



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**ANA CHRISTINA HORNER SILVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA DE DUPLA FILTRAÇÃO COM O USO DE  
POLÍMEROS**

**PALMAS – TO**  
**2014**

**ANA CHRISTINA HORNER SILVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE DUPLA FILTRAÇÃO COM O USO DE  
POLÍMEROS**

**ORIENTADOR: DR. RAFAEL MONTANHINI SOARES DE OLIVEIRA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do Tocantins  
como parte dos requisitos para  
obtenção do Título de Mestre em  
Engenharia Ambiental, área de  
Saneamento Ambiental.

**PALMAS – TO  
2014**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

S587c Silveira, Ana Christina Horner.

Caracterização dos resíduos gerados em estação de tratamento de água de dupla filtração com o uso de polímeros. / Ana Christina Horner Silveira. – Palmas, TO, 2014.

100 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2014.

Orientador: Rafael Montanhini S. Oliveira

1. Dupla filtração. 2. Resíduo de ETA. 3. Lodo de ETA. 4. Polímeros. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

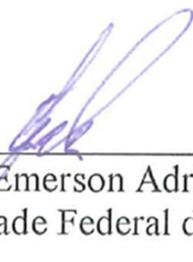
**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

BANCA EXAMINADORA



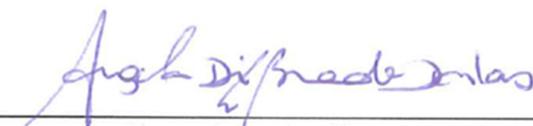
---

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira  
Universidade Federal do Tocantins (Presidente)



---

Prof. Dr. Emerson Adriano Guarda  
Universidade Federal do Tocantins



---

Profa. Dra. Angela di Bernardo Dantas  
Universidade de Ribeirão Preto

Aprovada em: 11 de abril de 2014

Local de defesa: Sala 30 - Bloco II

Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Palmas.

Ao Arthur, à Eduarda e à Helena,  
para que percebam que o estudo é sempre contínuo e devemos avançar  
sempre mais e ao meu Pai, que sempre me incentivou a avançar mais.

## AGRADECIMENTOS

Não há uma ordem nem sequência, simplesmente uma sucessão de “muito obrigada”, pois todos contribuíram para que este fosse possível.

À Deus, por me disponibilizar oportunidades de crescimento, por me amparar e não me deixar desistir.

Ao meu marido Giovani, por estar ao meu lado, por respeitar minhas escolhas e ajudar em conquistá-las tornando-as nossas.

Ao meu Pai Ladislau e à minha Mãe Neldi, pelo amor incondicional, por estarem presentes em todas as fases da minha vida e por me guiarem sempre pelo caminho do estudo e do trabalho.

À minha irmã, meus irmãos, cunhadas, sobrinhos e amigos, por me apoiarem ao longo da estrada e torcerem juntos comigo.

Ao meu avô Amadeu (*in memorian*) e à minha avó Nadir (*in memorian*), grandes responsáveis por minha formação, me incentivando sempre ao estudo e zelando sempre por mim.

Ao meu orientador, Prof. Rafael Montanhini, pelo seu apoio e sua credibilidade.

À Angela Dantas, muito além de uma co-orientadora, uma amiga! Sempre disponível, sempre pronta a ajudar, do início ao fim, com toda a educação e carinho que lhe é peculiar.

Ao Prof. Di Bernardo, pois foi através dos seus livros, cursos e conversas, que eram verdadeiras aulas, que ele me encorajou a estudar e pesquisar.

Ao Paulo Voltan pela visita técnica e desilusões que passamos na primeira fase do projeto.

Ao Sérgio, grande amigo, que dedicou seu tempo de maneira integral a estar junto, ensinando e participando de todas as fases do projeto, minha eterna gratidão.

Ao Giulliano, pelos primeiros ensaios, pelas contribuições e por suas orações e palavras de força, me fazendo sempre acreditar que era possível.

À Jordanna, pelas coletas e cansativos dias de ensaios no laboratório, pelas compras, por sua entrega, por sua amizade, por seu apoio.

Ao Ricardo, Igor e Murilo pelos dias de coleta e ensaios de laboratório, pela disponibilidade, amizade e essencial ajuda.

Ao Sr. Nelson Matos, grande incentivador, paciente professor, foi exatamente nesta ETA, em Porto Nacional, que iniciei minha jornada no “mundo das ETAs” onde ele, pacientemente respondia meus questionamentos, muitas vezes próprios de uma principiante sem o menor senso de crítica em suas perguntas.

Ao Allyson, pelos primeiros levantamentos.

Ao Eduardo, Queila, Edvaldo, Franklin e especialmente ao Inácio e ao Coimbra pela ajuda na ETA de Porto Nacional.

Ao Edwilson, por conseguir todos os cones Imhoff que precisávamos.

À Ivecy, pelo apoio e disponibilização do uso do laboratório.

Ao José Roberto, Daniel e Rodrigo, por abarrotar suas geladeiras e pela valiosa ajuda nas análises.

À Francielly, por mais geladeiras....

À Aparecida Andrade, nossa Diretora, que me apoiou desde o início e permitiu este trabalho.

Ao Jeverson, que acredita e incentiva as pessoas ao seu redor à crescerem e se desenvolverem.

À nossa equipe, meus amigos, Alberto, César, Denis, Fernando, Igor, Jordanna, Rafael, Ricardo, Sebastião e Wesley, pelos dias de ausência e por se desdobrarem em ajudar de alguma forma.

Aos meus colegas de curso, novos amigos, pelo tempo que passamos juntos e muitos estudos, ao Cristiano, aos Professores do Mestrado e, em especial à Rachel, presente desde o início, solícita e amiga e à Jacqueline, que tem sempre uma palavra carinhosa e de conforto.

À empresa Floerger em nome do Alfredo e à empresa Produquímica, em nome da Maria Lúcia, que gentilmente cederam seus produtos.

À Leidiane, por facilitar e agilizar o que era necessário, locomoção, compras, etc.

Aos meus amigos e colegas da Odebrecht Ambiental | Saneatins que me incentivaram o tempo todo.

Ao Cláudio, direto do Canadá, por salvar nosso inglês e à Adriana, pelas participações.

**MUITO OBRIGADA!!!!**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xiv
<b>RESUMO</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
3.1 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA E RESÍDUOS GERADOS.....	5
3.1.1. TRATAMENTO DE ÁGUA POR CICLO COMPLETO .....	6
3.1.2. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE .....	7
3.1.3. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE.....	7
3.1.4. TRATAMENTO DE ÁGUA POR DUPLA FILTRAÇÃO .....	8
3.2 TIPOS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETAS.....	10
3.2.1 TANQUE DE RECEPÇÃO E REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO.....	12
3.2.2 ADENSAMENTO .....	12
3.2.3 DESAGUAMENTO.....	13
3.2.3.1 DESAGUAMENTO MECÂNICO POR CENTRÍFUGA .....	13
3.2.3.2 DESAGUAMENTO MECÂNICO POR PRENSA .....	14
3.2.3.3 DESAGUAMENTO NÃO MECÂNICO .....	15
3.2.4 SECAGEM E INCINERAÇÃO .....	16
3.3 LEGISLAÇÃO E ASPECTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE ETAS .....	17
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	18
4.1 DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DA ETA DE PORTO NACIONAL.....	19
4.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS .....	24
4.2.1 COLETA DOS RESÍDUOS DA ETA NOVA.....	26
4.2.2 COLETA DOS RESÍDUOS DA ETA ANTIGA.....	29
4.3 ENSAIOS DE BANCADA COM POLÍMERO.....	32
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	36

