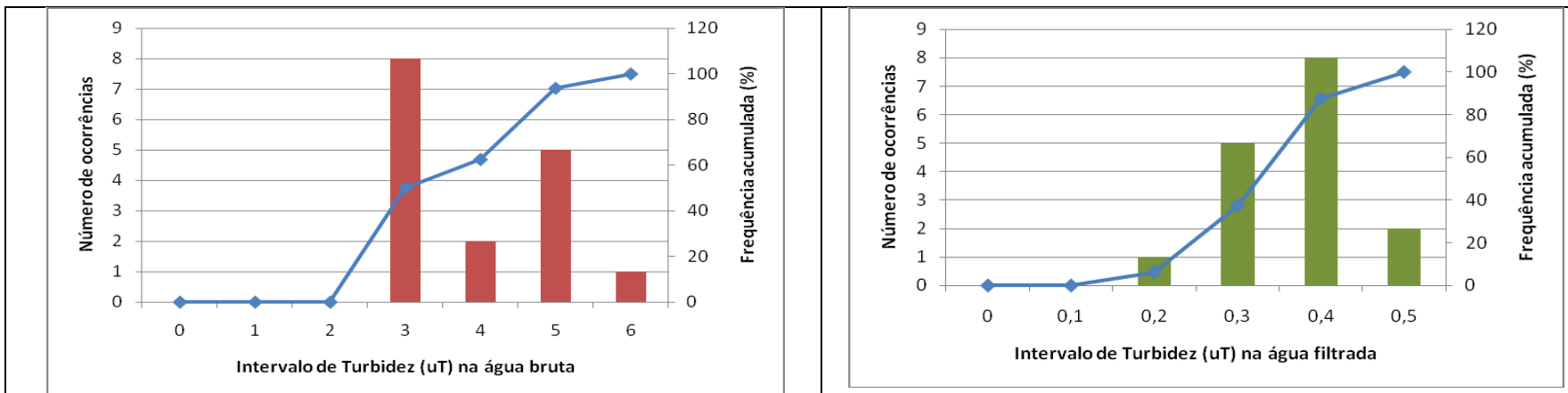
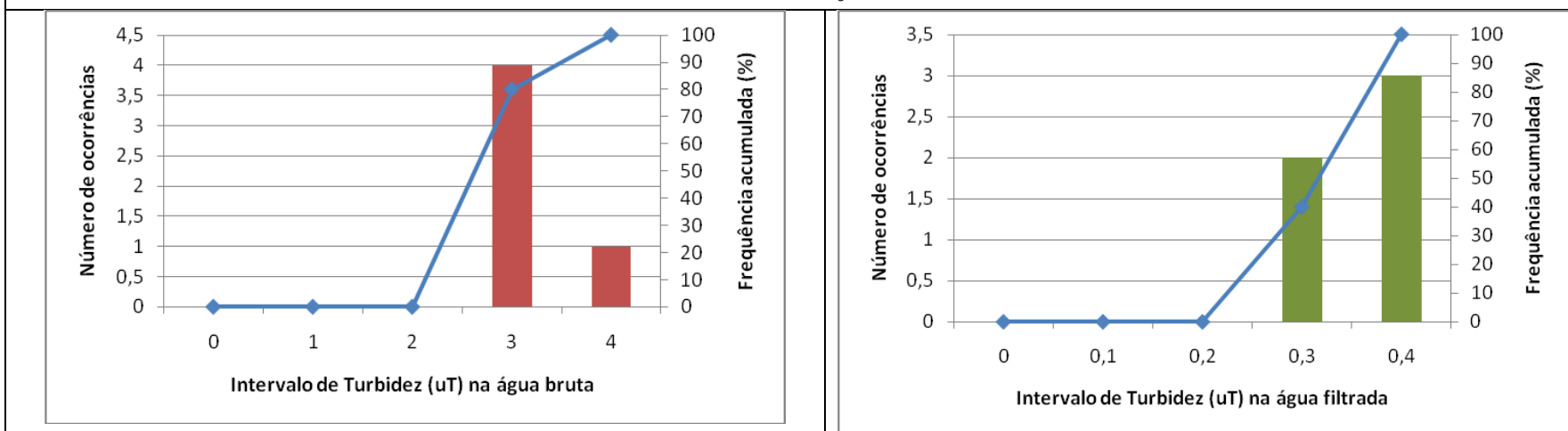


Figura A6. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio



Com oxidação



Com Oxidação e Adsorção

Figura A7. Frequência Acumulada

### A.5. Benini (2003)

A autora trabalhou com remoção de substâncias húmicas utilizando filtro ascendente em pedregulho, empregando o parâmetro de cor aparente. As taxas de filtração utilizadas pela autora encontram-se nas tabelas a seguir.

**Tabela A.20. Taxas de filtração por ensaio**

Ensaio	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	
	FAP	FRD
1	80	80
2	80	120
3	80	150
4	120	120
5	120	180
6	120	240

**Tabela A.21. Critério para encerramento da carreira de filtração**

Encerramento da carreira de filtração
Realizado quando a perda de carga fosse de 2,10m no FRD e 0,5m no FA; ou quando a turbidez do FD ultrapassasse 1 uT ou quando atingisse 72 horas de funcionamento.

### Estatística descritiva

**Tabela A.22. Estatística descritiva de cor aparente**

Estatística	Cor aparente (uC)		
	Água bruta	FAP	FRD
Média	129	16	2
Moda	131	3	1
Desvio Padrão	48	14	2
Mediana	126	12	1
Coeficiente de Variação (%)	37	89	141
Mínimo	59	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	407	52	16
Frequências de Ocorrência 95 %	218	45	6
Frequências de Ocorrência 90 %	147	34	2
Número de Dados	69	69	69

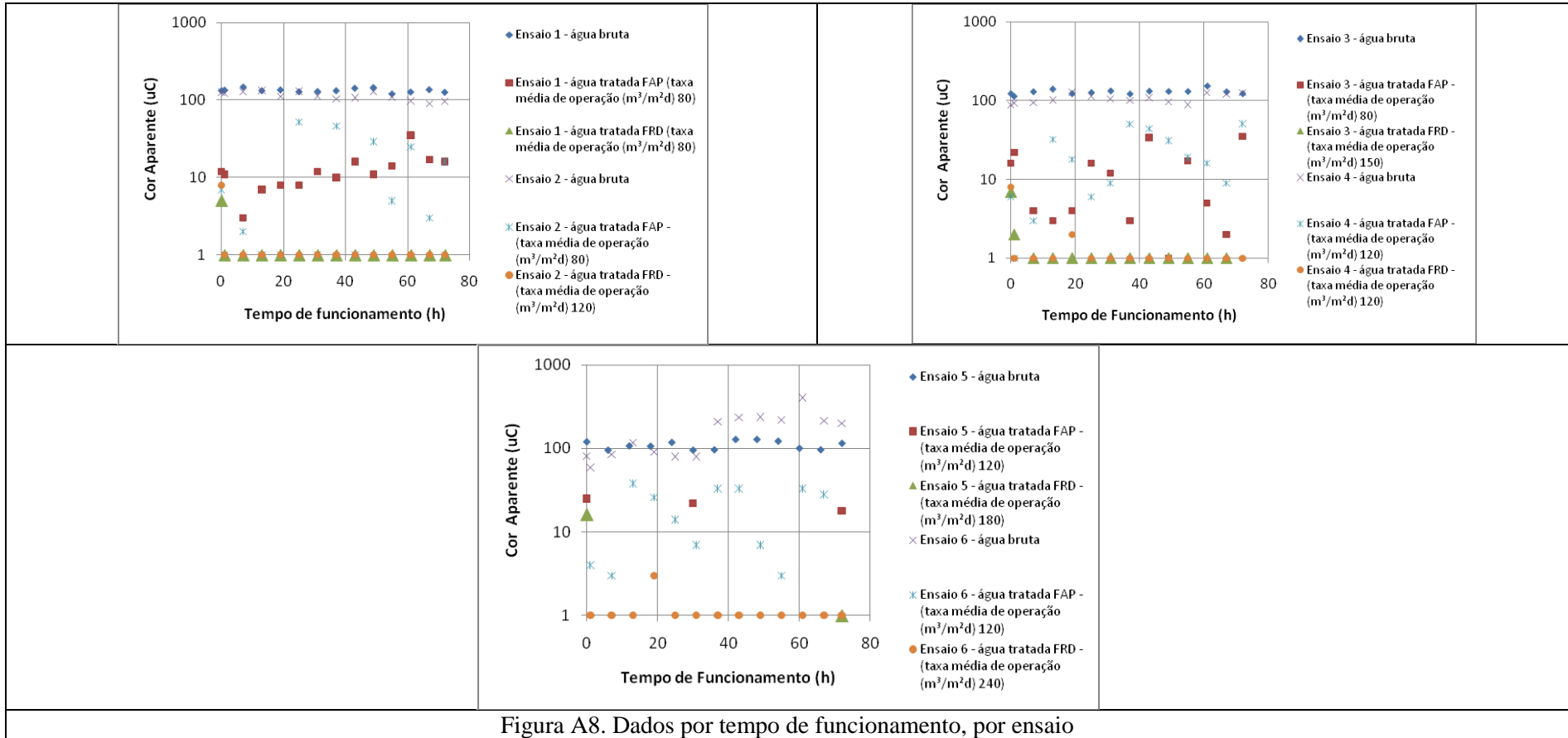
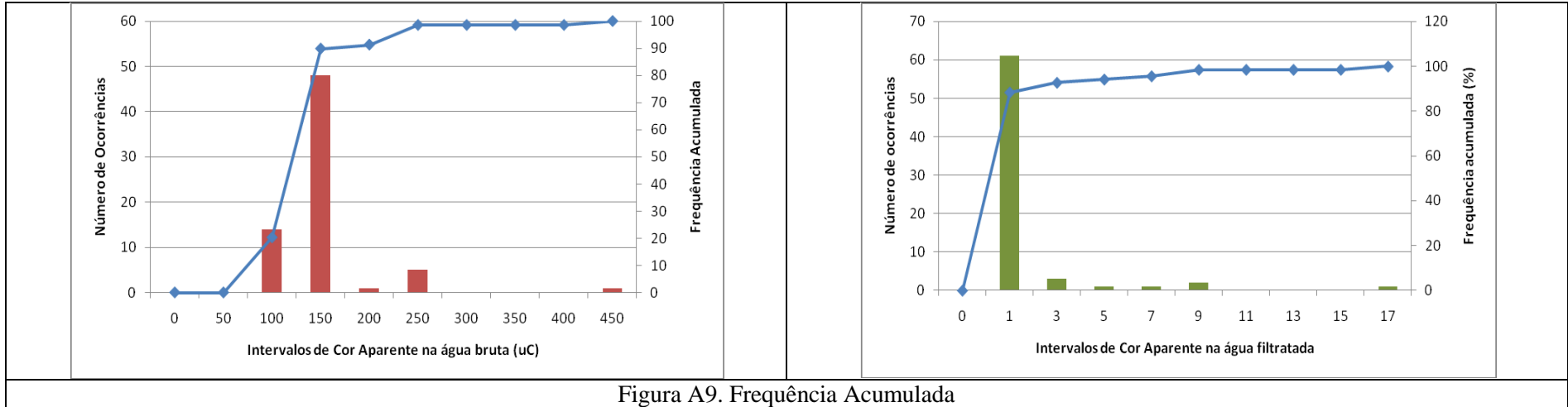


Figura A8. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio



### A.6 Kuroda (2002)

A autora trabalhou na avaliação do desempenho de filtro ascendente em pedregulho nos sistemas de dupla filtração. Os parâmetros analisados foram turbidez, cor verdadeira, coliformes totais e *Escherichia coli*. Algumas informações sobre o estudo realizado encontram-se nas tabelas a seguir.

**Tabela A.23. Taxas de filtração por ensaio**

Ensaio	DFIs	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)	
		FAP	FRD
1	sem	60	100
2	sem	120	120
3	sem	120	180
4	sem	180	120
5	sem	180	180
6	sem	180	240
7	sem	240	120
8	sem	240	180
9	sem	240	240
10	com	180	240
11	com	240	240
12	com e com pico de turbidez	120	180

**Tabela A.24. Critério para encerramento da carreira de filtração**

Encerramento da carreira de filtração
Perda de carga limite no meio granular: FAP 0,5m a 0,6m e FRD 2,1. Ou por transpasse quando a turbidez do efluente fosse maior que 1 uT.

Estatística descritiva

- Turbidez

**Tabela A.25. Estatística descritiva de turbidez**

Estatística	Turbidez (uT)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	27,05	1,60	0,067
Moda	12,8	1,22	0,033
Desvio Padrão	58,66	1,43	0,148
Mediana	11,49	1,20	0,037
Coeficiente de Variação (%)	216,81	89,11	219,82
Mínimo	8,56	0,19	0,018
Frequências de Ocorrência 100 %	384	7,8	1,91
Frequências de Ocorrência 95 %	168,2	4,59	0,14
Frequências de Ocorrência 90 %	17,38	3,52	0,07
Número de Dados	533	533	533

- Cor Verdadeira

**Tabela A.26. Estatística descritiva de cor verdadeira**

Estatística	Cor Verdadeira (uH)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	32	2	1
Moda	26	1	1
Desvio Padrão	8	3	2
Mediana	30	1	1
Coefficiente de Variação (%)	25	144	139
Mínimo	19	0	0
Frequências de Ocorrência 100 %	50	14	9
Frequências de Ocorrência 95 %	48	11	5
Frequências de Ocorrência 90 %	44	7	1
Número de Dados	30	30	30

- Coliformes Totais

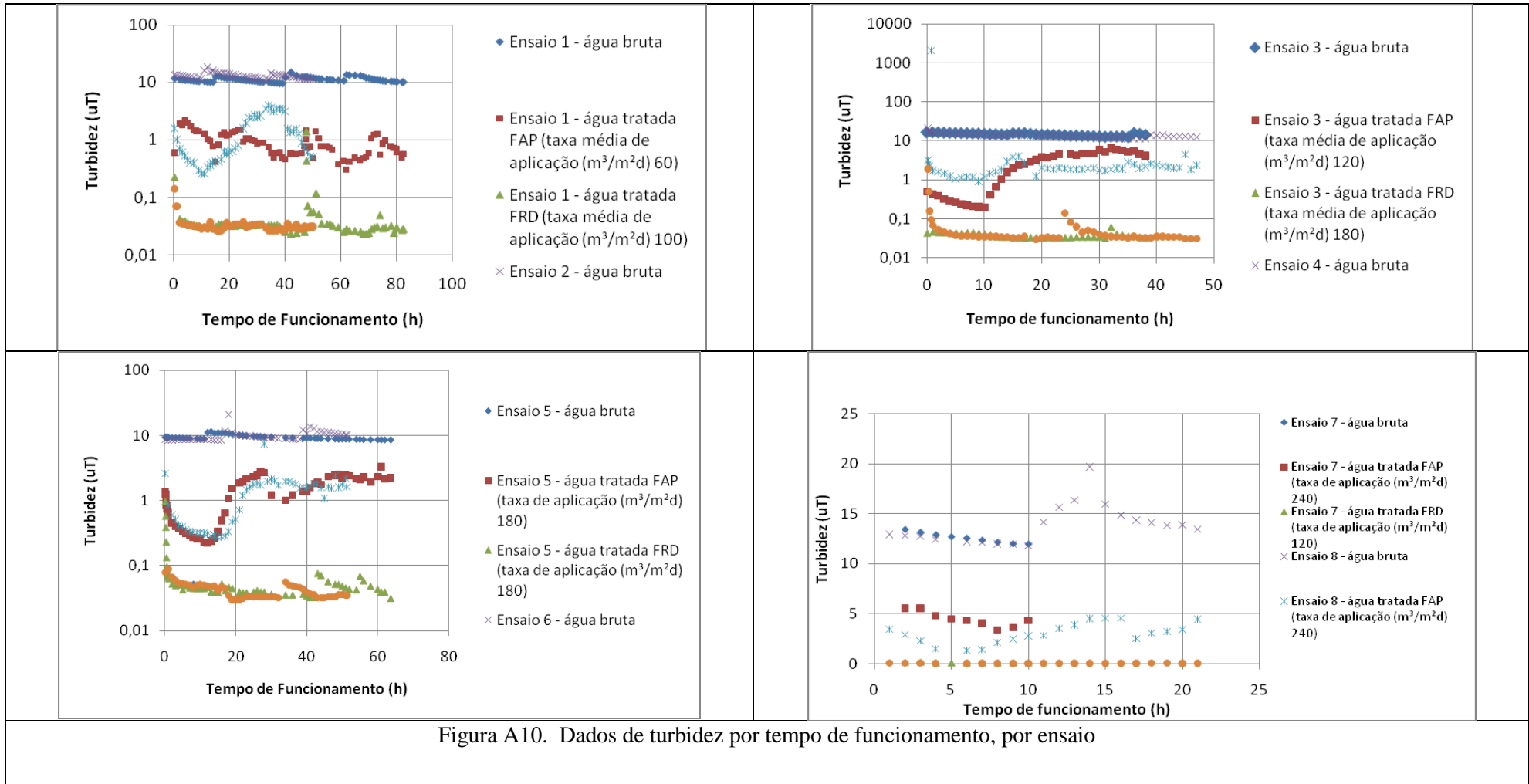
**Tabela A.27. Estatística descritiva de coliformes totais**

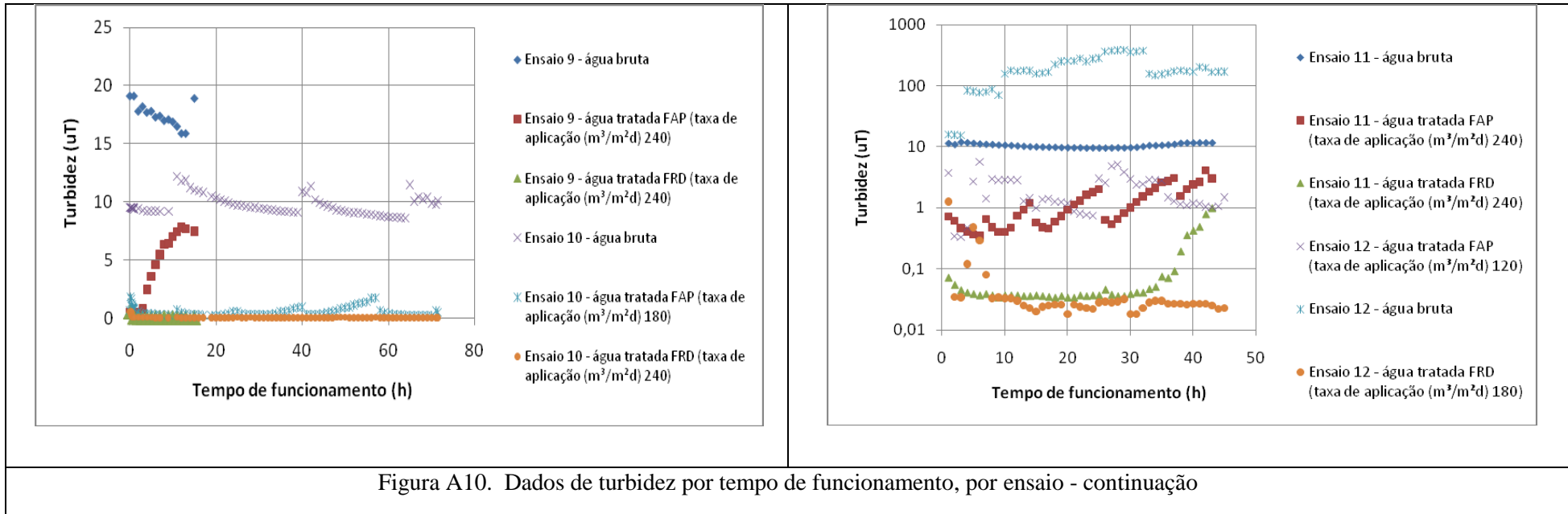
Estatística	Coli. Totais (NMP/100mL)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	1983	95	7
Moda	326	214	1
Desvio Padrão	1879	83	9
Mediana	1333	54	6
Coefficiente de Variação (%)	95	88	136
Mínimo	160	1	0
Frequências de Ocorrência 100 %	6867	236	42
Frequências de Ocorrência 95 %	5955	218	16
Frequências de Ocorrência 90 %	4785	214	11
Número de Dados	18	18	18