5.1 RESULTADOS DOS DADOS DE pH E DOSAGEM DA ETA .....	36
5.2 RESULTADOS DAS CARREIRAS DE FILTRAÇÃO .....	37
5.2 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA.....	46
5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE BANCADA COM POLÍMEROS .....	50
5.3.1 RESULTADOS DA ETA NOVA .....	50
5.3.2 RESULTADOS DA ETA ANTIGA .....	57
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>64</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	64
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	65
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano (Di Bernardo, 2005).....	5
Figura 3.2: Esquema de uma unidade de Dupla Filtração (Di Bernardo, 2003). ....	10
Figura 4.1: Localização da ETA de Porto Nacional. Fonte: Google Earth (2014).....	18
Figura 4.2: Layout da ETA de Porto Nacional. ....	20
Figura 4.3: Vertedor após o canal Parshall na ETA de Porto Nacional. ....	20
Figura 4.4: Foto da parte antiga da ETA de Porto Nacional. ....	21
Figura 4.5: Foto do módulo 02, na parte antiga da ETA de Porto Nacional. ....	21
Figura 4.6: Foto da parte nova da ETA de Porto Nacional. ....	22
Figura 4.7: Foto dos módulos da parte nova da ETA de Porto Nacional. ....	22
Figura 4.8: Foto dos módulos da parte nova da ETA de Porto Nacional. ....	23
Figura 4.9: Foto do módulo 3 da parte nova da ETA de Porto Nacional. ....	23
Figura 4.10: Fotos das Lagoas de Lodo da ETA de Porto Nacional. ....	24
Figura 4.11: Descrição dos pontos de coleta dos resíduos na ETA Nova. ....	25
Figura 4.12: Descrição dos pontos de coleta dos resíduos na ETA Antiga. ....	25
Figura 4.13: Fotos do filtro de pedregulho da ETA Nova no momento da coleta. ....	28
Figura 4.14: Fotos dos recipientes onde foram acondicionadas as amostras de cada resíduo. ....	29
Figura 4.15: Fotos da mistura da água composta da ETA Nova. ....	29
Figura 4.16: Fotos das amostras compostas de cada resíduo da ETA Nova (Descarga do FAP, Lavagem do FAP, Lavagem do FRD e Mistura do FAP/FRD).....	29
Figura 4.17: Fotos da coleta no módulo da ETA Antiga. ....	31
Figura 4.18: Fotos da mistura da água final dos resíduos da ETA Antiga. ....	31
Figura 4.19: Equipamento jarteste e cone Imhoff, usado nos ensaios. ....	32
Figura 4.20: Sequência de realização dos ensaios de jarteste. ....	34
Figura 5.1: Valores de pH da água bruta, água coagulada e dosagem do PAC. ....	36
Figura 5.2: Valores de turbidez no módulo 1 de Dupla Filtração. ....	38
Figura 5.3: Valores de perda de carga no módulo 1 de Dupla Filtração. ....	38
Figura 5.4: Valores de turbidez no módulo 2 de Dupla Filtração. ....	38
Figura 5.5: Valores de perda de carga no módulo 2 de Dupla Filtração. ....	39
Figura 5.6: Valores de turbidez no módulo 3 de Dupla Filtração. ....	40
Figura 5.7: Valores de perda de carga no módulo 3 de Dupla Filtração. ....	40
Figura 5.8: Valores de turbidez no módulo 4 de Dupla Filtração. ....	41

Figura 5.9: Valores de perda de carga no módulo 4 de Dupla Filtração .....	41
Figura 5.10: Resumo dos valores de turbidez nos 4 módulos de Dupla Filtração da ETA Nova	42
Figura 5.11: Reinício de operação do FAP 002 após parada para lavagem do FRD 002 .....	43
Figura 5.12: Desprendimento de flocos do FAP 004 após o reinício de operação após lavagem do FRD 004.....	43
Figura 5.13: Carreamento dos flocos desprendidos no FAP ao FRD 004.....	45
Figura 5.14: Aspecto da camada de lodo formada no topo do meio filtrante do FRD 004.....	45
Figura 5.15: Medida da espessura da camada de impurezas acima do topo do material filtrante do FRD 004 após a lavagem.....	46
Figura 5.16: Volume de resíduo gerado por um módulo de Dupla Filtração da ETA Nova, durante a carreira completa do Filtro de Pedregulho.....	47
Figura 5.17: Volume de resíduo gerado por um módulo de Dupla Filtração da ETA Antiga, durante a carreira completa do Filtro de Areia.....	48
Figura 5.18: Valores de turbidez durante a execução da descarga de fundo e lavagem do FAP e lavagem do FRD na ETA Nova. ....	49
Figura 5.19: Valores de turbidez durante a execução das lavagem do FAA e FRD na ETA Antiga. ....	49
Figura 5.20: Teor de sólidos no lodo adensado após os ensaios de clarificação na ETA Nova. ....	52
Figura 5.21: Turbidez do sobrenadante (água clarificada) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Nova. ....	54
Figura 5.22: Sólidos Sedimentáveis no cone (volume de lodo) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Nova. ....	55
Figura 5.23: Volume de lodo e turbidez do clarificado em função do tempo de clarificação/adensamento - Ensaio de clarificação e adensamento com e sem aplicação de polímero sintético dos Resíduos gerados na ETA Nova. ....	56
Figura 5.24: Teor de sólidos no lodo adensado após os ensaios de clarificação.....	59
Figura 5.25: Turbidez do sobrenadante (água clarificada) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Antiga. ....	60
Figura 5.26: Sólidos Sedimentáveis no cone (volume de lodo) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Antiga. ....	61
Figura 5.27: Volume de lodo e turbidez do clarificado em função do tempo de clarificação/adensamento - Ensaio de clarificação e adensamento com e sem aplicação de polímero sintético dos Resíduos gerados na ETA Antiga. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Dados dos polímeros utilizados nos ensaios de clarificação. ....	32
Tabela 4.2: Ensaios realizados em equipamento jarteste. ....	33
Tabela 5.1: Resumo das carreiras de filtração da ETA Nova. ....	37
Tabela 5.2: Resultados da caracterização dos resíduos de cada unidade da ETA Nova. ....	46
Tabela 5.3: Resultados da caracterização dos resíduos de cada unidade da ETA Antiga. ....	47
Tabela 5.4: Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa A. ....	50
Tabela 5.5: Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa B. ....	50
Tabela 5.6: Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa A. ....	51
Tabela 5.7: Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa B. ....	51
Tabela 5.8: Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa A. ....	51
Tabela 5.9: Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa B. ....	52
Tabela 5.10: Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa A. ....	57
Tabela 5.11: Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa B. ....	57
Tabela 5.12: Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa A. ....	58
Tabela 5.13: Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa B. ....	58
Tabela 5.14: Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa A. ....	58
Tabela 5.15: Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa B. ....	59
Tabela A1: Dados dos ensaios de bancada com polímero não-iônico A. ....	72
Tabela A2: Dados dos ensaios de bancada com polímero não-iônico B. ....	72
Tabela A3: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A. ....	73
Tabela A4: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B. ....	73
Tabela A5: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A. ....	74
Tabela A6: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B. ....	74
Tabela A7: Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico A. ....	75
Tabela A8: Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico B. ....	75
Tabela A9: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A. ....	76
Tabela A10: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B. ....	76
Tabela A11: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A. ....	77
Tabela A12: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B. ....	77
Tabela B1: Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico A. ....	79
Tabela B2: Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico B. ....	79

Tabela B3: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A .....	80
Tabela B4: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B .....	80
Tabela B5: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A .....	81
Tabela B6: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B .....	81
Tabela B7: Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico A .....	82
Tabela B8: Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico B .....	82
Tabela B9: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A .....	83
Tabela B10: Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B .....	83
Tabela B11: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A .....	84
Tabela B12: Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B .....	84

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CC	- Câmara de Carga
DF	- Dupla Filtração
DFI	- Descarga de Fundo Intermediária
D <sub>PAC</sub>	- Dosagem de Cloreto de Polialumínio Comercial
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
ETA	- Estação de Tratamento de Água
FA	- Filtro Ascendente
FAA	- Filtro Ascendente de Areia
FAAG	- Filtro Ascendente de Areia Grossa
FAP	- Filtro Ascendente de Pedregulho
FDA	- Filtração Direta Ascendente
FDD	- Filtração Direta Descendente
FDDF	- Filtração Direta Descendente com em Linha com Pré -Floculação
FDDL	- Filtração Direta Descendente em Linha
FRD	- Filtro Rápido Descendente
hd	- Perda de Carga nas tubulações
Ho	- Perda de Carga total no início de funcionamento
Hf	- Perda de Carga total final
hmgo	- Perda de Carga no meio granular limpo
hmgf	- Perda de Carga no meio granular máxima
PAC	- Cloreto de Polialumínio
pH	- Potencial Hidrogeniônico
SST	- Sólidos Suspensos Totais

## RESUMO

SILVEIRA, A. C. H. (2014). *Caracterização dos resíduos gerados em estação de tratamento de água de dupla filtração com o uso de polímeros*. Dissertação (Mestrado) Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins.

Os resíduos gerados nas estações de tratamento de água requerem atenção especial, pois possuem grande potencial de poluição e contaminação se forem lançados no meio ambiente sem o devido tratamento. A decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento e disposição destes resíduos depende fundamentalmente de um balanceamento entre critérios técnicos e econômicos, com a apreciação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa. O presente trabalho teve como objetivo principal investigar alternativas para melhorar o desaguamento dos resíduos gerados em uma estação de tratamento de água de dupla filtração (ETA de Porto Nacional - TO), com foco principal na clarificação dos resíduos por meio da aplicação de polímeros sintéticos. Primeiramente foram caracterizados os resíduos gerados na ETA, sendo em seguida feitos ensaios de bancada simulando condições de mistura e clarificação/adensamento em equipamento de jarreste e cone Imhoff. Foram estudados polímeros catiônico, aniônico e não iônico provenientes de dois fornecedores. Os resultados mostraram que o uso de polímeros na clarificação da água de lavagem dos filtros foi eficiente, pois além de resultar em menor valor de turbidez do sobrenadante, proporcionou melhoria significativa no desaguamento do lodo gerado. O polímero que mostrou melhor eficiência na clarificação e no adensamento dos resíduos da ETA foi o catiônico.

**Palavras-chave:** Dupla Filtração, Resíduos ETA, Lodo de ETA, Polímeros.

## ABSTRACT

SILVEIRA, A. C. H. (2014). *Characterization of the residue of double filtration water treatment plant using polymers*. p. Dissertation, Master of Science in Environment Engineering, Federal University of Tocantins.

**Keywords:** Double Filtration, Residue Water treatment plant, Water treatment plant Sludge, Polymers.

Water treatment plant residues requires special attention due its high potential os pollution and contamination if disposed in the natural environmental. The technology to treat the residues depends on technical and economic criteria, giving special attention on the quantitative and qualitative aspects of each alternative. This work focused on the treatment of residues produced in Double Filtration Water Treatment (Porto Nacional/TO, Brazil Plant), in order to study different types of synthetic polymers (cationic, anionic and nonionic) to both clarify in a jarrest device and thick the sediment in Imhoff Cone. The results show that the cationic polymer was the most efficient in terms of the supernatant turbidity and the degree of thickening.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o grande problema em estações de tratamento de água se deve à escolha da tecnologia de tratamento inadequada em relação às características do manancial de água explorado. A causa dessa inadequabilidade é devido à falta de um prévio monitoramento da qualidade da água e ao estudo de tratabilidade do manancial, antes da elaboração do projeto, ou pela falta de proteção do manancial, possibilitando assim ações que modifiquem suas características (MONDARDO *et al.*, 2006).

Dentre as principais tecnologias de tratamento que utilizam a coagulação química, tem-se a filtração direta ascendente, que, apesar de requerer menor área para implantação da estação, com custo de implantação e operação significativamente menor quando comparado ao de uma instalação na qual são usadas coagulação, floculação, decantação/flotação e filtração, apresenta limitações relativas à qualidade microbiológica da água bruta, sendo neste caso recomendado o tratamento complementar com filtro de escoamento descendente, compondo assim o sistema de dupla filtração. Além de permitir tratamento de água com turbidez elevada, a dupla filtração possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas, oferece maior segurança com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, apresenta maior remoção global de microrganismos, além de dispensar o descarte de água pré-filtrada no início da carreira de filtração (KURODA, 2006).

Di Bernardo *et al.* (2003) destacaram o uso da dupla filtração como uma das mais promissoras tecnologias para tratamento de água, estimando-se que grande parte das necessidades de tratamento poderiam ser satisfeitas com o uso desta tecnologia. A dupla filtração é a tecnologia de tratamento de água que emprega a filtração direta ascendente como pré tratamento da filtração descendente.

A água coagulada passa inicialmente pelo filtro ascendente de pedregulho (FAP), composto por várias subcamadas de pedregulho, com tamanho variável entre 2,4 e 25,4 mm e disposição granulométrica decrescente no sentido do escoamento, totalizando espessura mínima de camada igual a 1,2 m. Em seguida a água pré-filtrada é encaminhada para o filtro rápido de areia (FRD), onde escoar no sentido descendente, através de meio filtrante de areia, normalmente constituído de camada única de areia com grãos de 0,42 a 1,41 mm e espessura de 0,6 a 0,8 m.

Na última década, vários estudos foram realizados sobre a dupla filtração com filtro ascendente em pedregulho sob diferentes condições de qualidade de água bruta, como turbidez elevada, presença de substâncias húmicas e altas concentrações de algas e cianobactérias.

Dentre os trabalhos mais relevantes citamos os realizados por Megda (1999), Kuroda (2002), De Paula (2003), Dantas (2004), Wiecheteck (2004), Sales (2005), Kuroda (2006), Braga (2007), Silva (2009) e Queiroz (2010).

Os resíduos gerados nas ETA's são provenientes das limpezas ou descargas dos decantadores (ou eventualmente em flotadores) e da lavagem dos filtros. Em uma estação de ciclo completo, a lavagem dos filtros produz a maior quantidade desses resíduos em termos volumétricos, já o decantador produz a maior quantidade em termos mássicos. Nas ETAs de Dupla Filtração o lodo é oriundo da água de lavagem dos filtros e das descargas de fundo dos filtros ascendentes.

Como parte do tratamento, os resíduos gerados em uma ETA devem merecer atenção especial. Von Sperling (2005) coloca que a decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento e disposição do lodo de ETA deve ser derivada fundamentalmente de um balanceamento entre critérios técnicos e econômicos, com a apreciação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa. Não há fórmula generalizada para tal, e o bom senso ao se atribuir à importância relativa de cada aspecto técnico é essencial.

A quantidade de lodo produzida em determinada ETA dependerá de fatores como: partículas presentes na água bruta, que conferem turbidez e cor à mesma; concentração de produtos químicos aplicados ao tratamento; tempo de permanência do lodo nos tanques; forma de limpeza dos mesmos; eficiência da sedimentação; entre outros.

Segundo Cordeiro (1999), a disposição final do lodo das estações de tratamento de água depende da viabilidade técnica, econômica e ambiental, podendo ainda constituir-se em oportunidade de aumento de receita e principalmente, redução de custos e de impactos ambientais.

Dentro do contexto citado acima, a cidade de Porto Nacional-TO, possui uma ETA, cuja operação teve início no ano de 1997, sendo composta originalmente por 06 unidades de dupla filtração (filtro ascendente de areia e filtro descendente de areia). Devido à mudanças na qualidade da água bruta e ao aumento de demanda, no ano de 2008 a Companhia de Saneamento realizou vários estudos de tratabilidade na água bruta e concluiu que a dupla filtração era a tecnologia mais adequada para a ampliação da ETA. Nessa época foram implantadas 4 novas unidades de dupla filtração (filtro ascendente de pedregulho e filtro descendente de areia).

O tratamento dos resíduos gerados na ETA Porto Nacional atualmente é realizado por meio de duas lagoas de lodo, projetadas para operar em paralelo, mas que atualmente trabalham por revezamento. Nesse sistema, os resíduos líquidos gerados nas lavagens dos filtros são encaminhados diretamente para as lagoas, sem a adição de polímeros.

Após a instalação destas novas unidades de dupla filtração, a ETA obteve uma melhora operacional considerável, tanto na qualidade da água produzida como no prolongamento das carreiras de filtração e conseqüente aumento na produção de água tratada. Entretanto, o lodo gerado na ETA e armazenado nas lagoas vem apresentando um baixo teor de sólidos e dificuldade de evaporação e sedimentação.