- *Escherichia coli*

**Tabela A.28. Estatística descritiva de Escherichia Coli**

Estatística	E. Coli (NMP/100mL)		
	Água Bruta	FAP	FRD
Média	122,3	10,9	1,17
Moda	159,7	1	1
Desvio Padrão	60,9	9,8	1,1
Mediana	104	10	1
Coefficiente de Variação (%)	49	89	99
Mínimo	52	0	0
Frequências de Ocorrência 100 %	265	25,6	4,1
Frequências de Ocorrência 95 %	237	24	3
Frequências de Ocorrência 90 %	204	23	3
Número de Dados	18	18	18





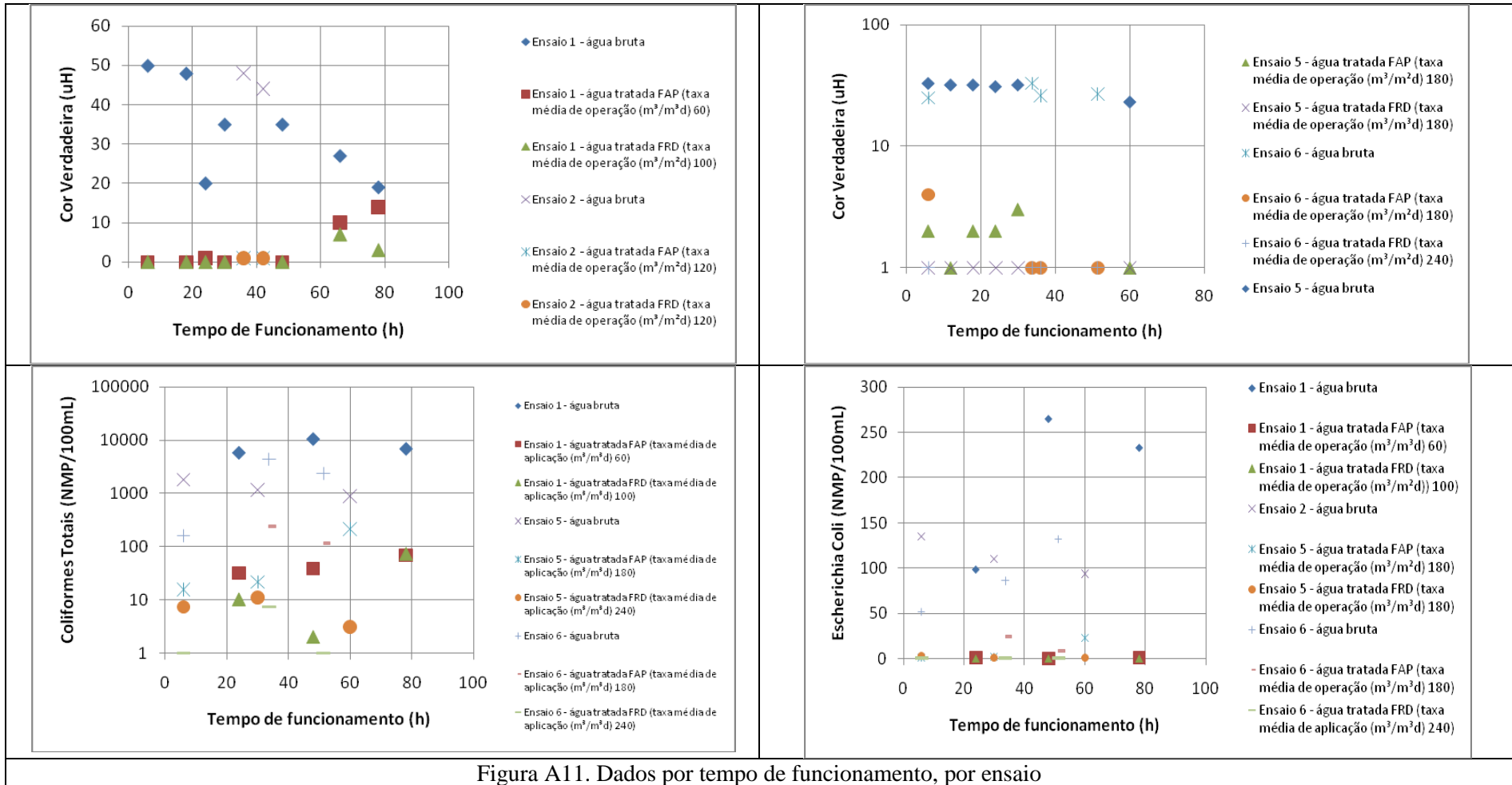
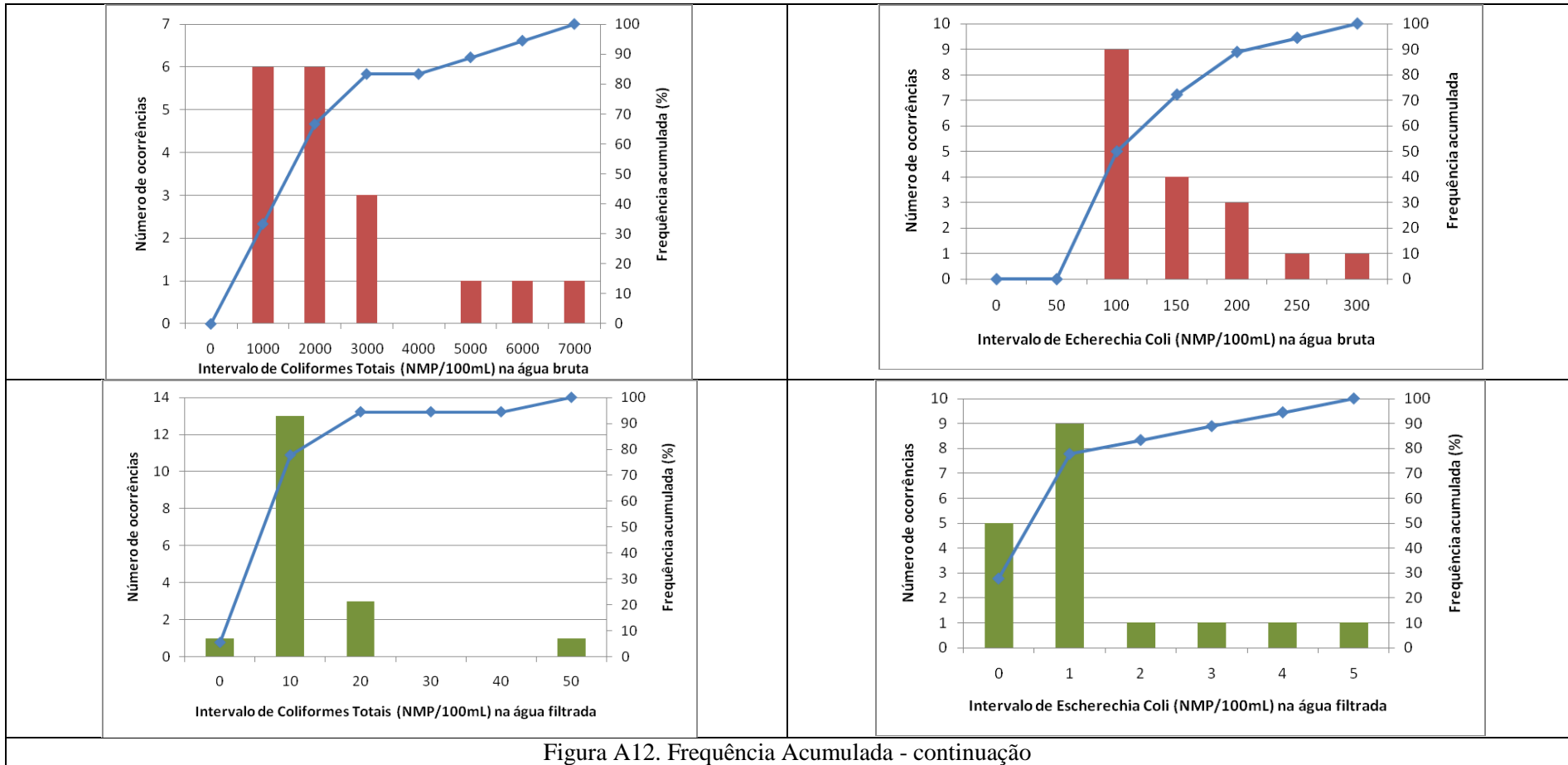


Figura A11. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio





### A.7 Gusmão (2001)

As informações quanto às taxas de filtração utilizadas encontram-se na tabela a seguir. O autor trabalhou com filtro ascendente em areia e em pedregulho, com os parâmetros turbidez, cor verdadeira, coliformes totais, *Escherichia coli*, manganês total e ferro total.

**Tabela A.29. Taxas de filtração por ensaio**

Ensaio	Taxa de filtração(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)		DFIs	Taxa de filtração(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia)		DFIs
	FDAA	FRD		FDAP	FRD	
6	360	240	sem	80	240	sem
7	360	240	com	80	240	com
8				110	240	sem
9				110	240	com
10	360	240	com	190	240	com
11				190	240	sem
12	360	180	com	190	180	sem
13				190	180	com
14	200	300	sem	120	190	sem
15	360	480	sem			

### Estatística descritiva

a) Filtro ascendente em areia grossa

- Turbidez

**Tabela A.30. Estatística descritiva de turbidez**

Estatística	Turbidez (uT)		
	Água bruta	FDAA	FRD
Média	12,3	0,747	0,231
Moda	11,3	0,31	0,17
Desvio Padrão	3,649	1,151	0,082
Mediana	11,3	0,33	0,21
Coefficiente de Variação (%)	29,5	154,0	35,7
Mínimo	8,43	0,13	0,12
Frequências de Ocorrência 100 %	26,4	6,02	0,51
Frequências de Ocorrência 95 %	19,66	3,412	0,358
Frequências de Ocorrência 90 %	17,06	2,114	0,326
Número de Dados	85	85	85

- Cor Verdadeira

**Tabela A.31. Estatística descritiva de cor verdadeira**

Estatística	Cor Verdadeira (uH)		
	Água bruta	FDAA	FRD
Média	30	1	1
Moda	35	1	1
Desvio Padrão	12	1	0
Mediana	30	1	1
Coefficiente de Variação (%)	39	62	55
Mínimo	9	0	0
Frequências de Ocorrência 100 %	60	2	2
Frequências de Ocorrência 95 %	48	2	1
Frequências de Ocorrência 90 %	39	2	1
Número de Dados	17	17	17

- Coliformes Totais

**Tabela A.32. Estatística descritiva de coliformes totais**

Estatística	Coli. Totais (NMP/100mL)		
	Água bruta	FDAA	FRD
Média	3760	150	36
Moda	1	1	1
Desvio Padrão	6468	350	61
Mediana	6	1	1
Coefficiente de Variação (%)	172	233	172
Mínimo	1	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	19863	1203	183
Frequências de Ocorrência 95 %	15556	742	155
Frequências de Ocorrência 90 %	11646	346	124
Número de Dados	12	12	12

- Escherichia coli

**Tabela A.33. Estatística descritiva de Escherichia Coli**

Estatística	E.Coli (NMP/100mL)		
	Água bruta	FDAA	FRD
Média	267	23	3
Moda	1	1	1
Desvio Padrão	409	67	5
Mediana	1	1	1
Coefficiente de Variação (%)	153	281	159
Mínimo	1	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	1012	235	19
Frequências de Ocorrência 95 %	973	120	14
Frequências de Ocorrência 90 %	921	25	10
Número de Dados	12	12	12

- Manganês Total

**Tabela A.34. Estatística descritiva de manganês total**

Estatística	Manganês Total (mg/L)		
	Água bruta	FDA	FRD
Média	0,037	0,025	0,023
Moda	0,003	0,003	0,003
Desvio Padrão	0,035	0,025	0,025
Mediana	0,025	0,015	0,012
Coeficiente de Variação (%)	94,54	100,52	110,14
Mínimo	0,003	0,003	0,003
Frequências de Ocorrência 100 %	0,090	0,060	0,060
Frequências de Ocorrência 95 %	0,090	0,060	0,060
Frequências de Ocorrência 90 %	0,090	0,060	0,060
Número de Dados	8	8	8

- Ferro Total

**Tabela A.35. Estatística descritiva de ferro total**

Estatística	Ferro Total (mg/L)		
	Água bruta	FDA	FRD
Média	1,08	0,026	0,027
Moda	#N/D	0,005	0,005
Desvio Padrão	0,35	0,054	0,043
Mediana	1,00	0,005	0,005
Coeficiente de Variação (%)	32,47	206,84	159,10
Mínimo	0,60	0,005	0,005
Frequências de Ocorrência 100 %	1,62	0,16	0,12
Frequências de Ocorrência 95 %	1,56	0,11	0,10
Frequências de Ocorrência 90 %	1,50	0,06	0,08
Número de Dados	8	8	8

b) Filtro ascendente em pedregulho

- Turbidez

**Tabela A.36. Estatística descritiva de turbidez**

Estatística	Turbidez (uT)		
	Água bruta	FDAP	FRD
Média	11,9	3,3	0,18
Moda	11,3	3,09	0,24
Desvio Padrão	1,97	1,03	0,05
Mediana	11,5	3,09	0,18
Coeficiente de Variação (%)	16,4	31,2	28,3
Mínimo	8,45	1,66	0,11
Frequências de Ocorrência 100 %	15,7	6,41	0,3
Frequências de Ocorrência 95 %	15,4	5,21	0,28
Frequências de Ocorrência 90 %	14,9	4,77	0,26
Número de Dados	71	71	71

- Cor Verdadeira

**Tabela A.37. Estatística descritiva de cor verdadeira**

Estatística	Cor Verdadeira (uH)		
	Água bruta	FDAP	FRD
Média	29	1	1
Moda	35	1	1
Desvio Padrão	7	1	0
Mediana	30	1	1
Coefficiente de Variação (%)	26	53	73
Mínimo	20	0	0
Frequências de Ocorrência 100 %	45	3	1
Frequências de Ocorrência 95 %	37	2	1
Frequências de Ocorrência 90 %	35	2	1
Número de Dados	18	18	18

- Coliformes Totais

**Tabela A.38. Estatística descritiva de coliformes totais**

Estatística	Coli. Totais (NMP/100mL)		
	Água bruta	FDAP	FRD
Média	754	31	5
Moda	1	1	1
Desvio Padrão	1584	62	10
Mediana	1	1	1
Coefficiente de Variação (%)	210	201	198
Mínimo	1	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	4884	178	37
Frequências de Ocorrência 95 %	3926	152	24
Frequências de Ocorrência 90 %	3198	137	15
Número de Dados	15	15	15

- *Escherichia coli*

**Tabela A.39. Estatística descritiva de Escherichia Coli**

Estatística	E.Coli (NMP/100mL)		
	Água bruta	FDAP	FRD
Média	71	5,76	1
Moda	1	1	1
Desvio Padrão	153	10	0
Mediana	1	1	1
Coefficiente de Variação (%)	216	179	0
Mínimo	1	1	1
Frequências de Ocorrência 100 %	503	34	1
Frequências de Ocorrência 95 %	388	25	1
Frequências de Ocorrência 90 %	280	20	1
Número de Dados	15	15	15

- Manganês Total

**Tabela A.40. Estatística descritiva de manganês total**

Estatística	Manganês Total (mg/L)		
	Água bruta	FDAP	FRD
Média	0,017	0,011	0,005
Moda	0,020	0,010	0,003
Desvio Padrão	0,013	0,011	0,003
Mediana	0,020	0,010	0,003
Coeficiente de Variação (%)	78,76	103,55	67,75
Mínimo	0,003	0,003	0,003
Frequências de Ocorrência 100 %	0,040	0,040	0,010
Frequências de Ocorrência 95 %	0,036	0,028	0,010
Frequências de Ocorrência 90 %	0,032	0,016	0,010
Número de Dados	9	9	9

- Ferro Total

**Tabela A.41. Estatística descritiva de ferro total**

Estatística	Ferro Total (mg/L)		
	Água bruta	FDAP	FRD
Média	1,000	0,211	0,017
Moda	0,900	0,260	0,005
Desvio Padrão	0,352	0,130	0,026
Mediana	0,900	0,250	0,005
Coeficiente de Variação (%)	35,192	61,599	152,323
Mínimo	0,600	0,050	0,005
Frequências de Ocorrência 100 %	1,660	0,450	0,080
Frequências de Ocorrência 95 %	1,576	0,394	0,064
Frequências de Ocorrência 90 %	1,492	0,338	0,048
Número de Dados	9	9	9

- Filtro Ascendente em Areia Grossa

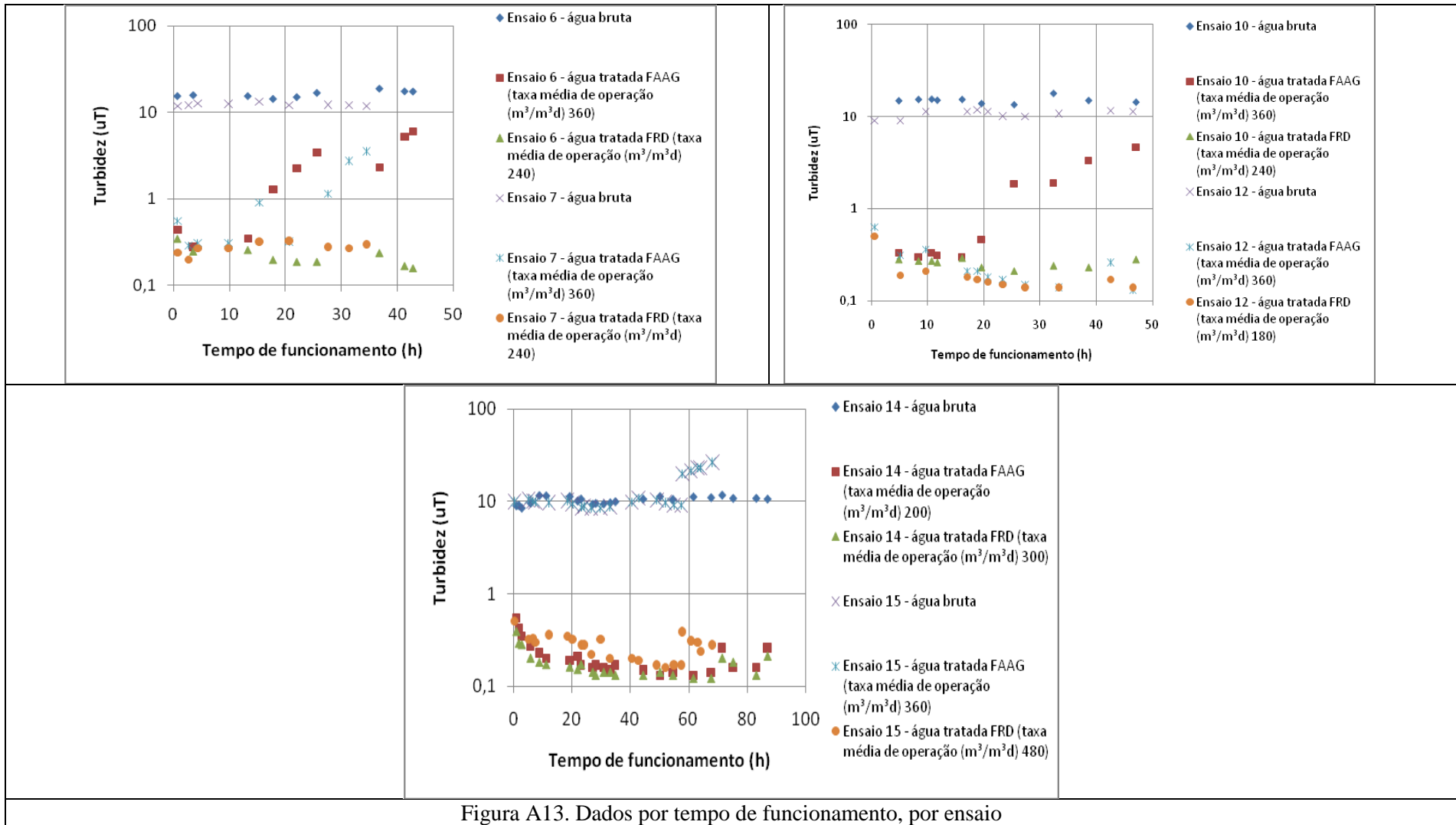


Figura A13. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio

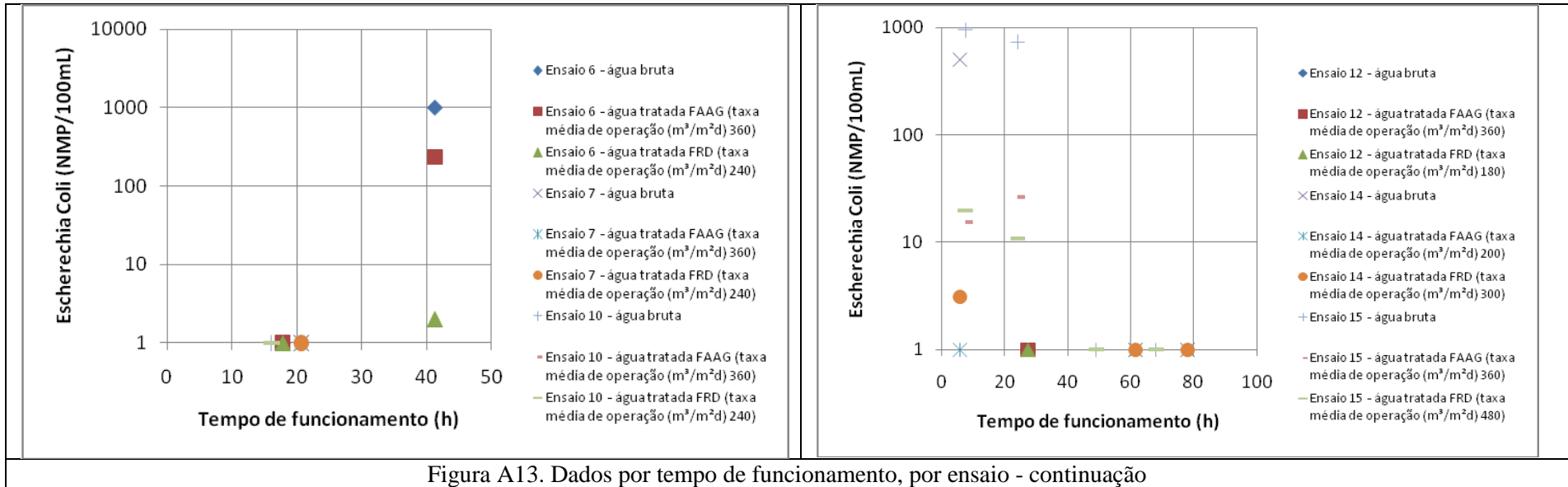


Figura A13. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio - continuação

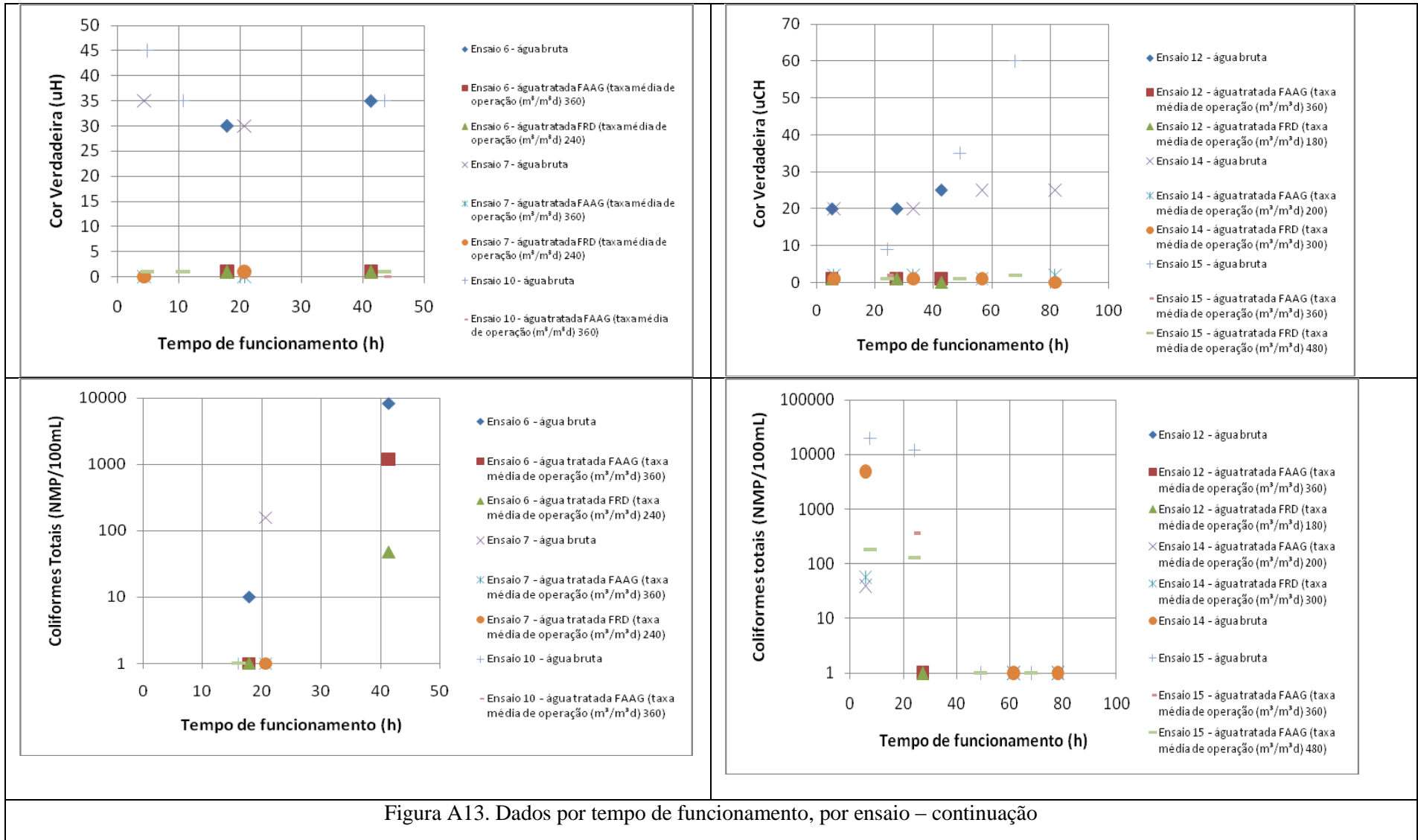


Figura A13. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio – continuação

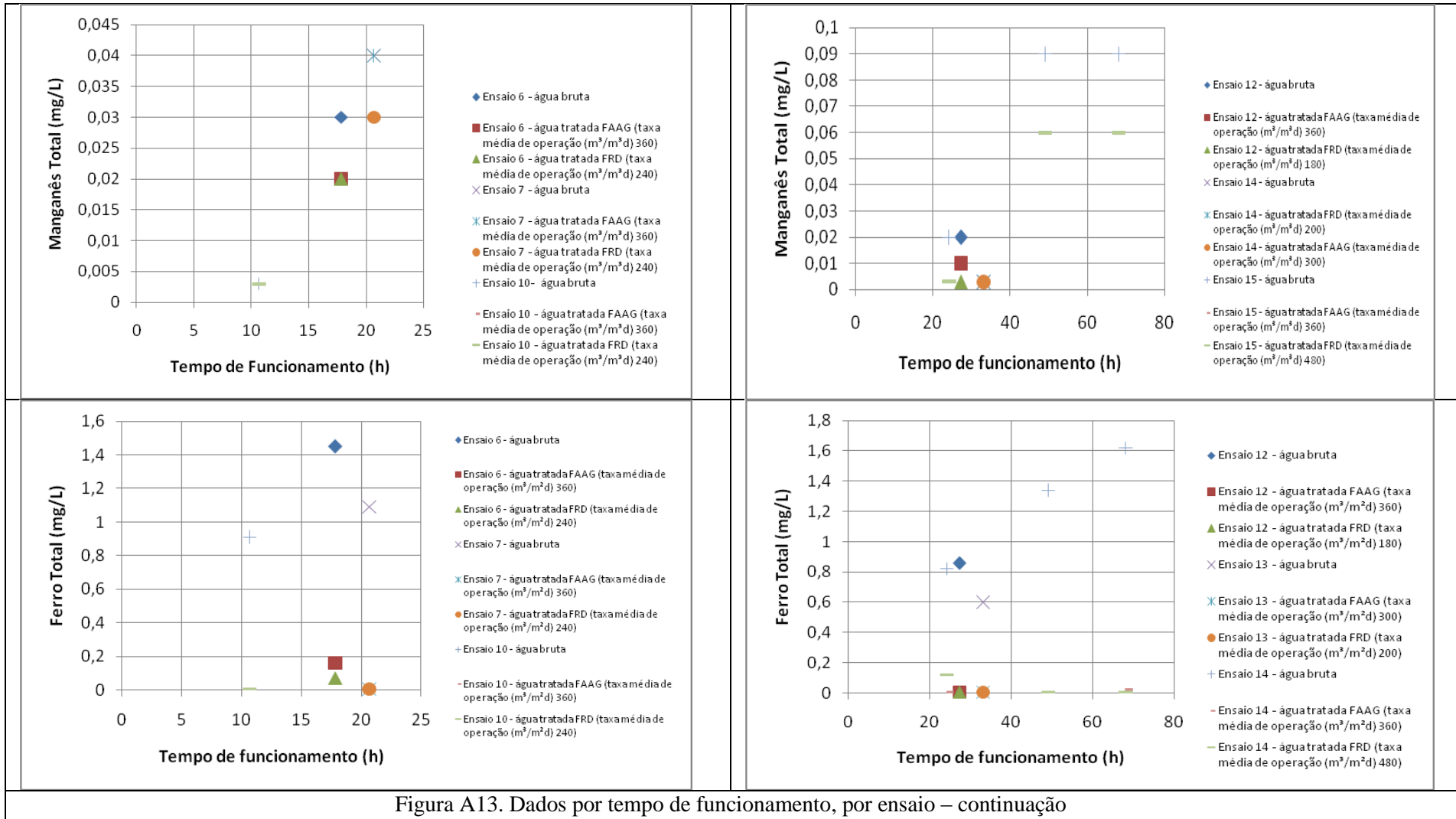
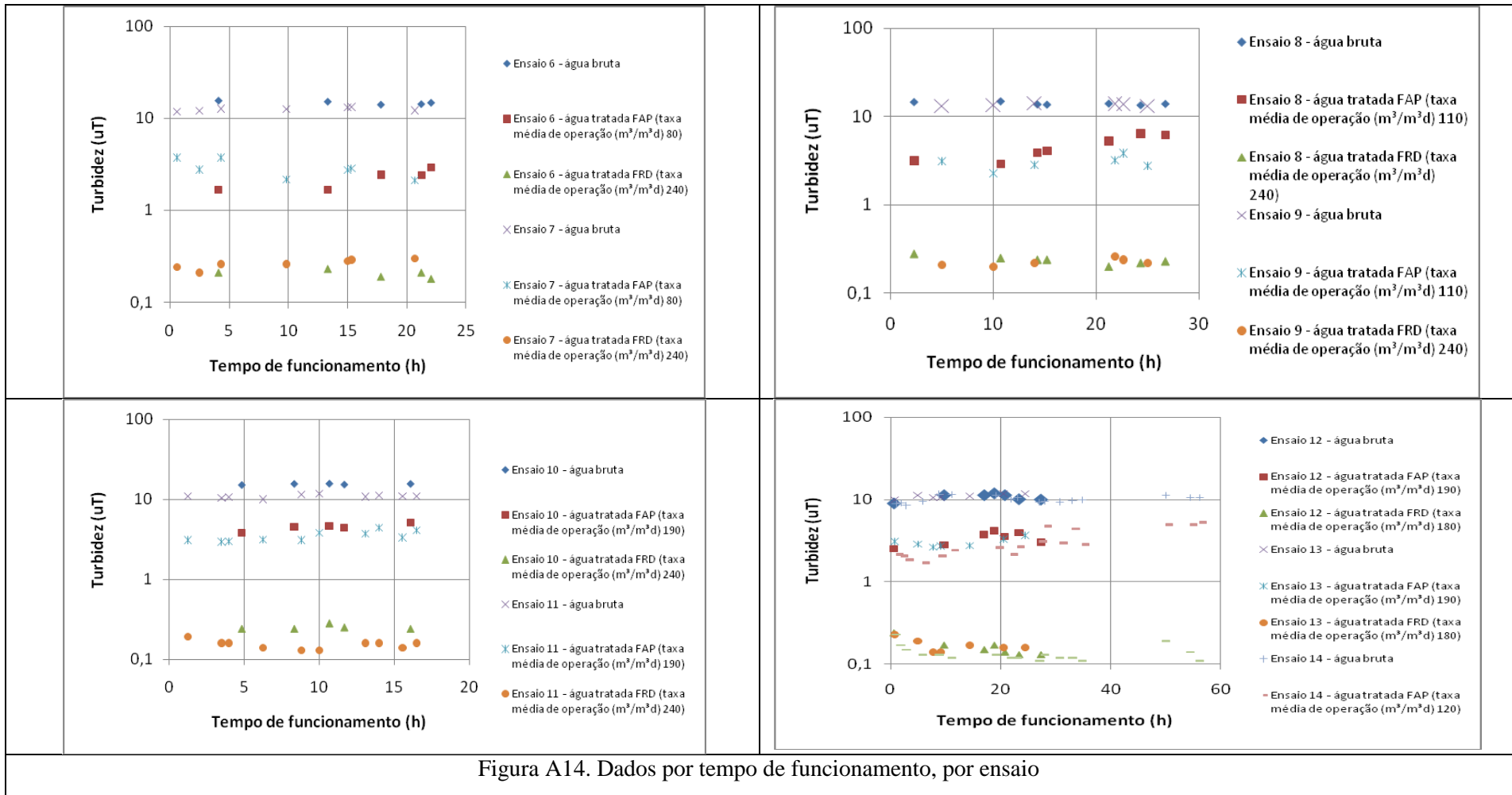