Assim, neste trabalho serão investigadas alternativas para melhorar o desaguamento dos resíduos gerados na ETA de Porto Nacional, com foco principal na clarificação e adensamento dos resíduos por meio da aplicação de polímeros sintéticos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral do presente trabalho é caracterizar e avaliar a clarificação e adensamento dos resíduos gerados na ETA de Dupla Filtração de Porto Nacional com o uso de polímeros sintéticos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Levantamento de dados sobre as carreiras de dupla filtração da ETA de Porto Nacional;
- Caracterização dos resíduos gerados nos filtros ascendente e descendente;
- Ensaios de bancada para avaliação de diferentes tipos e dosagens de polímeros na clarificação e adensamento dos resíduos gerados na ETA de Porto Nacional.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

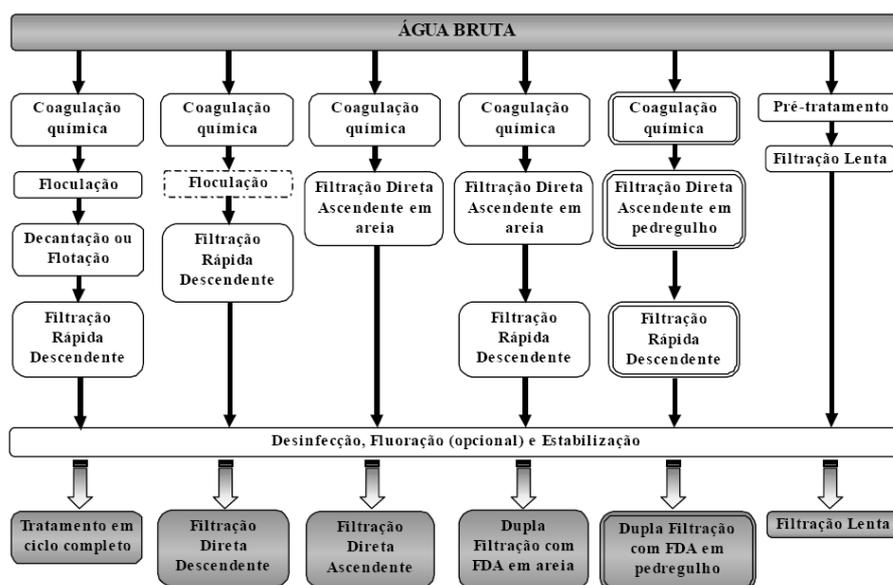
#### 3.1 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA E RESÍDUOS GERADOS

Segundo a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde, água para consumo humano é a água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.

A diversidade das formas onde encontramos a água disponível para o consumo humano nos leva à percepção de que, se um manancial difere de outro, a água contida nele também deve ser tratada de maneira distinta. Partindo dessa premissa é que a caracterização da água bruta deve ser a primeira etapa em um projeto para tratamento de água, seguida por diversos parâmetros de custos de operação e manutenção, conforme relatadas em Di Bernardo *et al.* (2012).

Achon (2008) cita que o tratamento mais comum, no Brasil, é o ciclo completo ou convencional. Mas existem também vários processos tecnológicos empregados no País, tais como: filtração direta ascendente, filtração direta descendente e filtração lenta (sem coagulação química, pouco difundida no País).

As tecnologias de tratamento de água podem ser resumidas em dois grandes grupos, sem coagulação química e com coagulação química. O diagrama de blocos da Figura 3.1 apresenta as principais alternativas de tratamento partindo sempre da caracterização da água bruta.



**Figura 3.1:** Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano (Di Bernardo, 2005).

Costa (2011) coloca que não importa a tecnologia a ser utilizada para tratar a água bruta nem a finalidade para a qual a água bruta está sendo tratada, todas as tecnologias existentes têm como produto final a água tratada e os resíduos, conhecidos como lodo de ETA.

A quantidade e as características dos lodos gerados em ETA variam em função da tecnologia de tratamento, qualidade da água bruta, tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados nos processos de coagulação / floculação da água (SARON e LEITE, 2001).

### **3.1.1. Tratamento de Água por Ciclo Completo**

O tratamento por ciclo completo consiste no processo onde a água bruta é coagulada geralmente com um sal de alumínio ou de ferro no mecanismo da varredura, no qual ocorre formação predominantemente de precipitados do metal do coagulante, nos quais são aprisionadas as impurezas. Esse fenômeno ocorre na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica ou mecanizada, dependendo da vazão a ser tratada, da variação da qualidade da água bruta e, principalmente, das condições disponíveis para operação e manutenção (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Após esse processo, segue-se a floculação, onde as partículas, que mantinham-se em estado de equilíbrio eletrostático instável, são forçadas a se movimentar, se aglutinando e formando flocos, para serem sedimentadas no decantador ou separadas por meio de flotação nos flotores (CETESB, 1979).

Por fim, a água é filtrada em unidades de escoamento descendente, contendo materiais granulares com granulometria apropriada, geralmente areia ou antracito e areia (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Cordeiro (1999) cita o tratamento de água por ciclo completo como o método de tratamento de água mais usado no Brasil.

Os resíduos gerados numa ETA de Ciclo Completo provêm das descargas e limpeza dos decantadores (manual ou mecanizadas) e da lavagem dos filtros. Di Bernardo *et al.* (2012) cita que a concentração de SST na água de lavagem dos filtros raramente excede 500 mg/L e a do lodo nos decantadores pode variar de 2 a 10 g/L nas descargas hidráulicas e de 5 a 20 g/L nas descargas de remoção mecanizada.

Em ETAs com flotação, quando operado em condições ideais de funcionamento, o teor de SST no material flotado chega a alcançar cerca de 50 g/L durante o tempo que esse material é retirado (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

### **3.1.2. Tratamento de Água por Filtração Direta Descendente**

Di Bernardo (2003) define a filtração direta descendente (FDD) como uma tecnologia de tratamento de água que prescinde da sedimentação ou flotação e pode ser realizada basicamente de duas formas:

Filtração Direta Descendente sem pré-floculação (ou em linha) (FDDL): quando é composto por unidade de mistura rápida e filtro.

Filtração Direta Descendente com pré-floculação (FDDF): quando é composto por unidade de mistura rápida, floculação e filtro.

O uso ou não da floculação vai depender da qualidade da água bruta, do tamanho das partículas, das características do meio filtrante e da taxa de filtração (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Os resíduos em ambos os casos são provenientes da água de lavagem dos filtros.

Essa tecnologia surgiu da dificuldade do tratamento de águas com turbidez e cor verdadeira relativamente baixas em ETAs de ciclo completo, já que, com a água nessas características é necessário aumentar a dosagem do coagulante para a formação de flocos que consigam sedimentar nos decantadores (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008).

Di Bernardo e Dantas (2005) sugerem que algumas ETAs de Ciclo Completo podem ser projetadas ou ajustadas para que, em épocas de estiagem, se possa tratar a água bruta por meio de filtração direta, eliminando-se parcial ou totalmente a unidade de floculação, conduzindo a água aos filtros.

### **3.1.3. Tratamento de Água por Filtração Direta Ascendente**

A filtração direta ascendente (FDA) consiste de um filtro com uma câmara com fundo falso, onde acima deste é colocada a camada suporte e, em seguida, a camada filtrante de um único material (normalmente areia) (DI BERNARDO, 2003).

Como vantagens da filtração direta, estão i) a redução das dimensões da ETA pela eliminação das unidades de floculação e de decantação; ii) a diminuição da quantidade de

coagulante utilizado, não sendo necessário formar flocos grandes e densos; iii) a filtração no sentido do grão maior para o menor, em camada única de areia, utilizando a espessura total para a retenção de impurezas, ao contrário do que acontece nos filtros convencionais de escoamento descendente e iv) a redução na perda de carga durante a filtração devido à remoção substancial de impurezas na porção do meio filtrante de maior granulometria (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

Diversos trabalhos relatados em Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) apontam como melhoria da eficiência de uma ETA de Filtração Direta Ascendente, o uso de descargas de fundo durante a carreira de filtração e descargas de fundo antes da lavagem, prolongando a duração da carreira do filtro.