Figura A13. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio – continuação

- Filtro Ascendente em Pedregulho



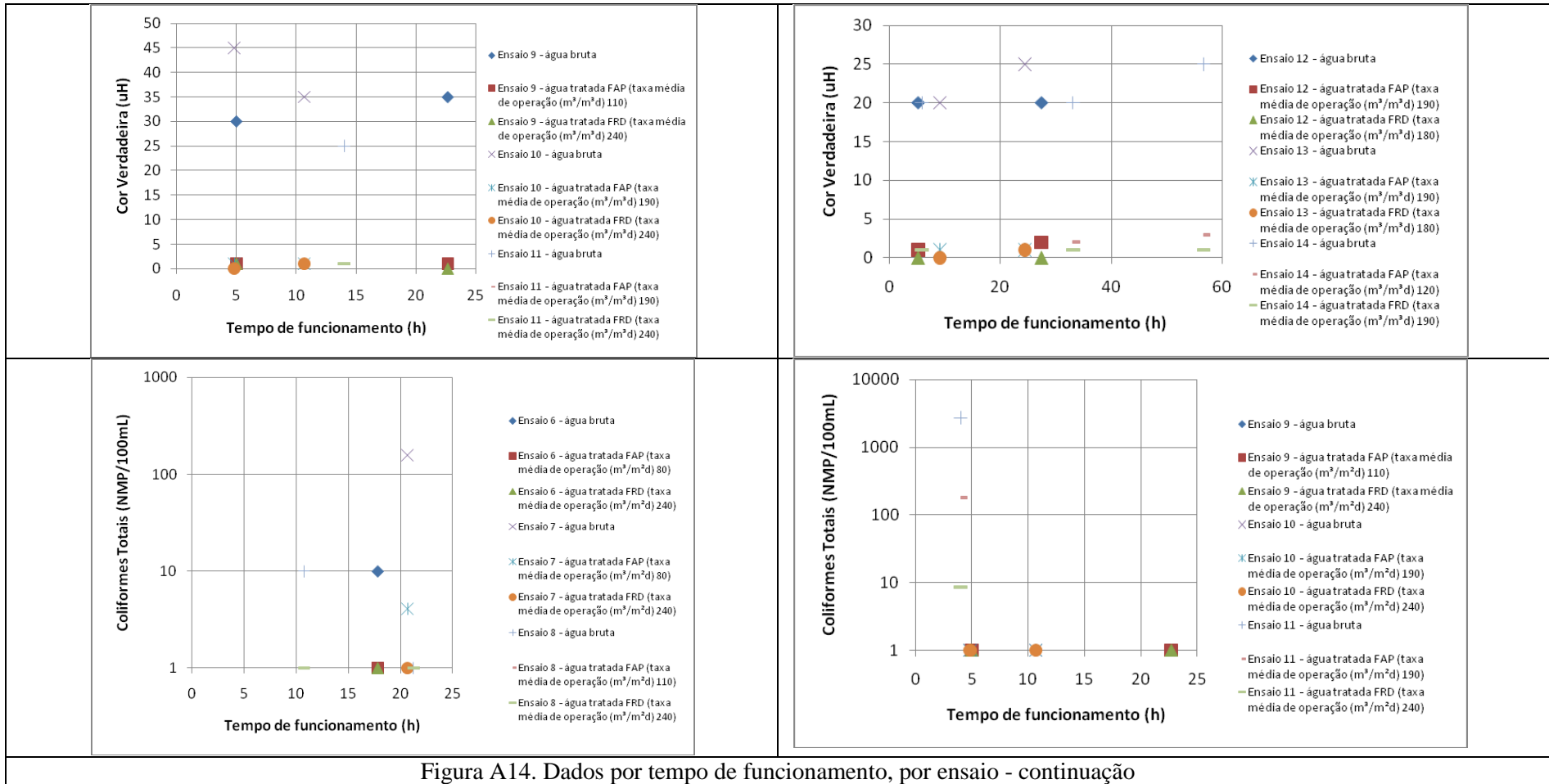


Figura A14. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio - continuação

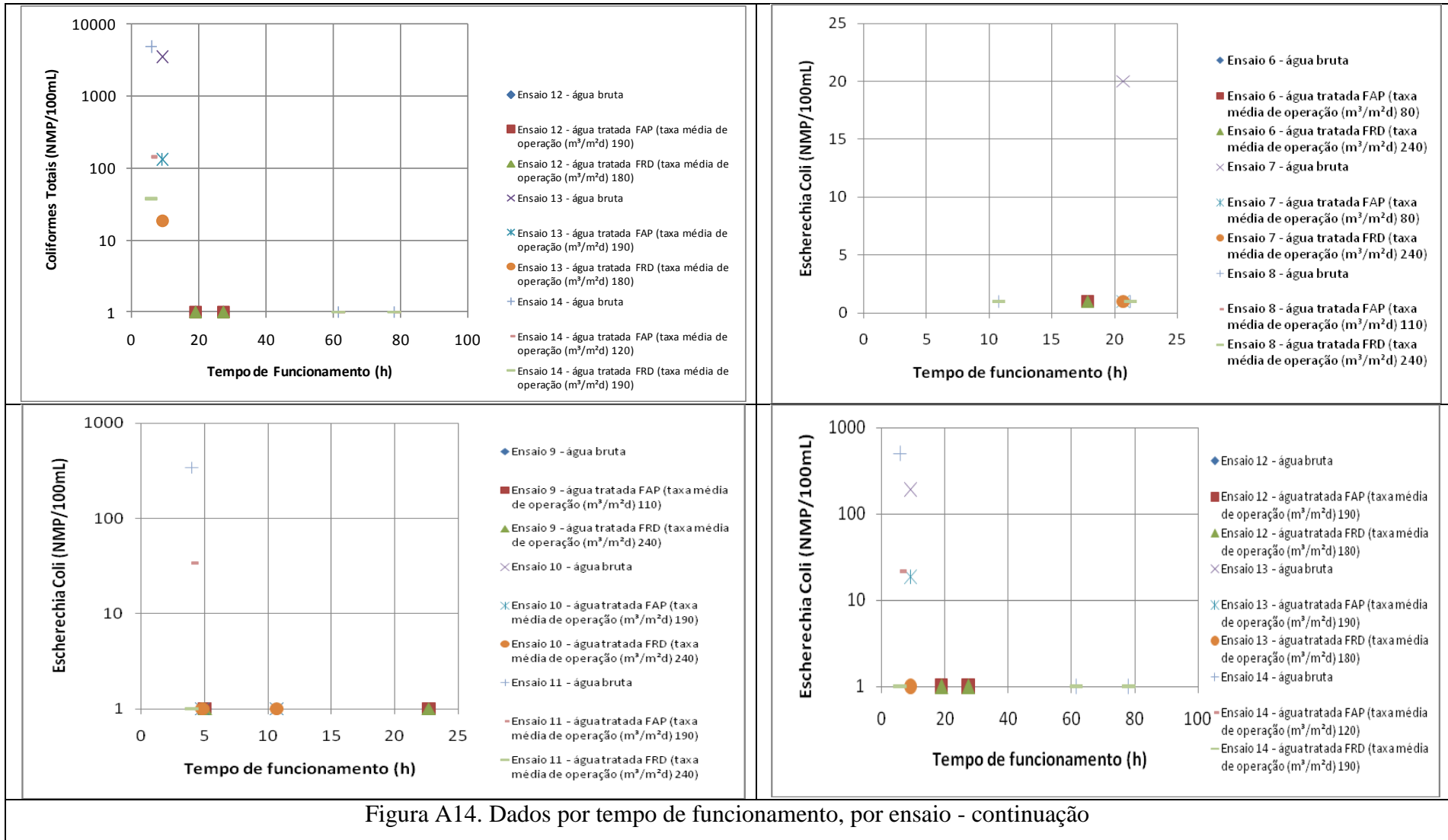


Figura A14. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio - continuação

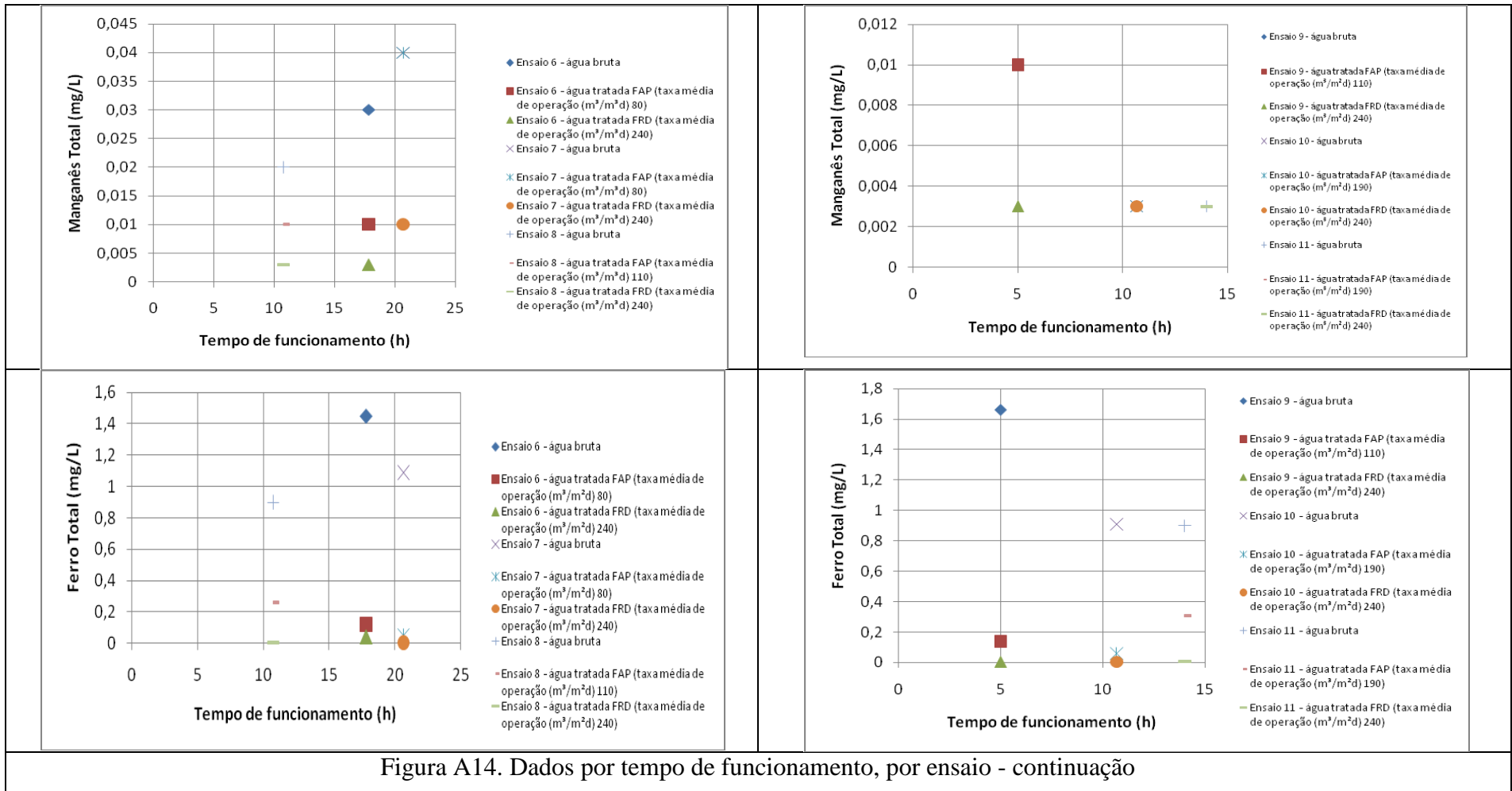
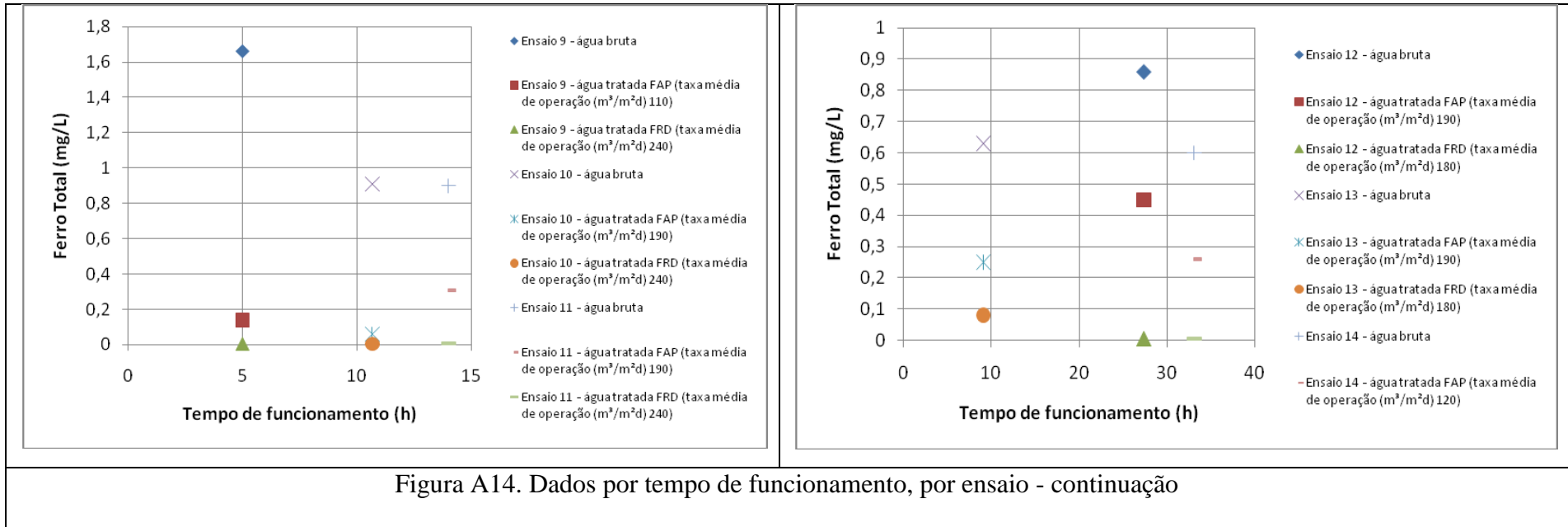