As descargas de fundo possibilitam a liberação de impurezas retidas principalmente na camada suporte, por isso os resíduos gerados nessas ETAs são constituídos pelas descargas de fundo (intermediárias e final) e pela água de lavagem da unidade de filtração (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

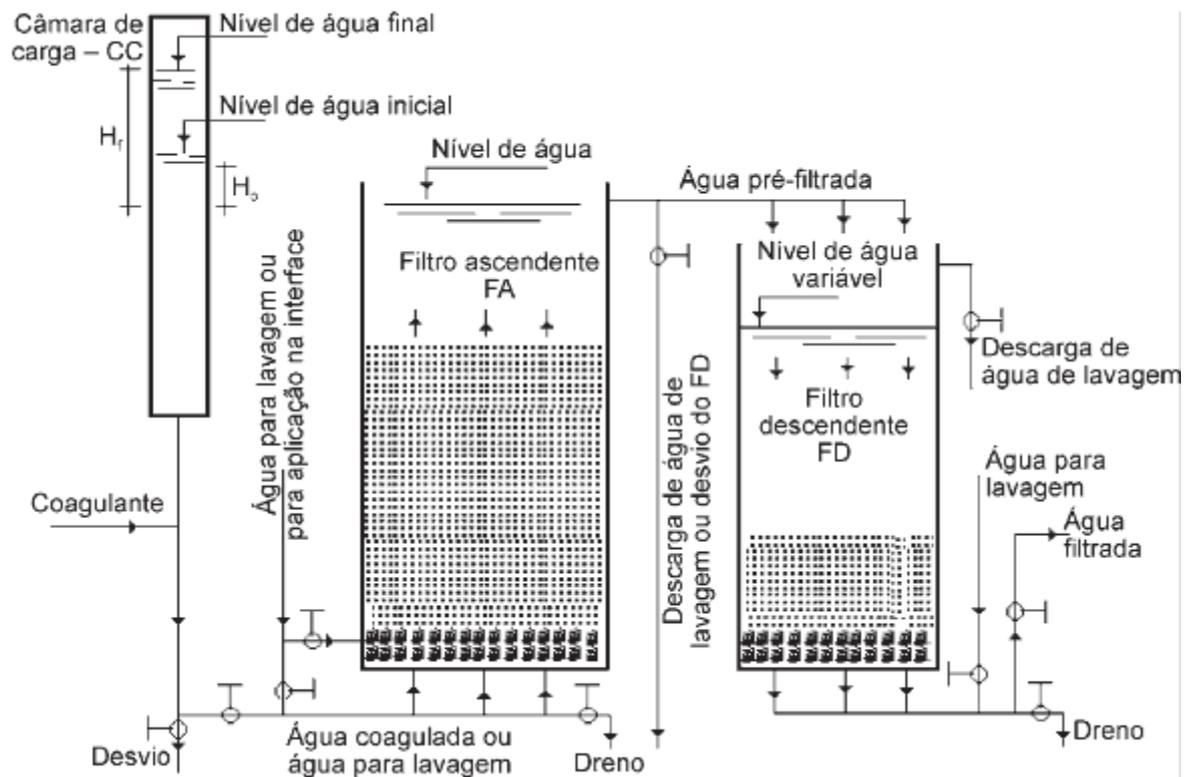
### **3.1.4. Tratamento de Água por Dupla Filtração**

A dupla filtração (DF) surgiu das pesquisas realizadas com o intuito de reduzir as limitações das tecnologias de FDA e FDD no tratamento de águas com contaminação relativamente elevada, podendo competir com a tecnologia de ciclo completo quando a água apresenta uma turbidez maior que a tecnologia por filtração direta não consegue tratar. (DI BERNARDO E SABOGAL PAZ, 2008).

Segundo Di Bernardo *et al.* (2002), a dupla filtração é caracterizada pelo uso da filtração direta ascendente como pré-tratamento para filtração descendente. A água coagulada passa inicialmente pelo filtro ascendente, com material granular tendo granulometria apropriada para que seja produzida água filtrada com turbidez consistentemente inferior a 5 uT. Di Bernardo *et al.* (2002) relata ainda que as principais vantagens da dupla filtração em relação à filtração direta ascendente são: a) permite o tratamento de água com qualidade pior; b) possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas; c) oferece maior segurança do ponto de vista operacional com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta; d) é maior a remoção global de microrganismos, aumentando a segurança com relação à desinfecção final; e) não há necessidade de descartar água filtrada no filtro ascendente no início da carreira de filtração, pois esta água será filtrada no filtro descendente.

Dependendo do arranjo de alimentação das unidades filtrantes, tanto a filtração ascendente como a descendente podem funcionar com taxa constante ou com taxa declinante. A instalação pode possuir um conjunto de filtros ascendentes, seguido de outro conjunto de filtros descendentes ou ter diversas unidades de dupla filtração, cada uma delas constituída de um filtro ascendente e de um descendente (DI BERNARDO *et. al.* 2003).

Na Figura 3.2 é mostrado um esquema de uma instalação de dupla filtração (DF), constituída de um filtro ascendente e de um descendente, operados com taxa constante. A água bruta chega em uma câmara de carga (CC), na qual o nível de água irá variar em função da perda de carga devido à retenção de impurezas no meio granular do filtro ascendente (FA). A perda de carga total no início de funcionamento  $H_0$ , é igual à perda de carga no meio granular limpo (hmg), somada à perda de carga nas tubulações e peças na tubulação de alimentação do FA e no sistema de drenagem (hd) dessa unidade, e resulta igual à diferença entre os níveis de água na CC e interior do FA. O valor da perda de carga final no meio granular máxima (hmgf), ocasião em que o FA é retirado de operação para lavagem, depende do tipo de meio granular adotado. Nessas condições, a perda de carga total será  $H_f = \text{hmgf} + \text{hd}$ . No caso de meio filtrante constituído de pedregulho (camada suporte) e areia grossa, tem-se o filtro denominado FAAG e hmgf pode ser fixada entre 1,5 a 2,0 m, e quando se tem somente pedregulho, tem-se o filtro denominado FAP e hmgf raramente excede 1,0 m. Se a vazão de alimentação do FA for mantida constante (taxa de filtração constante), o valor de hd permanece fixo, variando somente hmg em função do tempo de funcionamento.



**Figura 3.2:** Esquema de uma unidade de Dupla Filtração (Di Bernardo, 2003)

### 3.2 TIPOS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ETAs

De uma forma geral, os resíduos gerados em ETA's podem ser divididos em quatro grandes categorias (AWWA, 1987 *apud* FERREIRA FILHO, 1997):

- a) Resíduos gerados durante processos de tratamento de água visando a remoção de cor e turbidez (lodos gerados nos decantadores ou flutuadores e a água de lavagem dos filtros);
- b) Resíduos sólidos gerados durante processos de abrandamento;
- c) Resíduos gerados em processos de tratamento avançado visando a redução de compostos orgânicos presentes na água bruta (carvão ativado granular saturado, ar proveniente de processos de arraste com ar);
- d) Resíduos líquidos gerados durante processos visando a redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, tais como processos de membrana (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração).

Hsieh & Raghu (1997) *apud* Carneiro e Andreoli, 2013, classificam a água presente nos rejeitos de ETAs nas seguintes categorias:

- a) Água livre – parcela de água que se move livremente por gravidade. Essa água pode ser removida com relativa facilidade por meio de sistemas mecânicos ou, naturalmente, por drenabilidade. Também poderá ser utilizada a evaporação. É importante lembrar que o tempo de remoção dessa água é o fator decisivo para definição da forma a ser adotada.
- b) Água do floco – essa parcela está intimamente ligada à partícula floculada. Para remoção dessa parcela é necessária uma quantidade relativa de energia.
- c) Água capilar – a água capilar está fortemente ligada à partícula sólida por intermédio de pontes de hidrogênio. A diferença entre esta parcela e a do floco é que esta está livre para se mover, enquanto a capilar se move com a partícula. Assim, para a remoção dessa parcela há a necessidade de aplicação de força mecânica, se o floco for quebrado.
- d) Água absorvida – parcela ligada quimicamente à partícula sólida coloidal. A remoção dessa água só será possível com aplicação de altas temperaturas ou com aplicação de elevada quantidade de energia elétrica.

As características do rejeito podem ser divididas em função de sua importância e do objetivo do estudo. Assim pode-se classificar as características em:

- a) Ambientais – para que as questões ambientais sejam analisadas, principalmente quanto à disposição, os seguintes parâmetros são importantes: pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, presença de pesticidas e fertilizantes, compostos orgânicos voláteis, entre outros.
- b) Geotécnicas – esta caracterização é necessária para evidenciar possíveis formas de remoção de água e de futuras utilizações para os sólidos resultantes. Alguns desses parâmetros são: tamanho e distribuição das partículas, limite de plasticidade e limite de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade.

A determinação desses parâmetros é condição fundamental para o equacionamento da questão dos lodos, seja para definição de condições de lançamento, seja para projetos de sistemas de remoção de água.

Tsutiya e Hirata (2001) estudaram diversas alternativas de disposição final como: disposição em aterro sanitário, fabricação de cimento e tijolos, cultivo de grama e solo comercial, plantação de cítricos e lançamento em redes coletoras de esgotos, destacando o aterro, a fabricação de tijolos e a descarga em redes coletoras de esgotos.

Para chegar a essa conclusão, porém, é preciso obter os parâmetros de funcionamento das unidades de uma ETA e efetuar um diagnóstico da mesma, enfatizando o tempo de funcionamento e as vazões de água tratada diários, as características da água bruta, etc e os dados de operação das unidades que geram resíduos (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

Cada linha geradora de resíduos sólidos apresenta características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razão pela qual diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas (FERREIRA FILHO, 1997).

### **3.2.1 Tanque de Recepção e Regularização de Vazão**

Para a clarificação dos resíduos Di Bernardo *et al.* (2012), citam o uso de tanques de recepção que funcionam por batelada, com a finalidade de receber os resíduos das lavagens dos filtros e das descargas dos decantadores, permanecendo por tempo suficiente até que o material suspenso sedimente e permita a retirada do sobrenadante e a do sedimento.

No caso de regularização de vazão para receber um tratamento, são usados tanques de recepção providos de agitadores com funcionamento contínuo ou semi-contínuo (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

Estudos mostram que o uso de polímero melhora a qualidade do sobrenadante, diminuindo consideravelmente a turbidez (de aproximadamente 70 para 8 uT), o que propicia uma melhor qualidade da água a ser recirculada para a ETA (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

### **3.2.2 Adensamento**

Segundo Di Bernardo *et al.* (2012), o adensamento pode ser o processo subsequente ao tanque de recepção e/ou regularização de vazão dos resíduos gerados na ETA.

De um modo geral, o adensamento de lodos de ETA's pode ser efetuado por gravidade, ou por flotação com ar dissolvido ou, finalmente, através de adensadores mecânicos do tipo centrífugas ou esteira. Cada alternativa apresenta vantagens e desvantagens e o estudo de cada uma delas envolve não apenas aspectos econômicos mas, também, aspectos técnicos envolvidos na determinação de parâmetros de projeto de cada processo unitário (FERREIRA FILHO, 1997).

É uma das operações unitárias mais importantes do processo de tratamento, visto que vários sistemas de desidratação necessitam que o teor de sólidos do lodo não seja muito baixo para poderem funcionar com eficiência (RIBEIRO, 2007).

O uso de polímeros também é bastante utilizado para a melhoria da água recirculada.

### **3.2.3 Desaguamento**

No desaguamento de lodo adensado o teor de SST é aumentado, com consequente redução do volume de lodo a ser disposto. Esse processo pode ser efetuado por meio de sistemas mecanizados (centrífuga, filtro prensa de esteira, filtro prensa de placas, prensa desaguadora tipo parafuso, etc.), naturais (lagoa de lodo) e por filtração em leito de secagem, leito de drenagem e em tecido especial (geotêxtil) etc. (DI BERNARDO *et al.* 2012). É desejável a obtenção de torta de lodo com concentração de SST superior a 200 g/L (ou teor de SST superior a 20% em massa/massa) (DI BERNARDO *et al.* 2011).

#### **3.2.3.1 Desaguamento mecânico por centrífuga**

A desidratação de lodos por meio de centrífugas ocorre através de um processo nos quais são aplicadas forças centrífugas ao lodo, para acelerar a separação das fases líquidas e sólidas. A separação da fase sólida e líquida é realizada através de duas operações distintas, a clarificação e a compactação. Durante a clarificação, a fase líquida dos sólidos é removida e na compactação, a água capilar e a intersticial são retiradas da massa do lodo (WPCF, 1983 *apud* SAMUDIO, 1993).

O lodo adensado usualmente é conduzido para um tanque de armazenamento, provido de misturador submersível ou agitador tipo turbina, a partir do qual é bombeado por meio de bombas especiais para uma câmara da centrífuga, recebendo solução de polímero na tubulação de recalque (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

Segundo Di Bernardo *et al.* (2011), as centrífugas funcionam entre 12 e 20 h por dia e produzem uma torta de lodo com massa específica de 1,15 a 1,30 Kg/L e teor de SST entre 15 e 25% (massa/massa).

### 3.2.3.2 Desaguamento mecânico por prensa

#### Filtro Prensa de Esteira

Nesse sistema, o lodo a ser desaguado entra em uma câmara na qual é aplicada a solução de polímero, passa por uma esteira porosa na qual a água livre é drenada, conhecida como zona de drenagem, e é conduzido para a zona de compressão, entre duas esteiras (DI BERNARDO *et al.*, 2012). Em geral é produzida uma torta com concentração de SST entre 15 e 20% (DI BERNARDO *et al.*, 2011).

Em estudos realizados por Souza (2001) nas ETAs Alto da Boa Vista, São Paulo e Rio Grande, São Bernardo do Campo, a taxa de captura de sólidos no filtro prensa de esteira, foi maior do que 89%, com o uso de polímero catiônico. O condicionamento do lodo realizado com o polímero catiônico levou a maiores teores de sólidos do lodo desidratado, em ambas as ETA's. Ultrapassando os 18%, quando ensaiado o lodo da ETA Alto da Boa Vista e variando entre 16 e 18%, quando o da ETA Rio Grande.

#### Filtro Prensa de Placas

O desaguamento mecânico por filtro prensa de placas envolve processos de filtração do lodo para a retirada de água, podendo ser analisado através de equações que relacionam perda de carga, espessura e porosidade da torta formada, massa específica das partículas de lodo, entre outros (FERREIRA FILHO *et al.*, 1998 *apud* MENDES *et al.*, 2001).

Di Bernardo *et al.*, 2012 citam que o sistema de filtro prensa inclui: unidade de recebimento e estocagem de lodo adensado; transferência do lodo adensado para a unidade de acondicionamento (geralmente com polímero); unidade de preparo de solução de polímero e de dosagem; sistema de alimentação do filtro prensa; sistema de filtração e compressão do lodo; dispositivo de transporte da torta e sistema de lavagem das telas. O teor de SST da torta pode variar de 30 a 80% (DI BERNARDO *et al.*, 2011).

Mendes, *et al.* (2001) utilizaram uma instalação para o desaguamento do lodo, constituída de uma bomba de lodo tipo deslocamento positivo que recalca o lodo adensado para a câmara de filtração do filtro prensa, com um sistema de preparo e aplicação da solução de polímero, um sistema diafragma de sobrepressão das câmaras de filtração e o equipamento mecânico de desaguamento propriamente dito, o qual era formado pelas câmaras de filtração e pelas placas diafragma. A aplicação de polímero no sistema de desaguamento se dava no recalque da bomba de lodo e era controlada pelo medidor de

tamanho dos flocos o qual comparava as dimensões dos flocos formados aos estipulados no equipamento de controle geral.

Nesse experimento, foram obtidos tortas com teores de sólidos próximos a 30%, compactas e secas, com boa soltura dos elementos de filtragem e com boa captura de sólidos.

### 3.2.3.3 Desaguamento não mecânico

Richter, 2001, cita que os dispositivos não mecânicos mais comuns são as lagoas e os leitos de secagem, mas devido ao seu alto custo são mais indicados para pequenas estações de tratamento, usualmente com capacidade menor que 200 L/s. A indisponibilidade de terreno limita seu uso em instalações menores.

Di Bernardo *et al.*, 2012 alertam que, para as lagoas que recebem águas oriundas da lavagem dos filtros de uma ETA de filtração direta, onde esses filtros tratam água contendo concentração expressiva de matéria orgânica dissolvida ou densidade relativamente alta de algas e cianobactérias, talvez seja necessário o uso de algum condicionamento químico para que a sedimentação dos sólidos seja efetiva.

### Lagoa

Em locais com disponibilidade de área para implantação e em regiões com altas taxas de evaporação, o desaguamento do lodo em lagoas torna-se uma técnica interessante e com baixo custo de implantação quando comparado às outras tecnologias.

Em função das características dos resíduos gerados, Di Bernardo *et al.* (2012) apontam diferentes concepções:

- Lagoas que recebem as descargas dos decantadores e a água de lavagem dos filtros sem qualquer tratamento prévio;
- Lagoas que recebem as descargas dos decantadores e a água de lavagem dos filtros após tanque de regularização de vazão e aplicação de polímero;
- Lagoas que recebem lodo adensado das descargas de decantadores e da água de lavagem dos filtros com ou sem aplicação de polímero.