Figura A14. Dados por tempo de funcionamento, por ensaio - continuação



- Filtro Ascendente em Areia Grossa

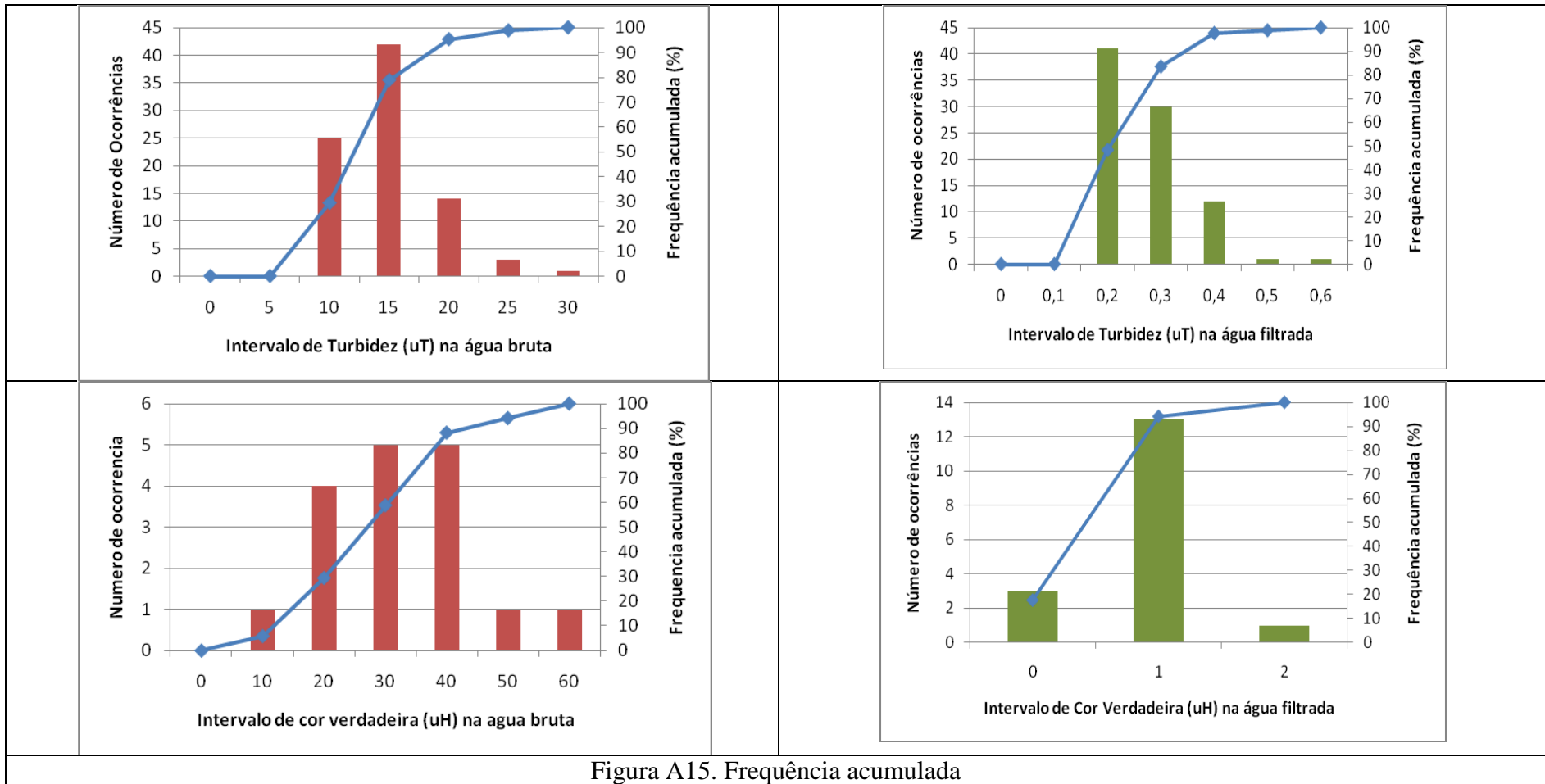


Figura A15. Frequência acumulada

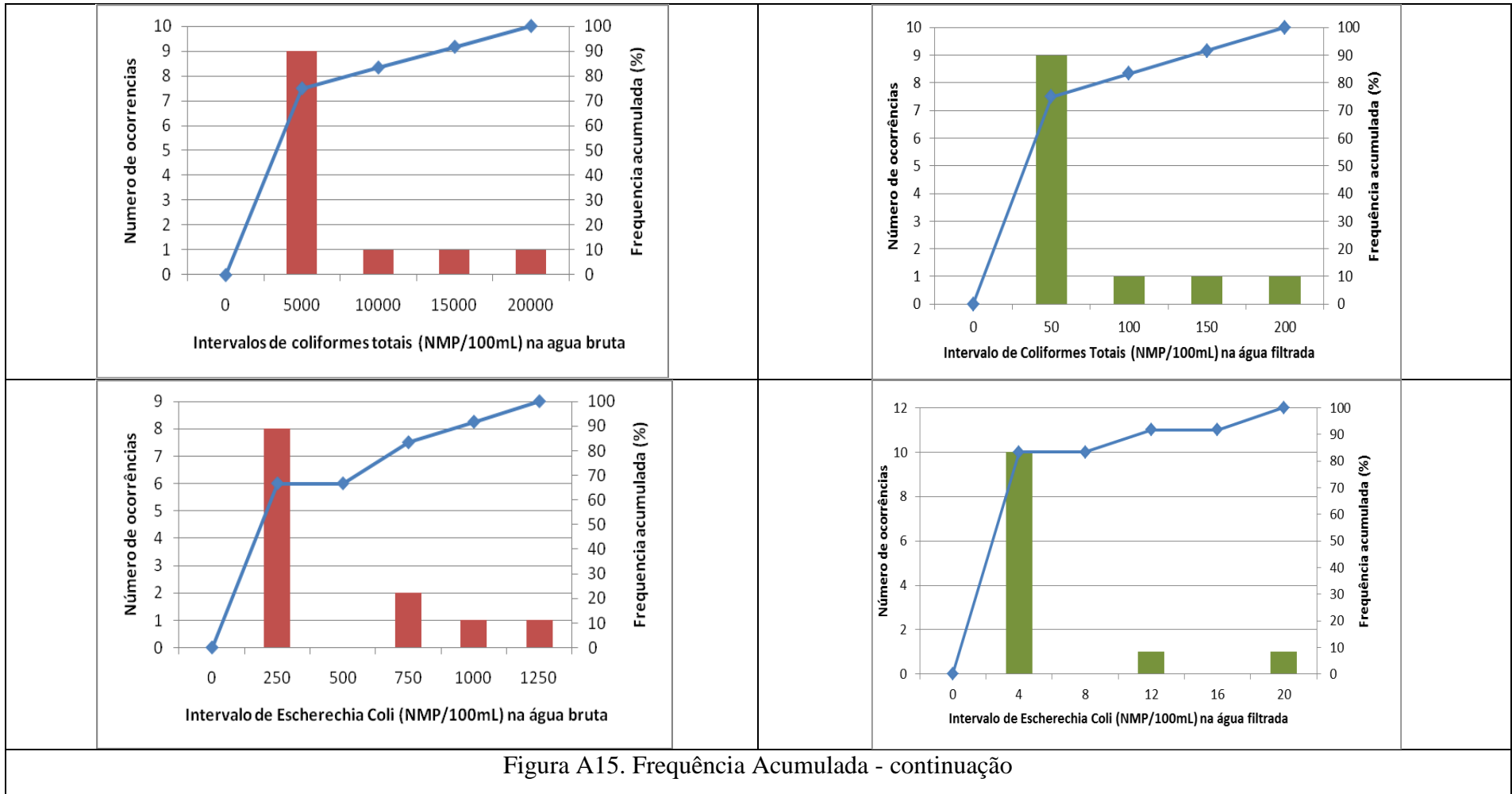


Figura A15. Frequência Acumulada - continuação

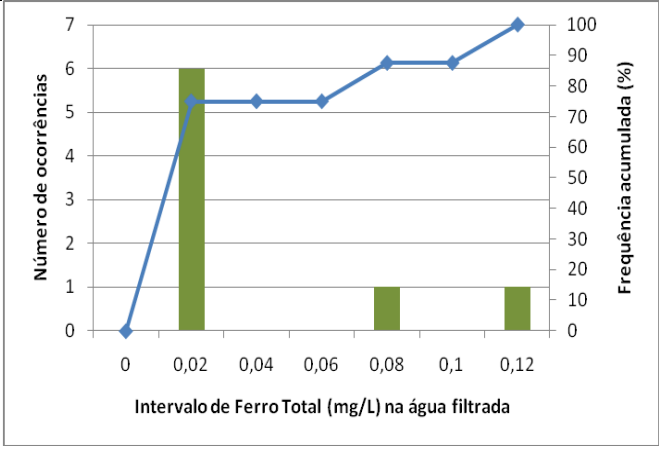
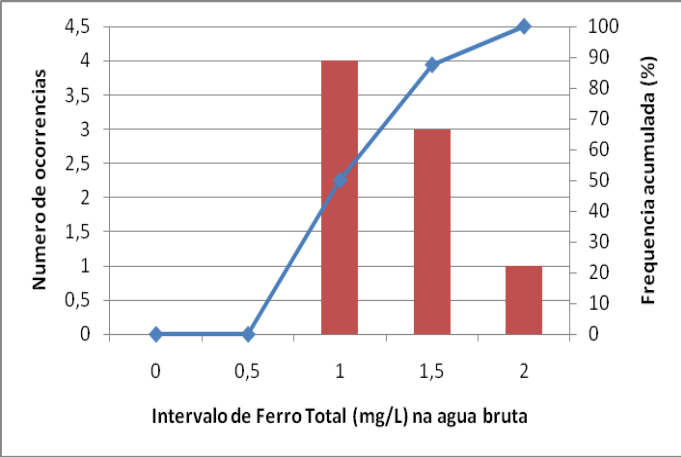
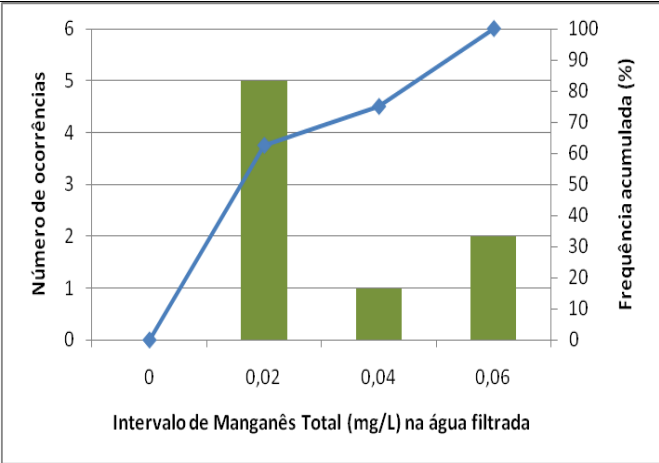
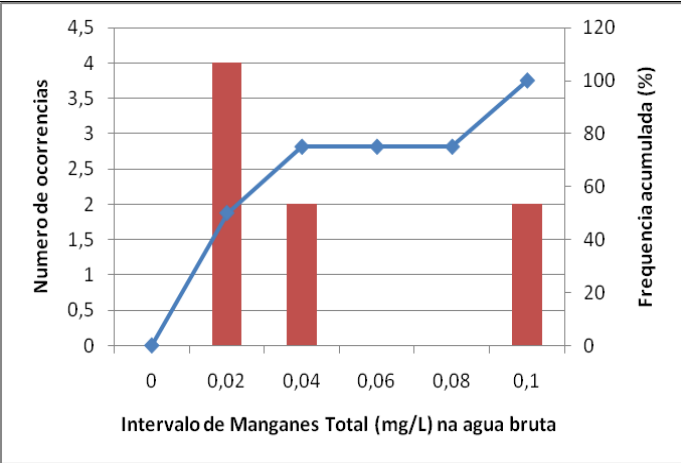
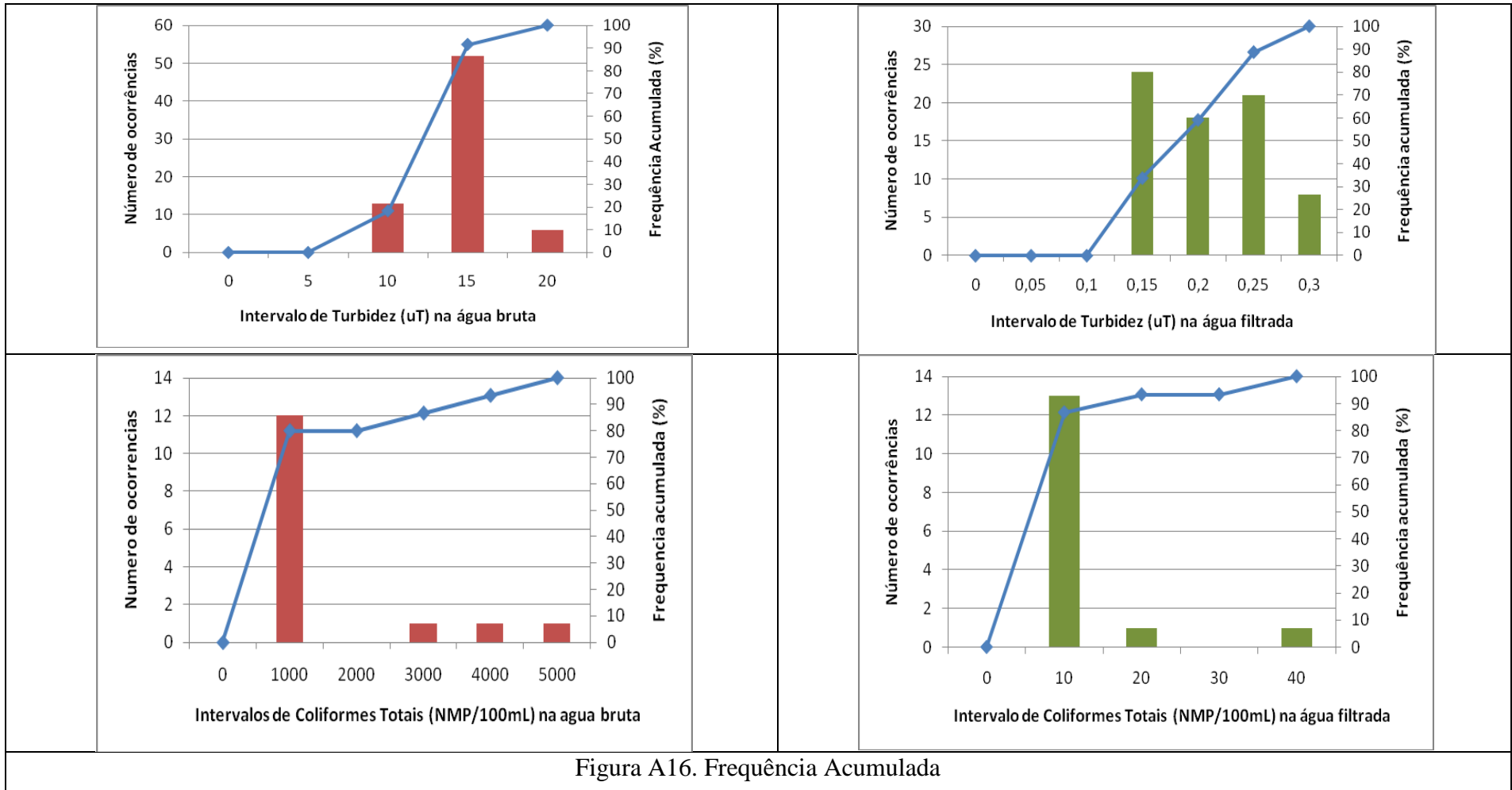
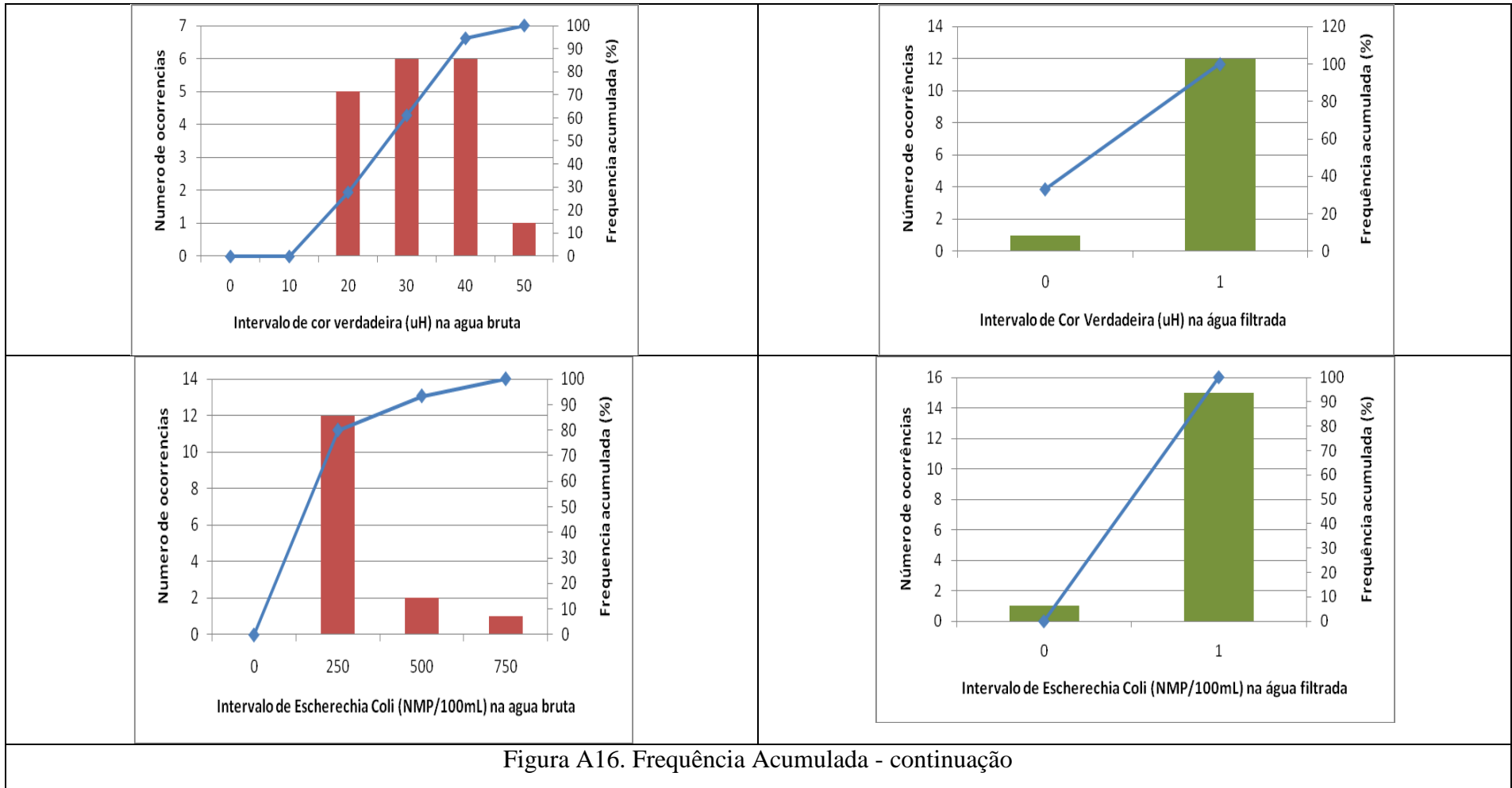


Figura A15. Frequência Acumulada - continuação

- Filtro Ascendente em Pedregulho





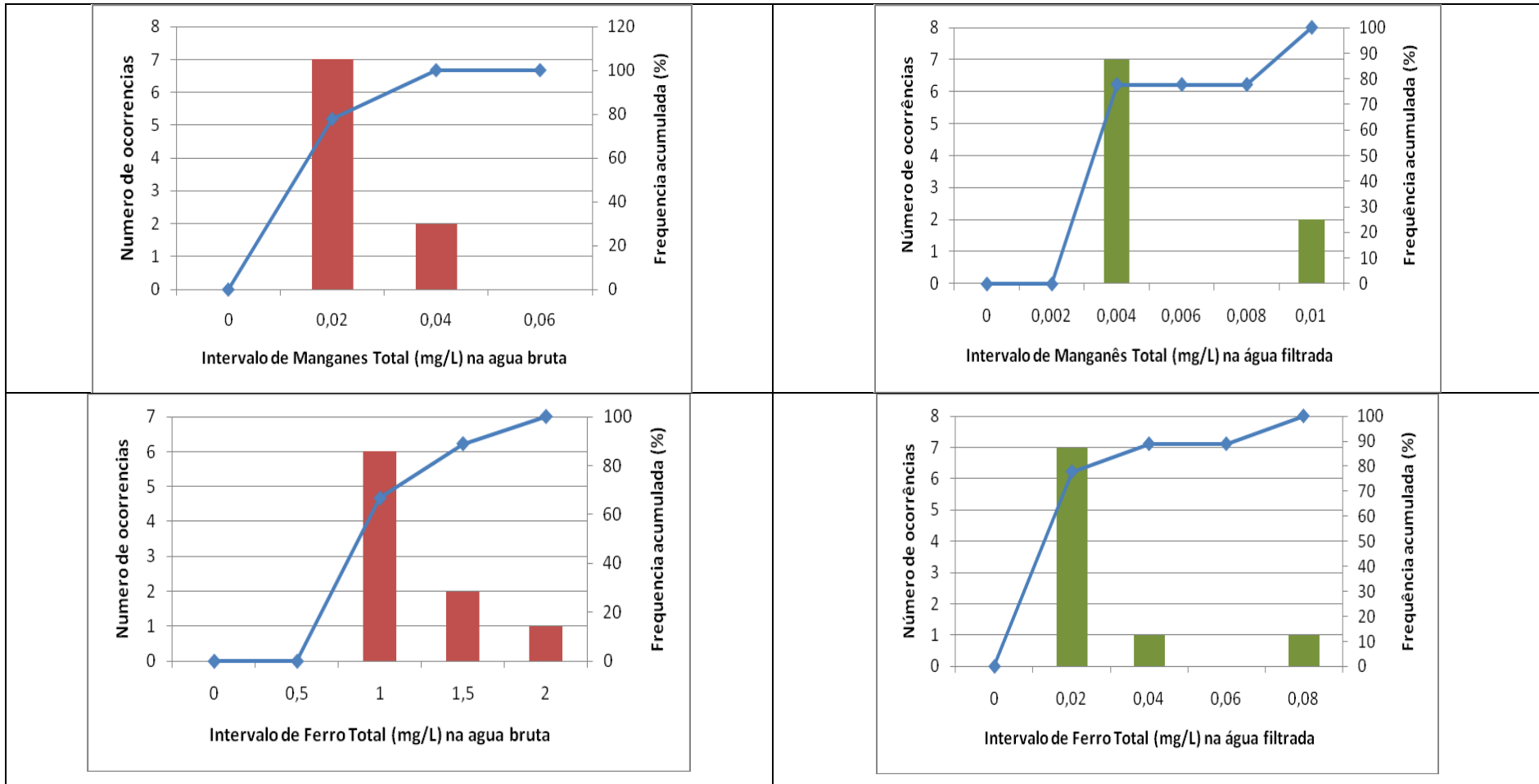


Figura A16. Frequência Acumulada - continuação

## APÊNDICE B. DESCRIÇÃO E FIGURAS DAS ETA EM ESCALA REAL

### ETA 1

As fontes de abastecimento são dois mananciais superficiais (rios) e a vazão de projeto é de 65L/s. O sistema conta com três conjuntos de filtros ascendentes (FAAG) e filtros rápidos descendentes (FRD) com as características apresentadas nas Tabelas B1 e B2.

Tabela B1. Características dos filtros - ETA 1

	Número de Filtros	Diâmetro interno do filtro (m)	Taxas de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)
FAAG	3	3,0	199 a 265
FRD	3	2,5	286 a 381

Tabela B2. Características do meio filtrante - ETA 1

	Espessura da camada filtrante (m)	Tamanho efetivo (mm)	Tamanho dos grãos (mm)	Coefficiente de desuniformidade (mm)	Coefficiente de esfericidade (mm)
FAAG	1,6	1,15 a 1,2	1 a 2,38	1,4 a 1,5	0,75 a 0,8
FRD	0,6	0,5 a 0,55	0,3 a 2,0	1,5 a 1,7	0,75 a 0,8

A lavagem do FAAG é realizada com uma velocidade ascensional de 1,3m/min e duração média de 10 min. As descargas de fundo intermediárias – DFI ocorrem com aplicação de água na interface pedregulho-areia com taxa de aplicação de 650m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia durante 45 a 60 s. A lavagem do filtro descendente é realizada com velocidade ascensional de 0,7m/min e duração de 10min. Ambas as lavagens são realizadas com água proveniente de um reservatório elevado.

### ETA 2

A água bruta é captada de um rio e sua vazão de projeto é de 120L/s. A ETA conta com oito conjuntos de filtros ascendentes (FAAG) e descendentes (FRD). O FAAG está composto por areia grossa. A unidade precisa de três descargas de fundo intermediárias, por carreira de filtração, com aplicação simultânea de água na interface pedregulho-areia. A lavagem do filtro ascendente é realizada durante 8 a 10 min., com velocidade ascensional de 1,1m/min (a taxa de aplicação de água na interface é de 792m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d durante 10 a 30s). A lavagem do filtro descendente é realizada em 10 min. As características dos filtros são apresentadas nas Tabelas B3 e B4.

Tabela B3. Características dos filtros – ETA 2

	Número de Filtros	Diâmetro interno do filtro (m)	Altura da camada de areia (m)	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)
FAAG	8	3,0	1,8	183 a 109
FRD	8	2,5	0,65	264 a 301

Tabela B4. Características do meio filtrante - ETA 2

	Espessura da camada filtrante (m)	Tamanho efetivo (mm)	Tamanho dos grãos (mm)	Coefficiente de desuniformidade (mm)	Coefficiente de esfericidade (mm)
FAAG	1,8	0,8 a 0,85	0,59 a 2,0	1,5 a 1,7	0,7 a 0,8
FRD	0,65	0,59	0,42 a 0,59	1,5	0,8

Os produtos químicos utilizados são hipoclorito de sódio, cal hidratada, sulfato de alumínio e ácido fluorsilícico.

### ETA 3

A ETA conta unicamente com um filtro ascendente em pedregulho (FAP) e um filtro rápido descendente (FRD). A vazão de projeto da ETA é 10L/s. As características dos filtros estão nas Tabelas B5 e B6. A camada suporte do FRD é constituída de pedregulho com as seguintes características: camada com 0,45 m de espessura; coeficiente de esfericidade de 0,70; e porosidade de 0,40.

Tabela B5. Características dos filtros - ETA 3

	Número de Filtros	Diâmetro interno do filtro (m)	Taxa média de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)
FAP	1	3,0	183
FRD	1	2,5	265

Tabela B6. Características do meio filtrante - ETA 3

	Espessura da camada filtrante (m)	Tamanho efetivo (mm)	Coefficiente de desuniformidade (mm)	Coefficiente de esfericidade (mm)	Porosidade
FAP	1,4	Não aplica	Não aplica	0,7	0,4
FRD	0,6	0,42	1,6 a 1,7	0,75 a 0,8	0,42

A lavagem do FAP dura 5 min. com velocidade ascensional da ordem de 0,5 m/min e do FRD dura 8 min. com velocidade ascensional da ordem de 0,7 m/min.

Os produtos químicos utilizados na ETA são hipoclorito de sódio, sulfato de alumínio líquido, ácido fluorsilícico e ortopolifosfato de sódio.

### ETA 4

A fonte de abastecimento da ETA é um rio e a vazão de projeto é 100L/s. O sistema funciona com seis unidades de filtração ascendente (FAAG) e seis unidades de filtração descendente (FRD). O FAAG está composto por areia grossa. A unidade precisa de três descargas de fundo intermediárias, por carreira de filtração, com aplicação simultânea de água na interface pedregulho-areia. A lavagem do filtro ascendente é realizada durante 8 a 10 min., com velocidade ascensional de 1,1m/min (a taxa de aplicação de água na interface é de 792m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d durante 10 a 30 s). A lavagem do filtro descendente é realizada em 10 min. As características dos filtros são apresentadas nas Tabelas B7 e B8.

Tabela B7. Características dos filtros - ETA 4

	Número de Filtros	Diâmetro interno do filtro (m)	Altura da camada de areia (m)	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)
FAAG	6	3,0	1,80	203 a 244
FRD	6	2,5	0,65	295 a 351

Tabela B8. Características do meio filtrante - ETA 4

	Espessura da camada filtrante (m)	Tamanho efetivo (mm)	Tamanho dos grãos (mm)	Coefficiente de desuniformidade (mm)	Coefficiente de esfericidade (mm)
FAAG	1,8	0,8 a 0,85	1,41 a 2	1,5 a 1,7	0,7 a 0,8
FRD	0,65	0,59	0,42 a 0,59	1,5	0,8

Os produtos químicos utilizados na ETA são: hipoclorito de sódio, cal hidratada, sulfato de alumínio e ácido fluorsilícico.

## ETA 5

A captação de água da ETA é feita em três mananciais. A ETA possui doze filtros ascendentes (FAAG) e doze filtros descendentes (FRD). Quanto à carreira de filtração, a do FAAG é de aproximadamente 27 h em períodos chuvosos e de 50 h em estiagem. Por sua vez, a do FRD é de perto de 70 h nos períodos chuvosos e 100 h em estiagem. As descargas de fundo são realizadas a cada 10 h e duram em média 1,5 min. As características dos filtros e do meio filtrante estão, respectivamente, nas Tabelas B9 e B10.

Tabela B9. Características dos filtros - ETA 5

	Número de Filtros	Taxa média de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)
FAAG	12	181,8
FRD	12	217,7

Tabela B10. Características do meio filtrante - ETA 5

	Espessura da camada de pedregulho (m)	Tamanho dos grãos de pedregulho (mm)	Espessura da camada (m)	Tamanho dos grãos (mm)	Tamanho efetivo (mm)	Coefficiente de desuniformidade (mm)
FAAG	1	2,4 a 38	1,5	0,71 a 2,4	0,95 a 1,05	1,5 a 1,7
FRD	Não aplica	Não aplica	0,6	0,42 a 1,41	0,5 a 0,55	1,3 a 1,5

Quanto aos resíduos, toda a água utilizada na limpeza dos filtros, após ser clarificada em adensador, é recirculada à ETA, enquanto o lodo adensado é desidratado com o uso de centrífugas. A água clarificada, efluente da centrífuga, retorna ao tanque de equalização que antecede o adensador.

## Base de dados das ETA em escala real

As Tabelas B11 a B13 apresenta os dados das ETA 2, ETA 3 e ETA 4. As Figuras B1 a B7 mostram a distribuição dos dados dos sistemas avaliados.

Tabela B11. Dados da ETA 2

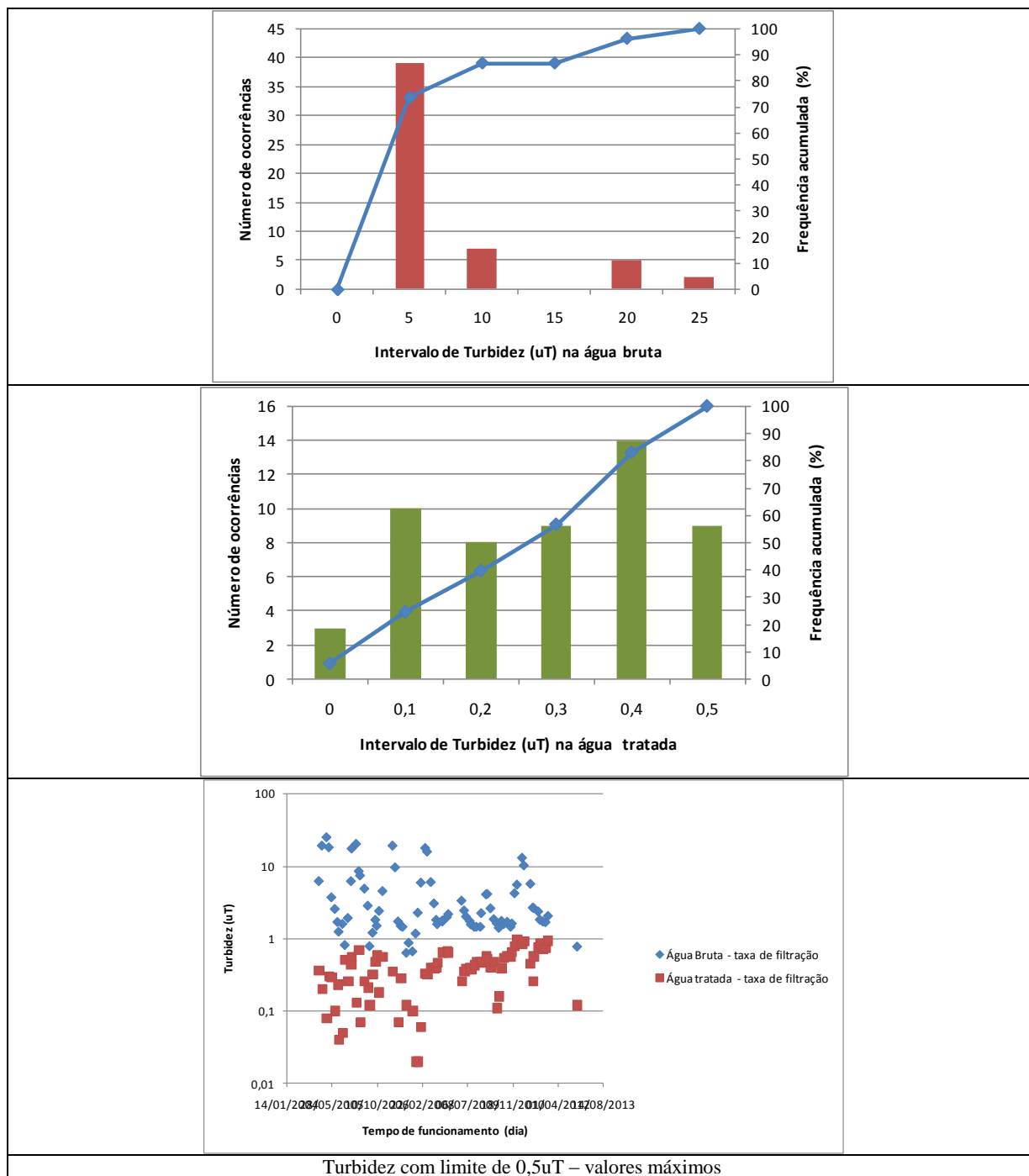
	Dia de funcionamento	Água Bruta	Água Tratada
Turbidez (uT)	18/12/2007	0,8	0,9
	11/12/2008	1,4	1
Cor Aparente (uC)	18/12/2007	2	0
	11/12/2008	3	2
	25/03/2009	16,8	2,1
Ferro Total (mg/L)	18/12/2007	0,28	0,23
	11/12/2008	0,34	0,27
	10/02/2010	0,29	0,16
	28/07/2011	0,3	0,3

Tabela B12. Dados da ETA 3

	Data de funcionamento	Água Bruta	Água Tratada
Cor Aparente (uC)	06/05/2005	30	2,5
	13/01/2005	60	2,5
	13/09/2006	2,5	2,5
	10/04/2007	84	5
	22/10/2007	2,5	0
	22/04/2008	2,5	2,5
	24/10/2008	2,5	2,5
	27/05/2009	45	2,5
	26/03/2010	2,5	2,5
	25/03/2011	30	3
	18/11/2011	5	3
Ferro Total (mg/L)	06/05/2005	0,29	0,021
	13/01/2005	0,454	0,008
Manganês Total (mg/L)	13/01/2005	0,01	0,001
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	06/05/2005	120	0
	13/01/2005	0,055	0

Tabela B13. ados da ETA 4

	Data de Funcionamento	Água Bruta	Água Tratada
Cor Aparente (uC)	30/03/2011	164	14
Ferro Total (mg/L)	30/03/2011	3,55	0,15



Turbidez com limite de 0,5uT – valores máximos  
 Figura B1. Dados de turbidez com limite de 0,5uT na ETR 3

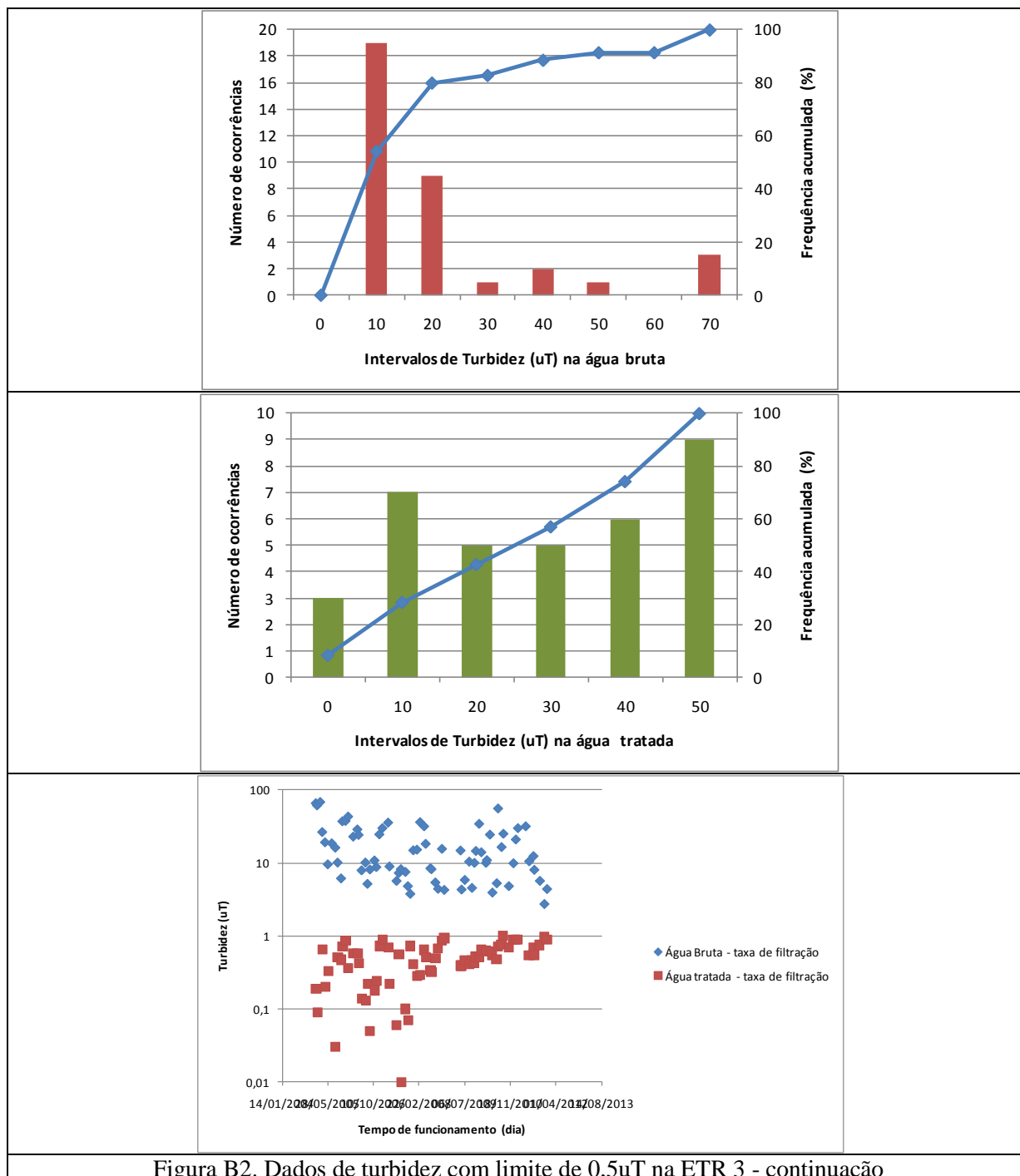


Figura B2. Dados de turbidez com limite de 0,5uT na ETR 3 - continuação

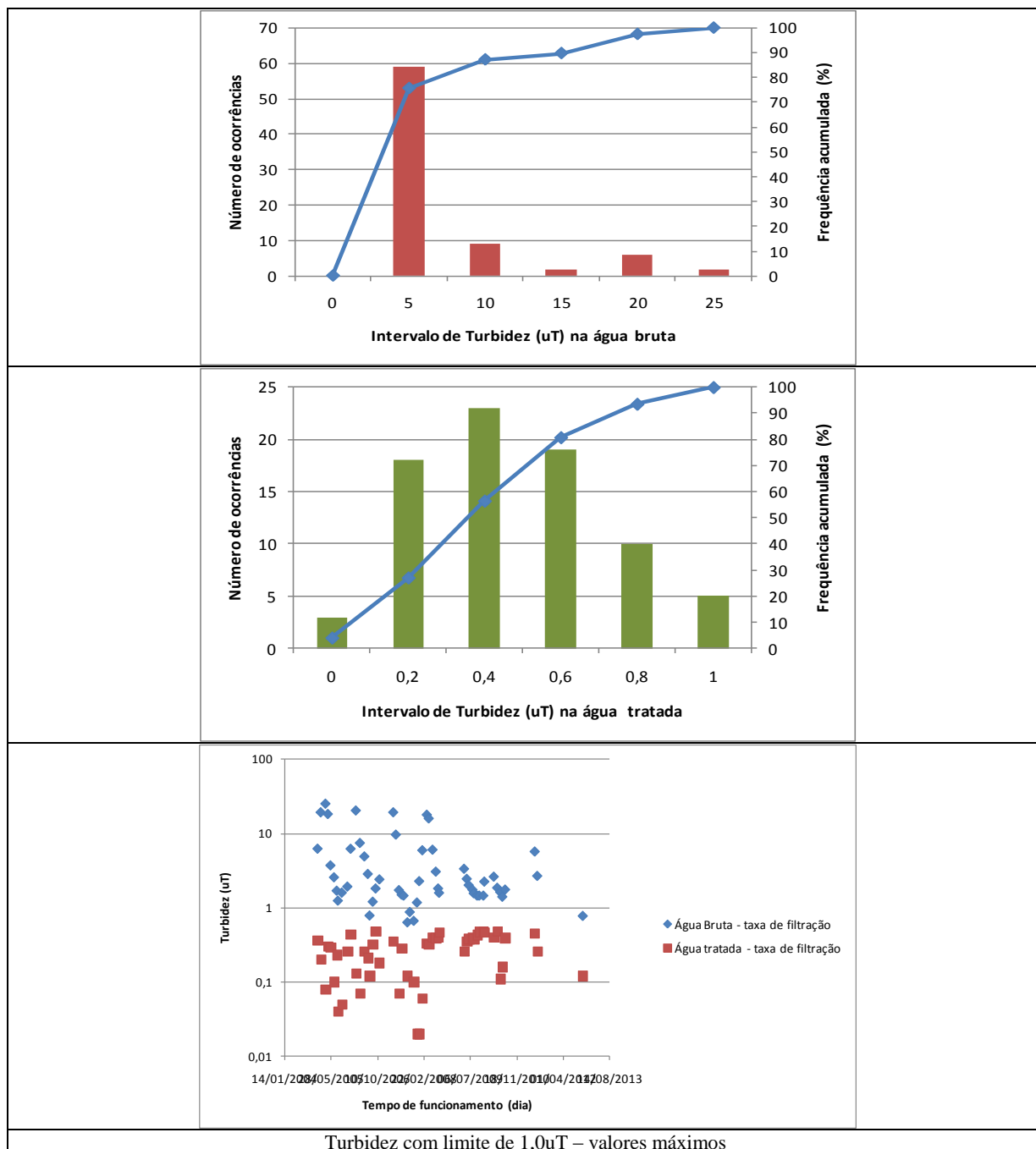
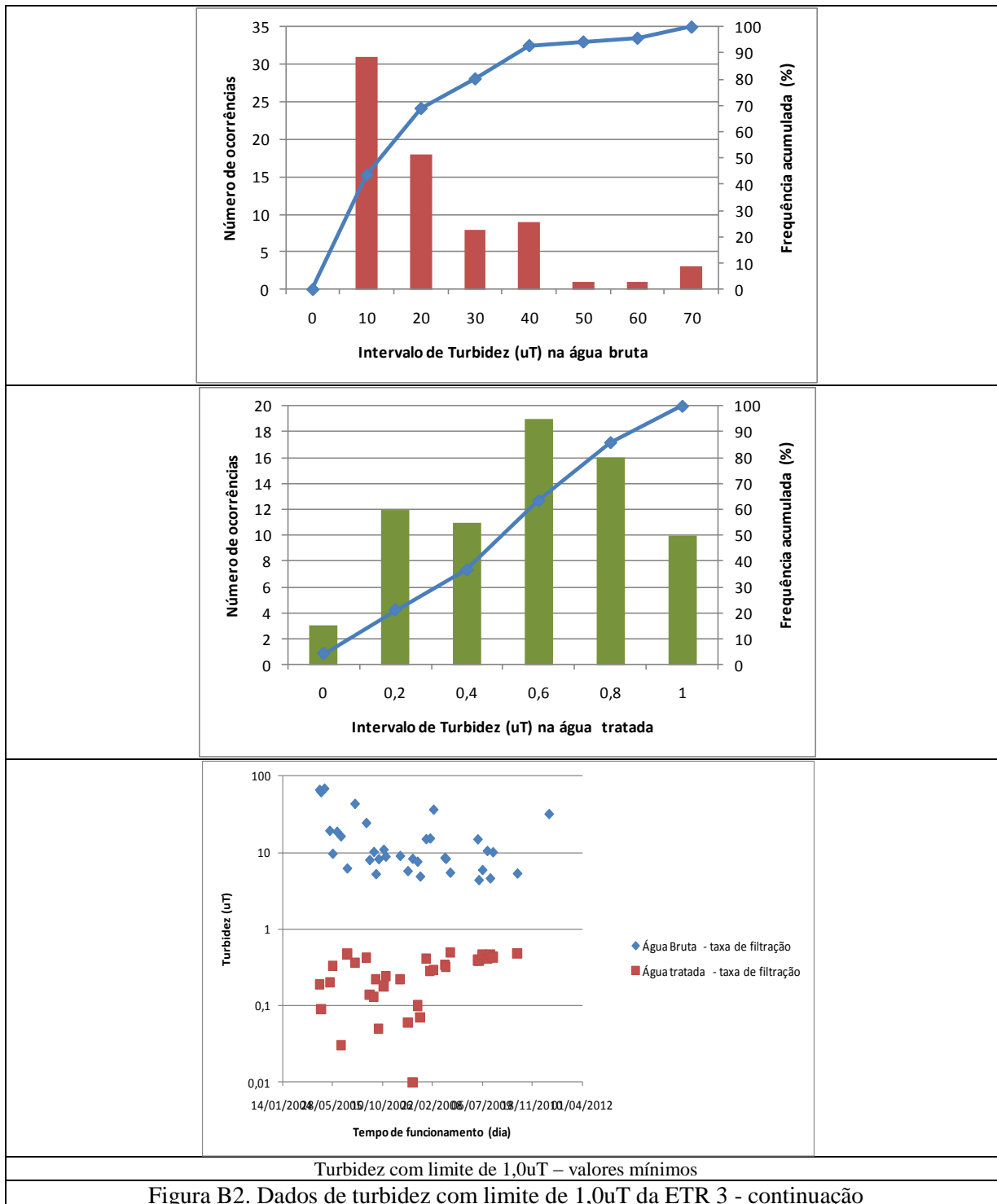


Figura B2. Dados de turbidez com limite de 1,0uT da ETR 3



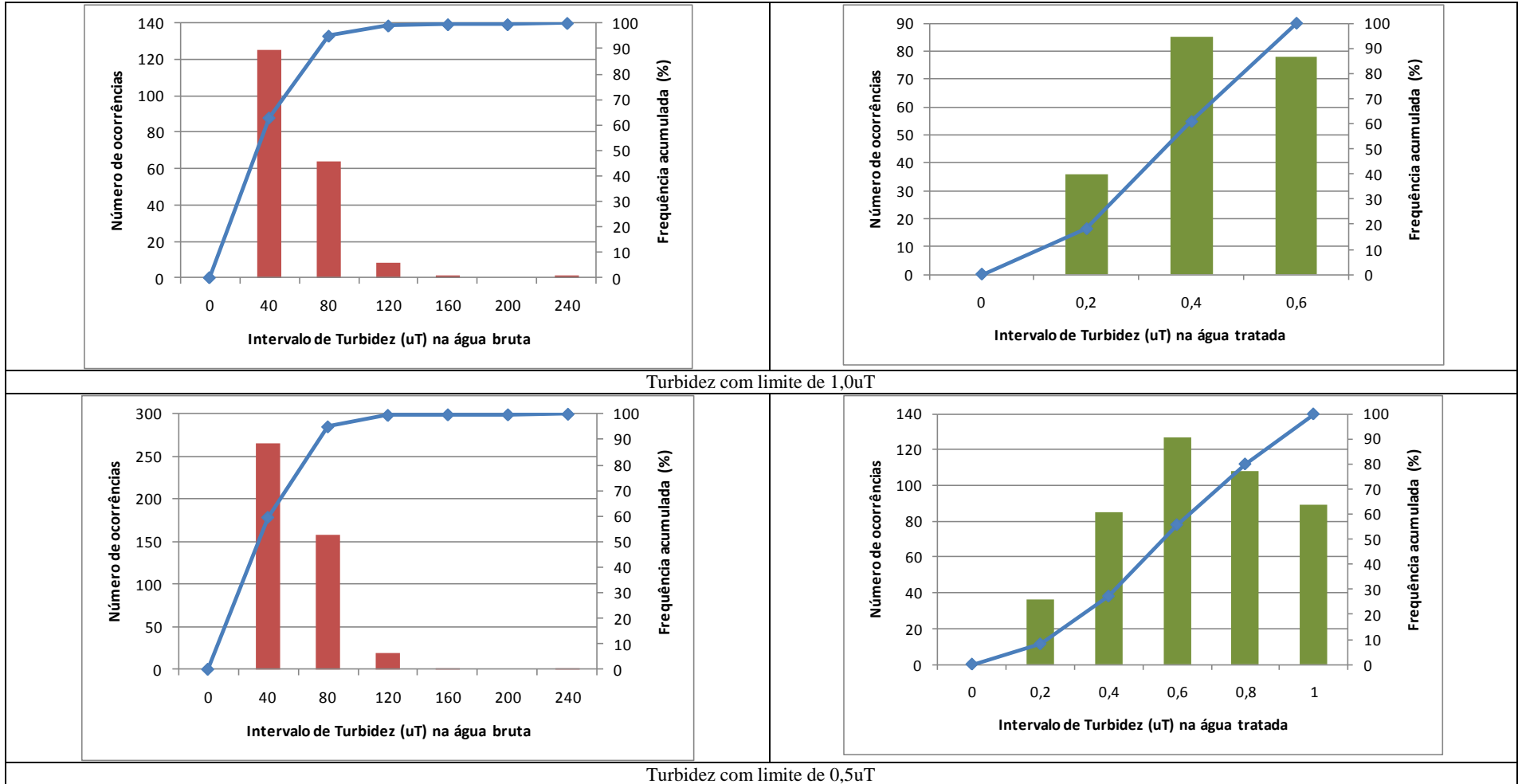


Figura B3. Dados de turbidez da ETA 1(SP)