Di Bernardo *et al.* (2012) apresentam experimentos onde o teor de SST do lodo removido de lagoas, tendo recebido adição de polímero, foi da ordem de 10%.

## **Leito de Secagem e de Drenagem**

Os mecanismos de desidratação dos leitos de secagem consistem essencialmente em decantação, percolação (drenagem) e evaporação para obter a concentração desejada (RICHTER, 2001).

A camada suporte, constituída de pedregulho ou pedra britada, tem a finalidade de suportar a camada de areia grossa, manter a espessura do lodo uniforme, favorecer a percolação uniforme do filtrado em toda área e direcionar o líquido drenado para a tubulação perfurada (DI BERNARDO *et al.*, 2011).

O desaguamento depende de diversos fatores, destacando-se a temperatura e a umidade do ar, a viscosidade do lodo adensado e a ação dos ventos. Via de regra, para lodo adensado com teor de SST de 1,5 a 3,0%, obtém-se lodo desaguado com teor de SST de 15 a 20% (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

## **Geotêxtil**

A técnica consiste em eliminar o excesso de água do lodo, através da drenagem do líquido pelos pequenos poros do geotecido, ocorrendo desaguamento progressivo e redução do volume inicial (DI BERNARDO *et al.*, 2012).

O geotecido, também conhecido por bag, recebe o resíduo e expelle a água incorporada à estes através dos poros. Segundo Hernandez *et al. apud* Di Bernardo *et al.* (2008), o lodo nos sacos pode atingir teores de sólidos na faixa de 20 a 50%, porém os mesmos sugerem estudo de jarteste antes da implantação.

Antes de chegar ao bag, o lodo recebe adição de polímero. A dosagem e o tipo utilizado devem ser verificados em laboratório, com ensaios de jarteste e filtração, utilizando as mantas do mesmo tecido do bag.

### **3.2.4 Secagem e Incineração**

Di Bernardo *et al.* (2008), pontuam que a secagem e a incineração são tratamentos utilizados como extensão do adensamento e do desaguamento do resíduo, os quais incrementam a concentração de sólidos a valores superiores a 30%.

Complementa que a secagem pode ser natural ou mecanizada, mas para a incineração, existe apenas do tipo mecanizado, que pode resultar em teores de sólidos superiores a 80%.

### **3.3 LEGISLAÇÃO E ASPECTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE ETAs**

Duas leis trazem em seus conteúdos normativas que deverão exigir nova postura diante dos resíduos gerados nas ETAs e sua disposição no meio ambiente, por parte dos gestores dos sistemas de abastecimento de água e órgãos de fiscalização, a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997 – “Política Nacional de Recursos Hídricos” e a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – “Crimes Ambientais”.

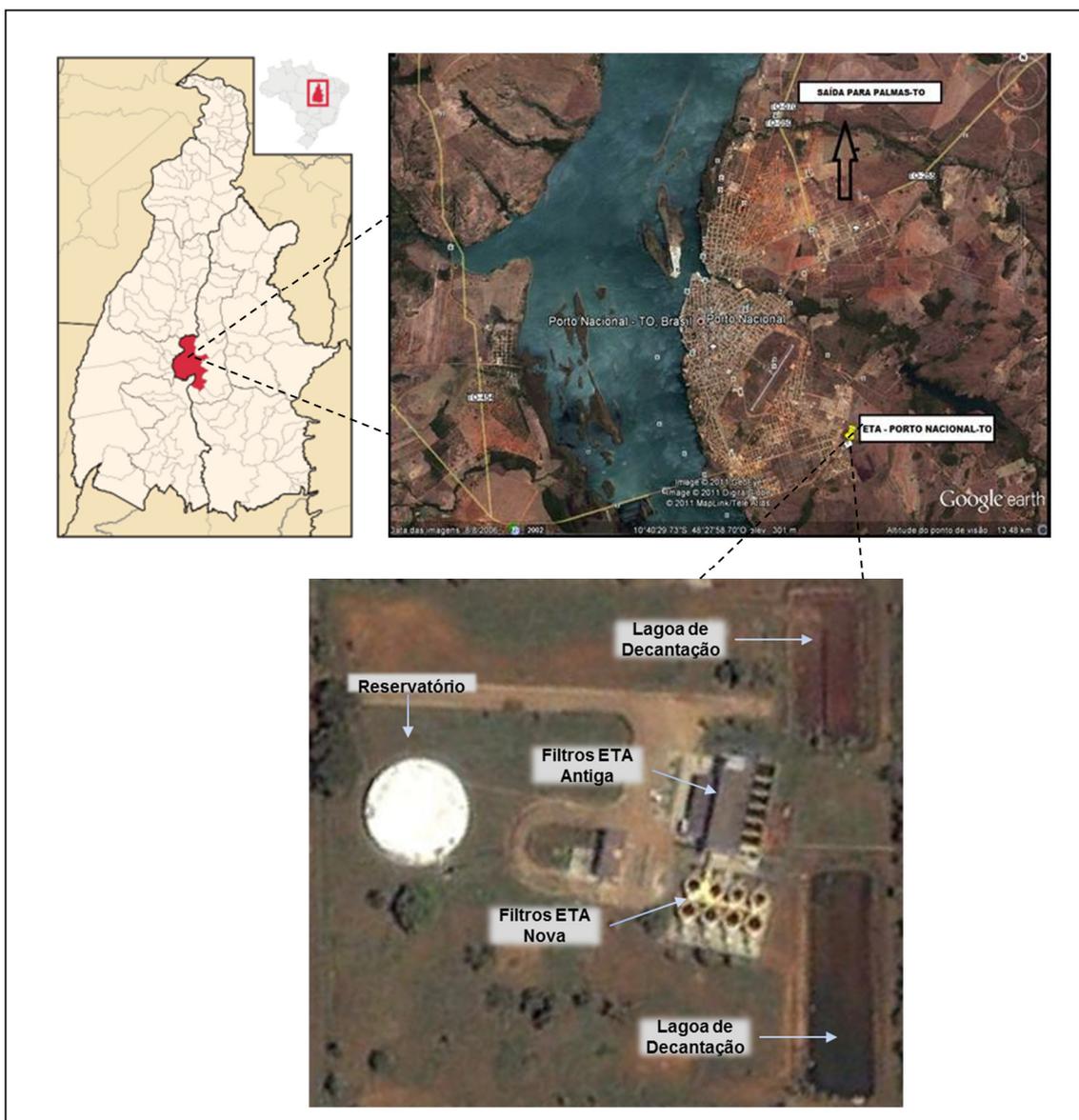
Alguns trabalhos realizados no Brasil evidenciam o potencial poluente dos resíduos gerados nos decantadores e filtros de ETAs. Cordeiro (1993), Cordeiro & Campos (1999) e Barbosa (2000) mostraram que a disposição desses resíduos em corpos d’água pode provocar alterações prejudiciais ao meio ambiente. Um dos problemas mais sérios nesse contexto é a redução do volume de lodo produzido ou a diminuição dos volumes a serem dispostos. Em função da quantidade excessiva de água presente nesses rejeitos, a remoção desta é imperativa na solução do problema (CORDEIRO, 2001).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, a fim de fornecer subsídios para que os mesmos possam ser gerenciados adequadamente. Segundo essa norma, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são enquadrados como resíduos sólidos, bem como os resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição e determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Os resíduos sólidos também são classificados em dois grupos - perigosos e não perigosos, sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte.

Em geral, os resíduos de ETA não possuem característica de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade, sendo, portanto, considerados da “Classe II – Não perigosos”. Embora a patogenicidade seja uma característica dos resíduos “Classe I – Perigosos”, segundo a norma, os resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos não estão sujeitos ao critério de patogenicidade, e podendo-se inferir que essa exceção seja estendida também aos resíduos do tratamento de água (GUIMARÃES, 2007).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados o fluxograma do trabalho experimental, a descrição e funcionamento da ETA de dupla filtração em estudo e os materiais e métodos usados durante a pesquisa. O estudo foi realizado na ETA da cidade de Porto Nacional - TO, que é operada pela empresa ODEBRECHT AMBIENTAL | SANEATINS. A Figura 4.1 mostra a localização da estação.