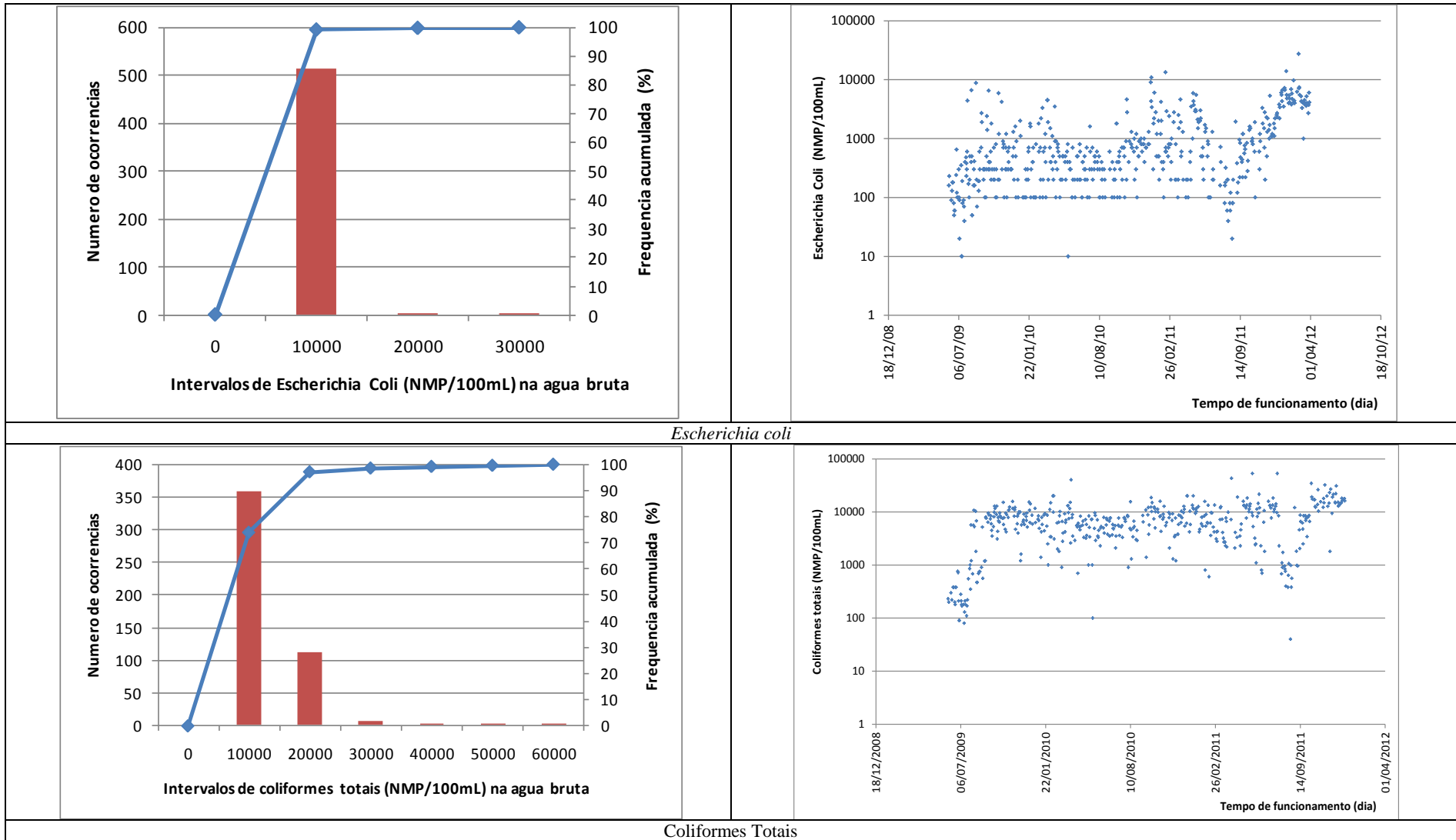


Figura B4. Dados de *Escherichia coli* e Coliformes Totais da ETR 1

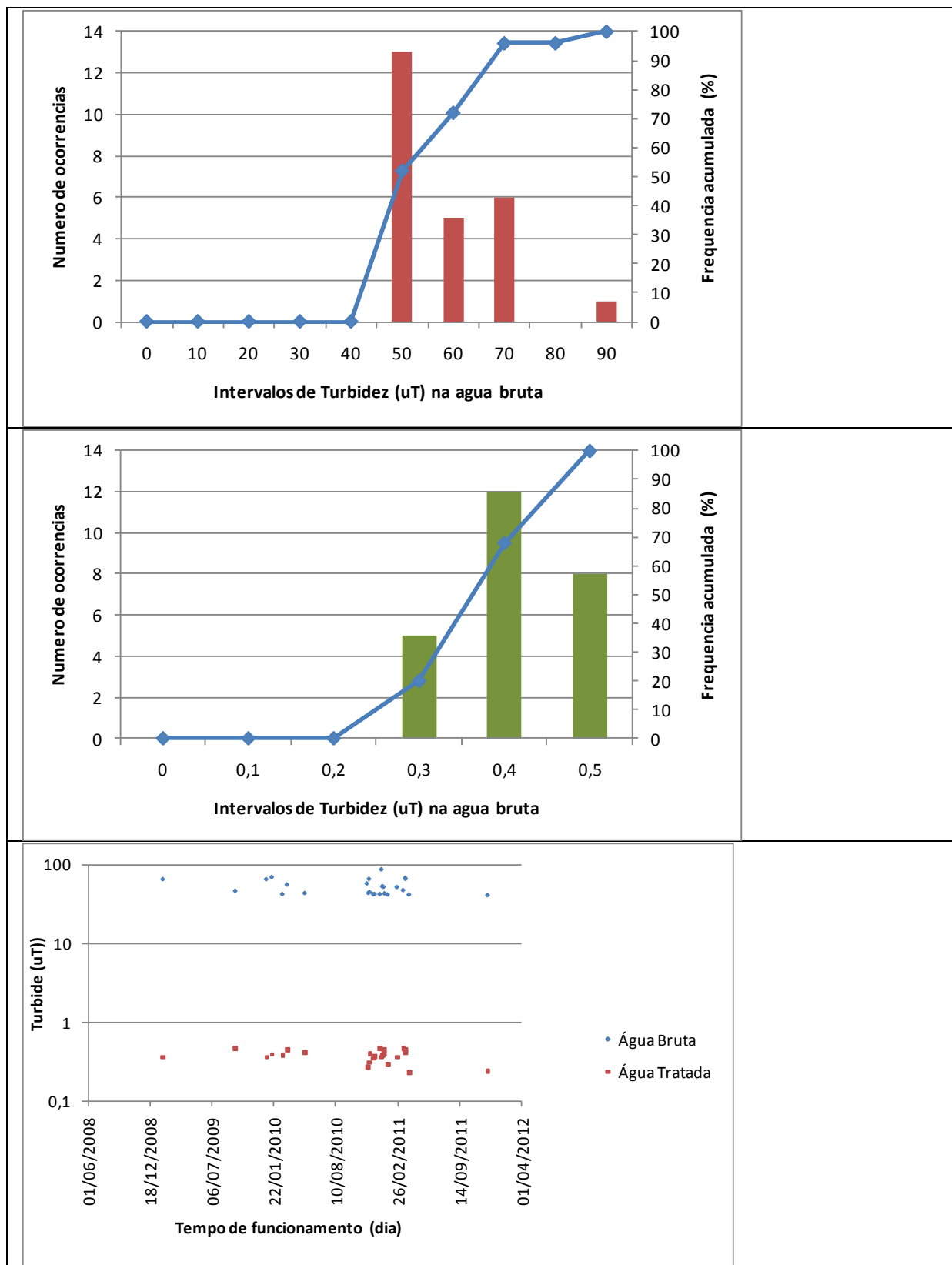


Figura B5. Dados de Turbidez com limite de 0,5uT da ETA 5

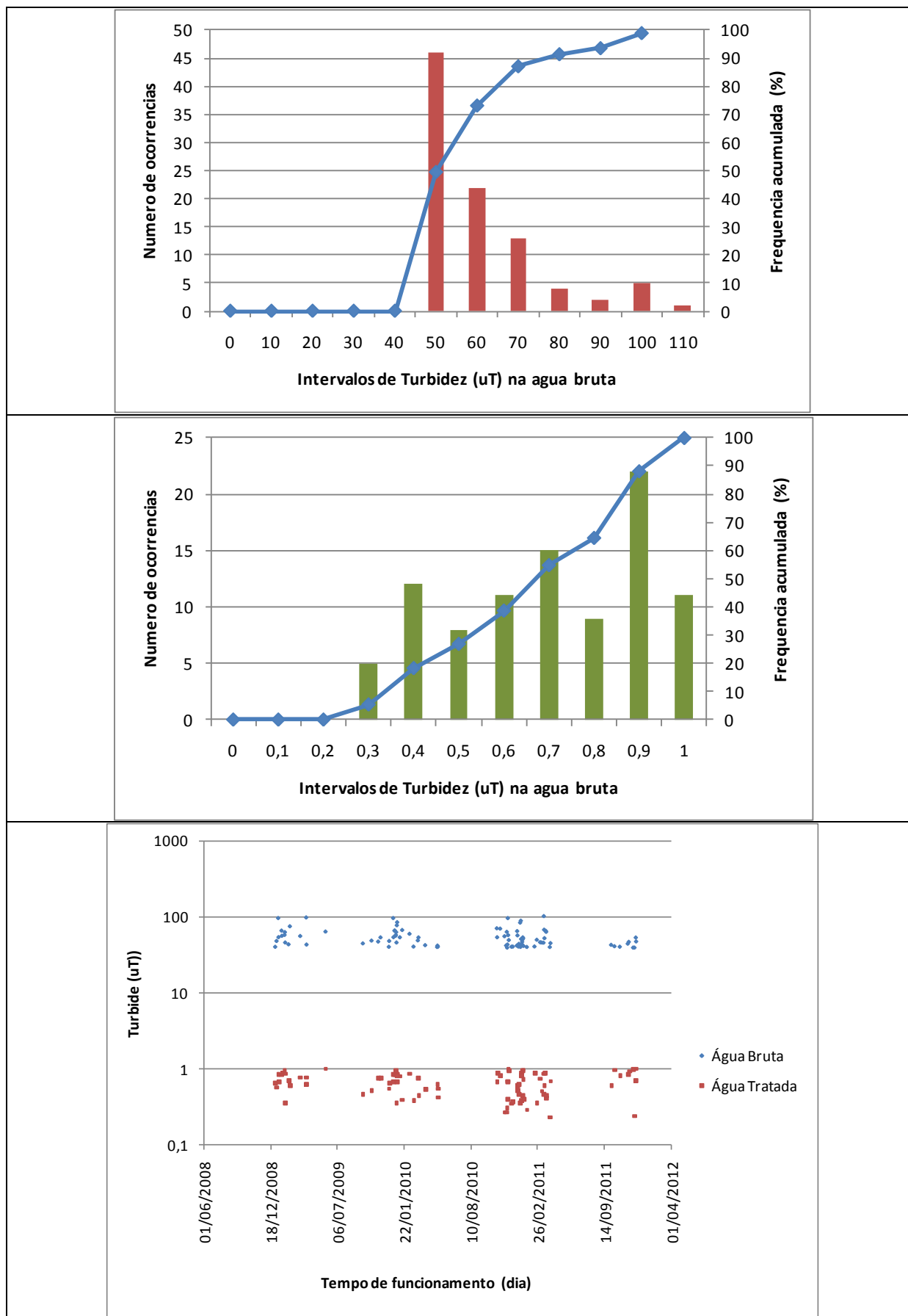


Figura B6. Dados de Turbidez com limite de 1,0uT da ETR 5

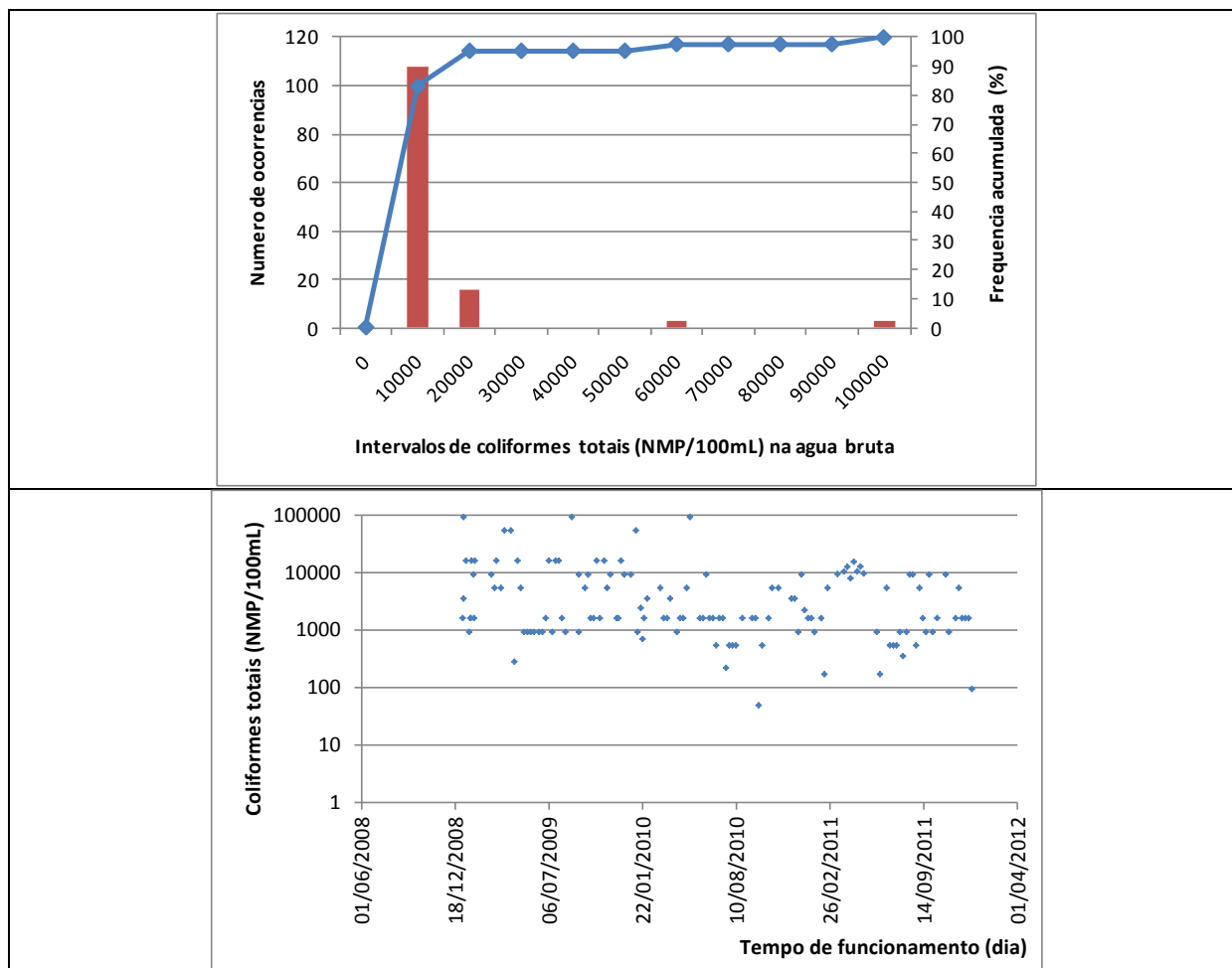


Figura B7. Dados de Coliformes Totais da ETR 5

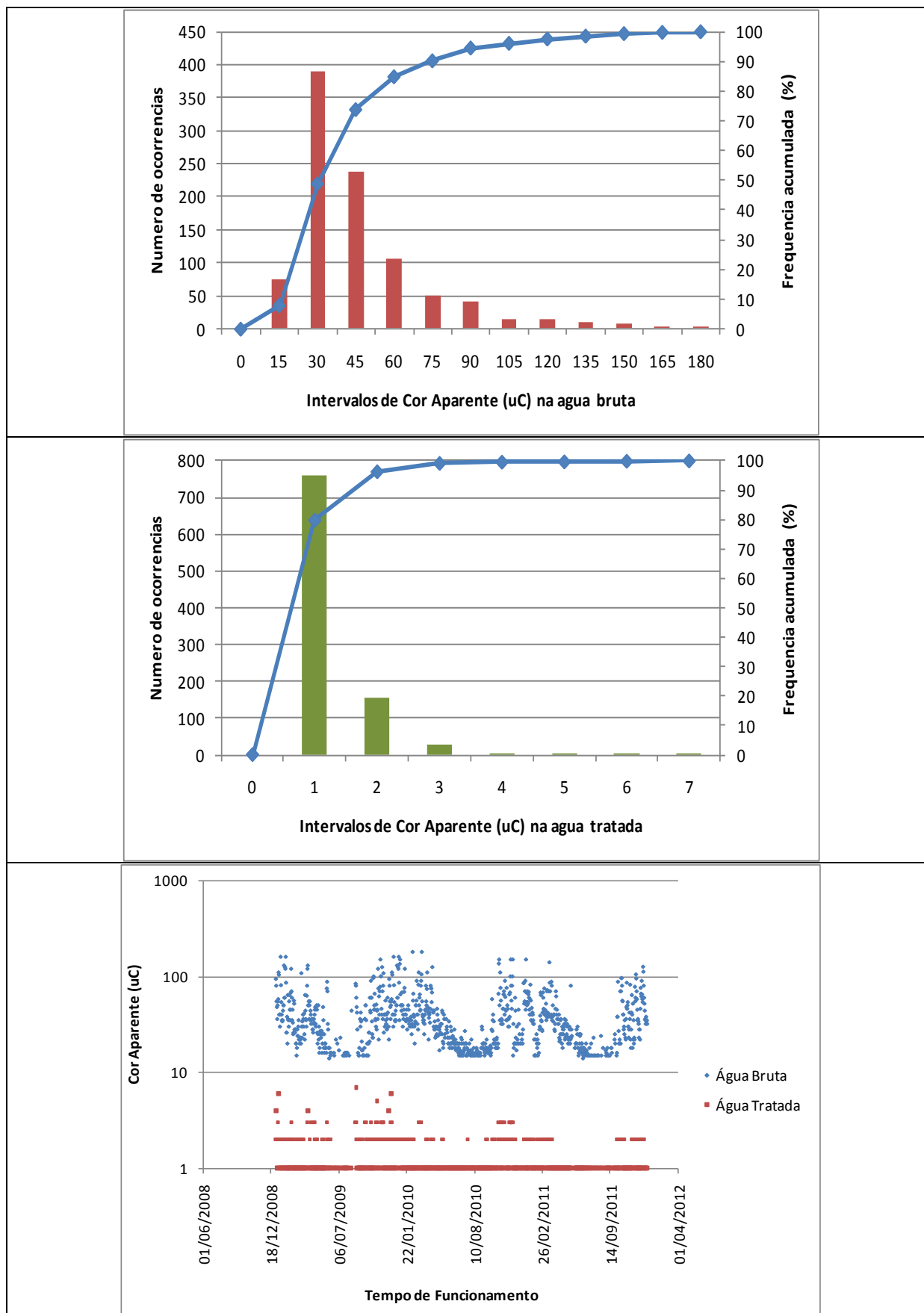


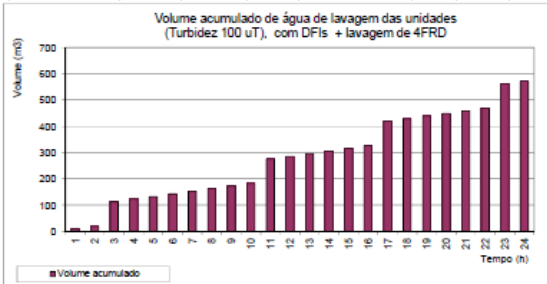
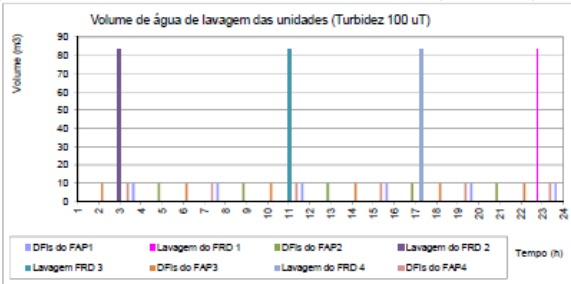
Figura B8. Dados de Cor Aparente da ETA 5 (DF)

# APÊNDICE C. EXEMPLO DA PLANILHA DE CÁLCULO UTILIZADA PARA QUANTIFICAR A PRODUÇÃO DE RESÍDUOS DA TECNOLOGIA DE DF

## DF com FAP

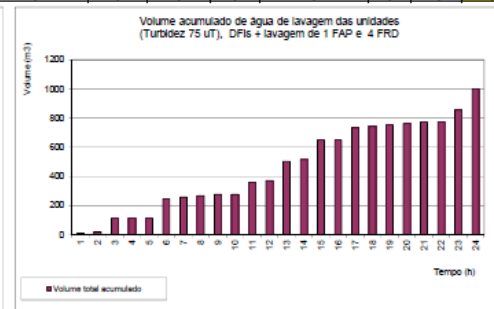
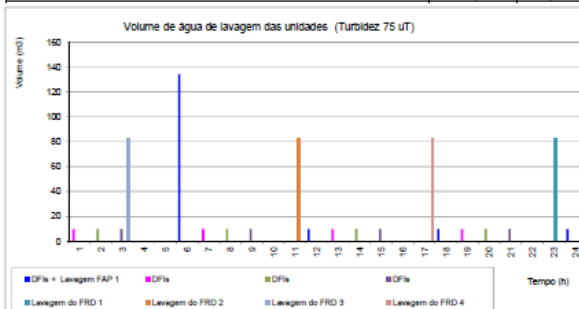
Lodo FAP		
<b>1. Características da ETA</b>		
Vazão da ETA (m³/s) - Q <sub>eta</sub>	0,1	Dados de entrada
<b>2. Características da água bruta</b>		
Qualidade da água		Valor
Turbidez (uT)	100% ≤	100
	95% ≤	75
<p><b>ETA = 4 FAP + 4 FRD</b></p> <p>Senha: 123</p>		
<b>3. Estimativa da concentração de SST na água bruta, água coagulada e água filtrada</b>		
Estimativa da concentração de SST para turbidez de 100 uT na água bruta (Frequência de ocorrência 100%)		
Turbidez na água bruta (uT) - T	100	
Valor máximo do coeficiente - a	2,0	Di Bernardo e Sabogal Paz (2008)
Valor mínimo do coeficiente - a	0,0	Di Bernardo e Sabogal Paz (2008)
Valor médio do coeficiente - a	1,45	Adotado
Turbidez da água coagulada (uT)	100	Turbidez da água bruta + turbidez de água coagulada - segundo dados de Kuroda (2002)
Concentração de sólidos suspensos na água coagulada (mg/L) - SSTac	145	SST = aT
Turbidez da água pré-filtrada (uT)	10	Di Bernardo e Sabogal Paz (2008)
Concentração de sólidos suspensos na água pré-filtrada (mg/L) - SSTad	15	SST = aT
Turbidez da água filtrada (uT)	0,8	Portaria 2914/2011
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada (mg/L) - SSTaf	0,7	SST = aT
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada adotada (mg/L) - SSTaf	0	considerando a dificuldade em estabelecer o teor de SST na água filtrada, estima-se que a concentração de SST na água filtrada é zero
Estimativa da concentração de SST para turbidez de 80 uT na água bruta (Frequência de ocorrência 95%)		
Turbidez na água bruta (uT) - T	75	
Turbidez da água coagulada (uT)	75	
Concentração de sólidos suspensos na água coagulada (mg/L) - SSTac	109	SST = aT
Turbidez da água pré-filtrada (uT)	10	Di Bernardo e Sabogal Paz (2008)
Concentração de sólidos suspensos na água pré-filtrada (mg/L) - SSTad	15	SST = aT
Turbidez da água filtrada (uT)	0,8	Portaria 2914/2011
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada (mg/L) - SSTaf	0,7	SST = aT
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada adotada (mg/L) - SSTaf	0	Considerando a dificuldade em estabelecer o teor de SST na água filtrada, estima-se que a concentração de SST na água filtrada é zero
<b>4. Características da limpeza das unidades da ETA</b>		
<b>4.1 Características da limpeza dos filtros ascendentes em areia grossa</b>		
Massa de sólidos retidos no filtro ascendente, por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 100%		
Massa de sólidos retidos nos filtros ascendentes em areia grossa (Kg/d) - MSSTrd	1129	$MSSTrd = Q_{\text{eta}}(SSTac - SSTad)/86,4$
Massa de sólidos retidos no filtro ascendente, por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 95%		
Massa de sólidos retidos nos filtros ascendentes em areia grossa (Kg/d) - MSSTrd	814	$MSSTrd = Q_{\text{eta}}(SSTac - SSTad)/86,4$
<b>Limpeza do filtro ascendente em areia grossa</b>		
Taxa de filtração (m³/m²dia) - Tf	130	Tf entre 80 e 180 m³/m²dia (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008) - adotou-se o valor médio
Área em planta dos filtros (m²)	66,48	$A_f = Q_{\text{eta}}/Tf$
Número de filtros	4	Segundo Sabogal Paz (2007, 30/10)
Área em planta de cada filtro (m²)	16,62	
Diâmetro de cada filtro (m)	4,65	
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/s) - V <sub>lav</sub>	0,008	
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/d) - V <sub>lav</sub>	720	V <sub>lav</sub> > 720 m³/m² dia - Segundo Sabogal Paz (2007) com lavagem somente com água
Vazão de lavagem de um filtro (m³/s) - Q <sub>lav</sub>	0,138	$Q_{\text{lav}} = V_{\text{lav}} \cdot A_f$
Tempo de lavagem (min) - t <sub>lav</sub>	15	t <sub>lav</sub> >= 15 min (NBR 12216/02)
Tempo de lavagem (s) - t <sub>lav</sub>	900	
Volume de água de lavagem de um filtro (m³) - V <sub>lav</sub>	123	
Duração da carreira de filtração (h)	38	Adotado como valor médio da Tabela 8 do relatório
<b>Características das descargas de fundo</b>		
Taxa de descarga (m³/m²dia) - Td	864	Td entre 720 e 864 m³/m²dia - segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) - adotado valor máximo
Área em planta de cada filtro (m²)	16,62	
Vazão de descarga (m³/d)	14355,7	
Vazão de descarga (m³/s)	0,166	
Tempo médio de uma descarga de fundo (seg)	60	A DFI duram de 10s a 2 min - Di Bernardo e Sabogal Paz (2008)
Volume de uma descarga (m³)	9,97	
Número de descargas diárias - Nidd	4	Turbidez 100% - Segundo Di Bernardo (2004)
Número de descargas diárias - Nidd	6	Turbidez 95% - Segundo Di Bernardo (2004)
<b>4.2. Características da limpeza dos filtros rápidos descendentes da ETA</b>		
<b>Massa de sólidos por unidade de tempo retidos nos filtros rápidos descendentes</b>		
Massa de sólidos retidos nos filtros por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 100%		
Massa de sólidos retidos nos filtros (Kg/d) - MSSTrf	129	$MSSTrf = Q_{\text{eta}}(SSTad - SSTaf)/86,4$
Massa de sólidos retidos nos filtros por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 95%		
Massa de sólidos retidos nos filtros (Kg/d) - MSSTrf	129	$MSSTrf = Q_{\text{eta}}(SSTad - SSTaf)/86,4$
<b>Características dos filtros rápidos descendentes</b>		
Taxa de filtração (m³/m²dia)	180	Tf entre 120 e 240 m³/m²dia - Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007) - adotado valor médio
Área em planta (m²)	48,0	$A_f = Q_{\text{eta}}/Tf$
Número de filtros	4	Adotado segundo Sabogal Paz (2008)
Área em planta de cada filtro (m²)	12,0	
Diâmetro de cada filtro (m)	3,91	
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/d) - V <sub>lav</sub>	1000	Segundo Sabogal Paz (2007)
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/s) - V <sub>lav</sub>	0,012	
Vazão de lavagem de um filtro (m³/s) - Q <sub>lav</sub>	0,139	$Q_{\text{lav}} = V_{\text{lav}} \cdot A_f$
Tempo de lavagem (min) - t <sub>lav</sub>	10	t <sub>lav</sub> >= 10 min (NBR 12216)
Tempo de lavagem (s) - t <sub>lav</sub>	600	
Volume de água de lavagem de um filtro (m³) - V <sub>lav</sub>	83	
Duração média da carreira de filtração (h)	20	Adotado como valor médio da Tabela 8 do relatório

Horas do dia	Volume Lavagem das Unidades (m³)								Volume de água cada hora	Volume acumulado (m³)
	Com DFI + Lav do FRD									
	FAP	FAP	FAP	FAP	FRD	FRD	FRD	FRD		
1	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0
2	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	19,9
3	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	83,3	0,0	93,3	113,2
4	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	123,2
5	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	133,2
6	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	143,1
7	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	153,1
8	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	163,1
9	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	173,1
10	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	183,0
11	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	83,3	0,0	0,0	93,3	276,3
12	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	286,3
13	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	296,3
14	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	306,2
15	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	316,2
16	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	326,2
17	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	93,3	419,5
18	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	429,4
19	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	439,4
20	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	449,4
21	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	459,4
22	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	469,3
23	0,0	0,0	0,0	10,0	83,3	0,0	0,0	0,0	93,3	562,6
24	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	572,6



5.1.2 Programação considerando descargas de fundo intermediárias e água na interface no FAP, lavagem do FAP E lavagem do filtro rápido descendente - Turbidez para frequência de 95% - Dia 5

Horas do dia	Volume Lavagem das Unidades (m³)								Volume de água cada hora	Volume acumulado (m³)
	Com DFI + lavagem do FAP + lav FRD									
	FAP	FAP	FAP	FAP	FRD	FRD	FRD	FRD		
1	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0
2	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	19,9
3	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	83,3	0,0	93,3	113,2
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	113,2
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	113,2
6	134,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	134,6	247,8
7	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	257,8
8	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	267,8
9	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	277,7
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	277,7
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	0,0	0,0	83,3	361,1
12	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	371,0
13	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	381,0
14	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	391,0
15	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	400,9
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	400,9
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	83,3	484,3
18	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	494,2
19	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	504,2
20	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	514,2
21	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	524,2
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	524,2
23	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	0,0	0,0	0,0	83,3	607,5
24	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	617,5



Volume (m³) - Vte	678	DFI + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	1071	DFI + 4lavagem FAP + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	948	DFI + 3lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	823	DFI + 2lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	687	DFI + 1lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	483	DFI + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	1091	DFI + 4lavagem FAP + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	877	DFI + 3lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	742	DFI + 2lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	617	DFI + 1lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 75uT)

## DF com FAAG

Lodo FAAG		
<b>1. Características da ETA</b>		
Vazão da ETA (m <sup>3</sup> /s) - Qeta		0,02
<b>2. Características da água bruta</b>		
Qualidade da água		Valor
Turbidez (uT)	100% ≤	100
	95% ≤	75
<b>3. Estimativa da concentração de SST na água bruta, água coagulada e água filtrada</b>		
Estimativa da concentração de SST para turbidez de 100 uT na água bruta (Frequência de ocorrência 100%)		
Turbidez na água bruta (uT) - T		100
Valor máximo do coeficiente - a		2,2
Valor mínimo do coeficiente - a		0,7
Valor médio do coeficiente - a		1
Turbidez da água coagulada (uT)		100
Concentração de sólidos suspensos na água coagulada (mg/L) - SSTac		145
Turbidez da água pré-filtrada (uT)		10
Concentração de sólidos suspensos na água pré-filtrada (mg/L) - SSTad		15
Turbidez da água filtrada (uT)		0,5
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada (mg/L) - SSTaf		0,7
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada adotada (mg/L) - SSTaf		0
Estimativa da concentração de SST para turbidez de 80 uT na água bruta (Frequência de ocorrência 95%)		
Turbidez na água bruta (uT) - T		75
Turbidez da água coagulada (uT)		75
Concentração de sólidos suspensos na água coagulada (mg/L) - SSTac		109
Turbidez da água pré-filtrada (uT)		10
Concentração de sólidos suspensos na água pré-filtrada (mg/L) - SSTad		15
Turbidez da água filtrada (uT)		0,5
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada (mg/L) - SSTaf		0,7
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada adotada (mg/L) - SSTaf		0
<b>4. Característica da limpeza das unidades da ETA</b>		
<b>4.1 Características da limpeza dos filtros ascendentes em areia grossa</b>		
Massa de sólidos retidos no filtro ascendente, por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 100%		
Massa de sólidos retidos nos filtros ascendentes em areia grossa (Kg/d) - MSSTrd		226
Massa de sólidos retidos no filtro ascendente, por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 95%		
Massa de sólidos retidos nos filtros ascendentes em areia grossa (Kg/d) - MSSTrd		183
Características das descargas de fundo		
Taxa de descarga (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia) - Td		864
Área em planta de cada filtro (m <sup>2</sup> )		16,62
Vazão de descarga (m <sup>3</sup> /d)		14355,7
Vazão de descarga (m <sup>3</sup> /s)		0,166
Tempo médio de uma descarga de fundo (seg)		90
Volumen de uma descarga (m <sup>3</sup> )		9,97
Número de descargas diárias - Ndd		4
Número de descargas diárias - Ndd		6
<b>4.2 Características da limpeza dos filtros rápidos descendentes da ETA</b>		
Massa de sólidos por unidade de tempo retidos nos filtros rápidos descendentes		
Massa de sólidos retidos nos filtros por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 100%		
Massa de sólidos retidos nos filtros (Kg/d) - MSSTrf		129
Massa de sólidos retidos nos filtros por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 95%		
Massa de sólidos retidos nos filtros (Kg/d) - MSSTrf		129
Características dos filtros rápidos descendentes		
Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)		180
Área em planta (m <sup>2</sup> )		48,0
Número de filtros		4
Área em planta de cada filtro (m <sup>2</sup> )		12,0
Diâmetro de cada filtro (m)		3,91
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/d) - V <sub>av</sub>		1000
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/s) - V <sub>av</sub>		0,012
Vazão de lavagem de um filtro (m <sup>3</sup> /s) - Q <sub>av</sub>		0,139
Tempo de lavagem (min) - t <sub>av</sub>		10
Tempo de lavagem (s) - t <sub>av</sub>		600
Volumen de água de lavagem de um filtro (m <sup>3</sup> ) - V <sub>av</sub>		83
Duração média da cama de filtração (h)		20

Dados de entrada  
 Dados de livros ou ensaios de laboratório  
 Resultados anteriores  
 Cálculos da planilha

ETA = 2 FAAG + 2 FRD

Senha: 123

Adota-se um valor médio do coeficiente "a"

Lodo FAAG

1. Características da ETA

Vazão da ETA (m<sup>3</sup>/s) - Qeta

0,02

2. Características da água bruta

Qualidade da água		Valor
Turbidez (uT)	100% ≤	100
	95% ≤	75

3. Estimativa da concentração de SST na água bruta, água coagulada e água filtrada

Estimativa da concentração de SST para turbidez de 100 uT na água bruta (Frequência de ocorrência 100%)

Turbidez na água bruta (uT) - T		100
Valor máximo do coeficiente - a		2,2
Valor mínimo do coeficiente - a		0,7
Valor médio do coeficiente - a		1
Turbidez da água coagulada (uT)		100
Concentração de sólidos suspensos na água coagulada (mg/L) - SSTac		145
Turbidez da água pré-filtrada (uT)		10
Concentração de sólidos suspensos na água pré-filtrada (mg/L) - SSTad		15
Turbidez da água filtrada (uT)		0,5
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada (mg/L) - SSTaf		0,7
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada adotada (mg/L) - SSTaf		0

Estimativa da concentração de SST para turbidez de 80 uT na água bruta (Frequência de ocorrência 95%)

Turbidez na água bruta (uT) - T		75
Turbidez da água coagulada (uT)		75
Concentração de sólidos suspensos na água coagulada (mg/L) - SSTac		109
Turbidez da água pré-filtrada (uT)		10
Concentração de sólidos suspensos na água pré-filtrada (mg/L) - SSTad		15
Turbidez da água filtrada (uT)		0,5
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada (mg/L) - SSTaf		0,7
Concentração de sólidos suspensos na água filtrada adotada (mg/L) - SSTaf		0

4. Característica da limpeza das unidades da ETA

4.1 Características da limpeza dos filtros ascendentes em areia grossa

Massa de sólidos retidos no filtro ascendente, por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 100%

Massa de sólidos retidos nos filtros ascendentes em areia grossa (Kg/d) - MSSTrd

226

SSTrd = Q<sub>av</sub> (SSTac - SSTad) / 86,4

Massa de sólidos retidos no filtro ascendente, por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 95%

Massa de sólidos retidos nos filtros ascendentes em areia grossa (Kg/d) - MSSTrd

183

SSTrd = Q<sub>av</sub> (SSTac - SSTad) / 86,4

Características das descargas de fundo

Taxa de descarga (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia) - Td		864
Área em planta de cada filtro (m <sup>2</sup> )		16,62
Vazão de descarga (m <sup>3</sup> /d)		14355,7
Vazão de descarga (m <sup>3</sup> /s)		0,166
Tempo médio de uma descarga de fundo (seg)		90
Volumen de uma descarga (m <sup>3</sup> )		9,97
Número de descargas diárias - Ndd		4
Número de descargas diárias - Ndd		6

Td entre 720 e 864 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia - segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) - adotado valor máximo

A DFI duram de 10s a 2 min - Di Bernardo e Sabogal Paz (2008)

Turbidez 100% - Segundo Di Bernardo (2004)

Turbidez 95% - Segundo Di Bernardo (2004)

4.2 Características da limpeza dos filtros rápidos descendentes da ETA

Massa de sólidos por unidade de tempo retidos nos filtros rápidos descendentes

Massa de sólidos retidos nos filtros por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 100%

Massa de sólidos retidos nos filtros (Kg/d) - MSSTrf

129

SSTrf = Q<sub>av</sub> (SSTad - SSTaf) / 86,4

Massa de sólidos retidos nos filtros por unidade de tempo, considerando turbidez com frequência de ocorrência de 95%

Massa de sólidos retidos nos filtros (Kg/d) - MSSTrf

129

SSTrf = Q<sub>av</sub> (SSTad - SSTaf) / 86,4

Características dos filtros rápidos descendentes

Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia)		180
Área em planta (m <sup>2</sup> )		48,0
Número de filtros		4
Área em planta de cada filtro (m <sup>2</sup> )		12,0
Diâmetro de cada filtro (m)		3,91
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/d) - V <sub>av</sub>		1000
Velocidade ascensional ou taxa de lavagem dos filtros (m/s) - V <sub>av</sub>		0,012
Vazão de lavagem de um filtro (m <sup>3</sup> /s) - Q <sub>av</sub>		0,139
Tempo de lavagem (min) - t <sub>av</sub>		10
Tempo de lavagem (s) - t <sub>av</sub>		600
Volumen de água de lavagem de um filtro (m <sup>3</sup> ) - V <sub>av</sub>		83
Duração média da cama de filtração (h)		20

T<sub>f</sub> entre 120 e 240 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia - Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) e Sabogal Paz (2007) - adotado valor médio

A<sub>v</sub> = Qeta/T<sub>f</sub>

Adotado segundo Sabogal Paz (2008)

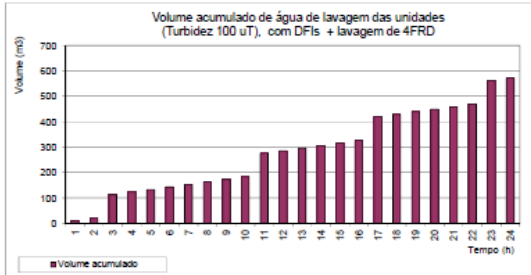
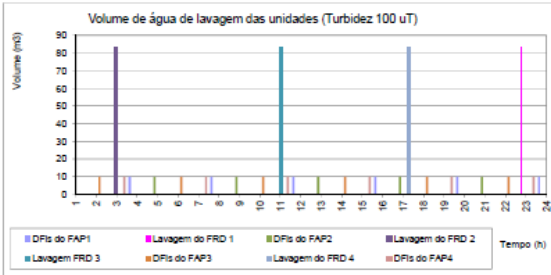
Segundo Sabogal Paz (2007)

Q<sub>av</sub> = V<sub>av</sub> \* A<sub>v</sub>

t<sub>av</sub> = 10 min (NBR 12216)

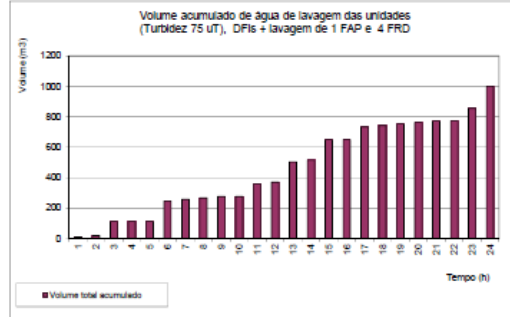
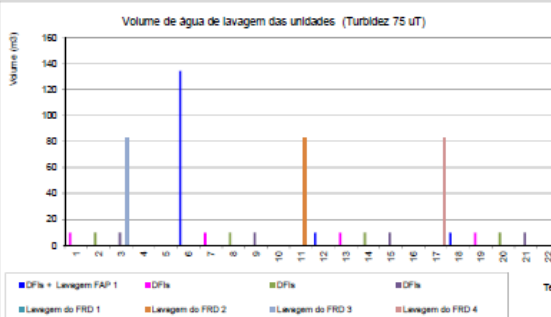
Adotado como valor médio da Tabela 8 do relatório

Horas do dia	Volume Lavagem das Unidades (m³)								Volume de água cada hora (m³)	Volume acumulado (m³)
	Com DFI + Lav do FRD									
	FAP	FAP	FAP	FAP	FRD	FRD	FRD	FRD		
1	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0
2	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	19,9
3	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	83,3	0,0	93,3	113,2
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	123,2
5	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	133,2
6	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	143,1
7	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	153,1
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	163,1
9	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	173,1
10	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	183,0
11	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	83,3	0,0	0,0	93,3	276,3
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	286,3
13	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	296,3
14	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	306,2
15	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	316,2
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	326,2
17	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	83,3	0,0	93,3	419,5
18	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	429,5
19	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	10,0	439,4
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	449,4
21	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	459,4
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	469,3
23	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	83,3	0,0	0,0	93,3	562,6
24	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	572,6



5.1.2 Programação considerando descargas de fundo intermediárias e água na interface no FAP, lavagem do FAP e lavagem do filtro rápido descendente - Turbidez para frequência de 95% - Dia 5

Horas do dia	Volume Lavagem das Unidades (m³)								Volume de água cada hora (m³)	Volume acumulado (m³)
	Com DFI + lavagem do FAP + lav FRD									
	FAP	FAP	FAP	FAP	FRD	FRD	FRD	FRD		
1	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0
2	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	19,9
3	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	83,3	0,0	93,3	113,2
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	113,2
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	113,2
6	134,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	134,6	247,8
7	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	257,8
8	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	267,8
9	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	277,7
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	277,7
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	0,0	0,0	83,3	361,1
12	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	371,0
13	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	381,0
14	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	391,0
15	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	400,9
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	400,9
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	83,3	166,6	484,3
18	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	494,2
19	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	504,2
20	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	514,2
21	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	524,2
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	524,2
23	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	83,3	0,0	0,0	93,3	607,5
24	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	617,5



Volume (m³) - Vte	572	DFI + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	1071	DFI + 4lavagem FAP + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	848	DFI + 3lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	822	DFI + 2lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	887	DFI + 1lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 100uT)
Volume (m³) - Vte	483	DFI + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	1001	DFI + 4lavagem FAP + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	877	DFI + 3lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	742	DFI + 2lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 75uT)
Volume (m³) - Vte	617	DFI + 1lavagem FAP1 + lavagem FRDs (T = 75uT)