**Figura 4.1:** Localização da ETA de Porto Nacional. Fonte: Google Earth (2014).

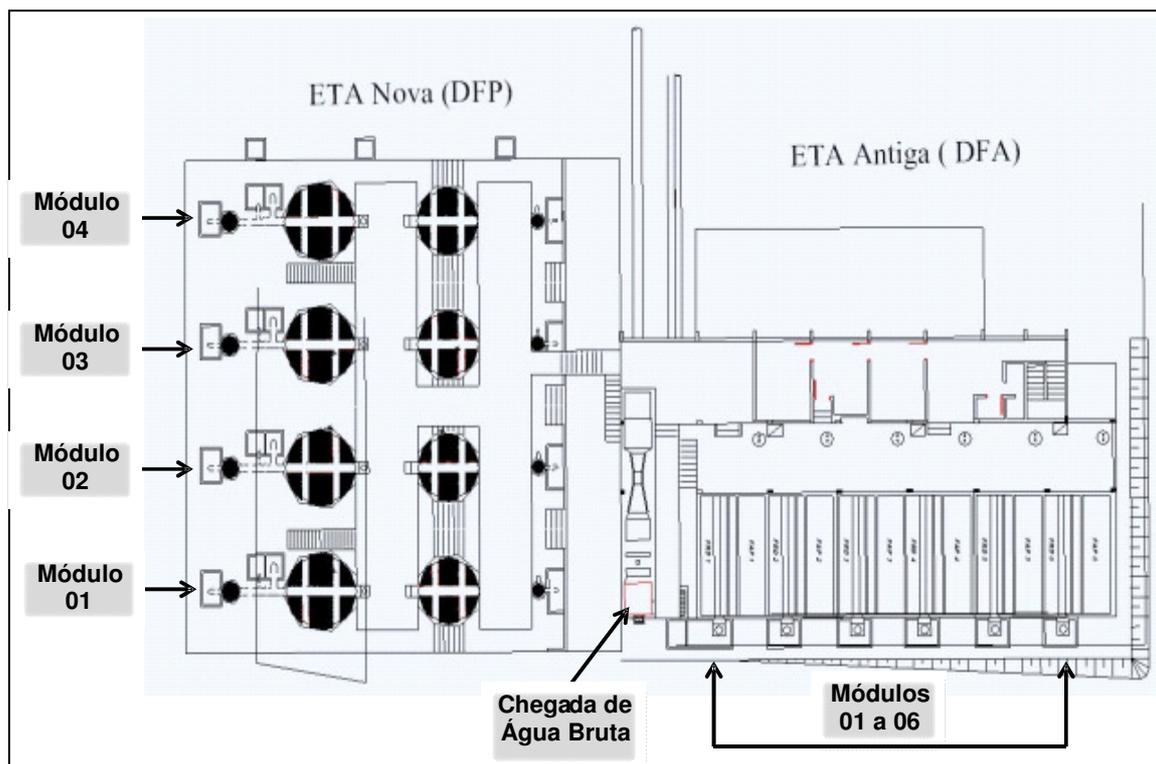
#### 4.1 DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DA ETA DE PORTO NACIONAL

A Estação de Tratamento de Água (ETA) de Porto Nacional – TO opera atualmente com uma vazão média de 150 L/s e períodos de operação médios diários de 18 horas, atendendo cerca de 43.017 habitantes. A captação da água bruta é realizada na Represa São João.

Conforme já mencionado no capítulo 01, a ETA de Porto Nacional, cuja tecnologia de tratamento é a dupla filtração, possui 02 conjuntos de filtros diferentes. Um mais antigo (denominado aqui de ETA Antiga) com 06 módulos de filtros ascendentes (FAA) e descendentes de areia (FRD) e outro mais recente (denominado de ETA Nova), com 04 módulos de filtros ascendentes de pedregulho (FAP) e filtros descendentes de areia (FRD).

A água bruta entra na ETA por um canal retangular de concreto, sendo ali adicionada a cal hidratada (alcalinizante), logo após, há o canal Parshall, mostrado na Figura 4.2, onde é feita a mistura rápida, com a adição do coagulante (PAC). Após a unidade de mistura rápida, existe um vertedor retangular (foto da Figura 4.3), que descarrega a água coagulada livremente na câmara de saída do vertedor Parshall, para posterior divisão de vazão entre as unidades antigas e novas da ETA. Na ocasião de implantação das novas unidades de dupla filtração, a válvula borboleta da tubulação de encaminhamento da água coagulada foi ajustada, de modo que a vazão máxima encaminhada para a ETA Nova não ultrapassasse a vazão máxima de projeto de 75,5 L/s.

Os resíduos gerados na ETA (água de lavagem dos filtros) são encaminhados para uma caixa que divide a vazão para duas lagoas de decantação. Atualmente, as lavagens estão sendo encaminhadas para uma lagoa por vez, após o enchimento de uma das lagoas a outra entra em operação. As Figuras 4.3 a 4.10 mostram as fotos das unidades da ETA de Porto Nacional.



**Figura 4.2:** Layout da ETA de Porto Nacional.



**Figura 4.3:** Vertedor após o canal Parshall na ETA de Porto Nacional.



Figura 4.4: Foto da parte antiga da ETA de Porto Nacional.

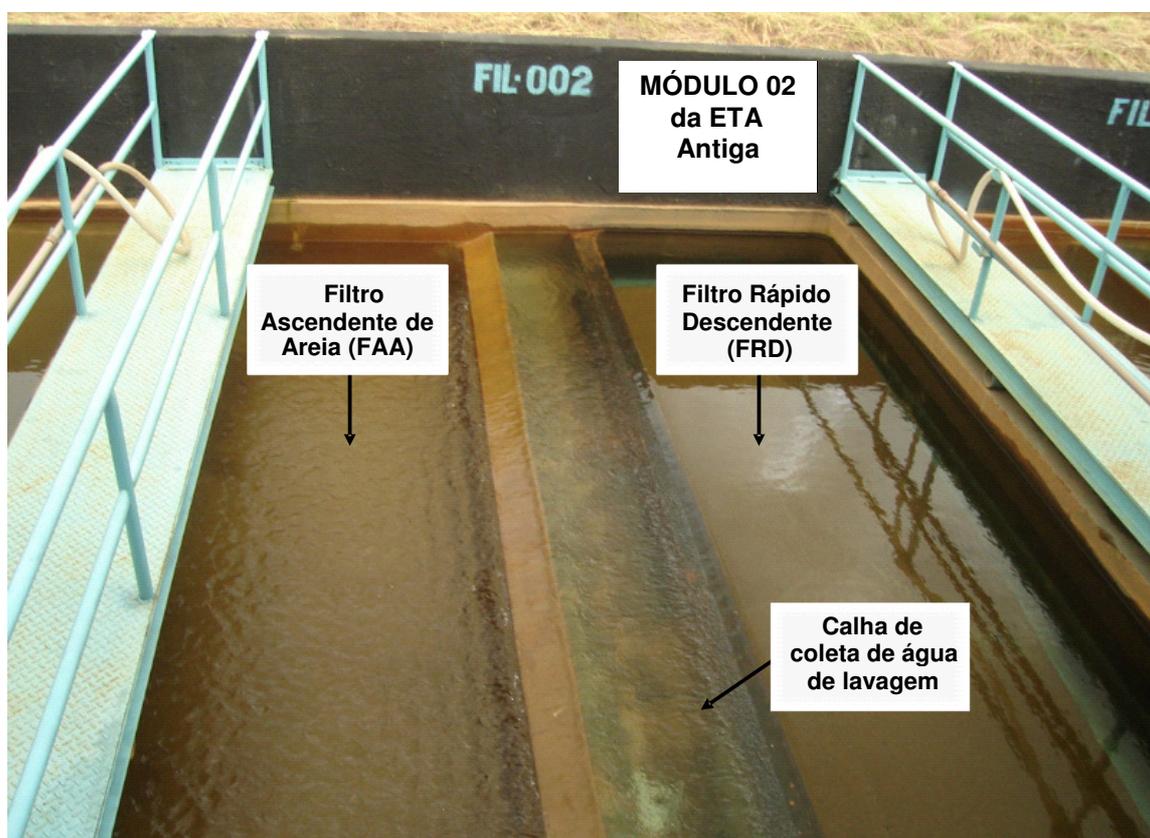
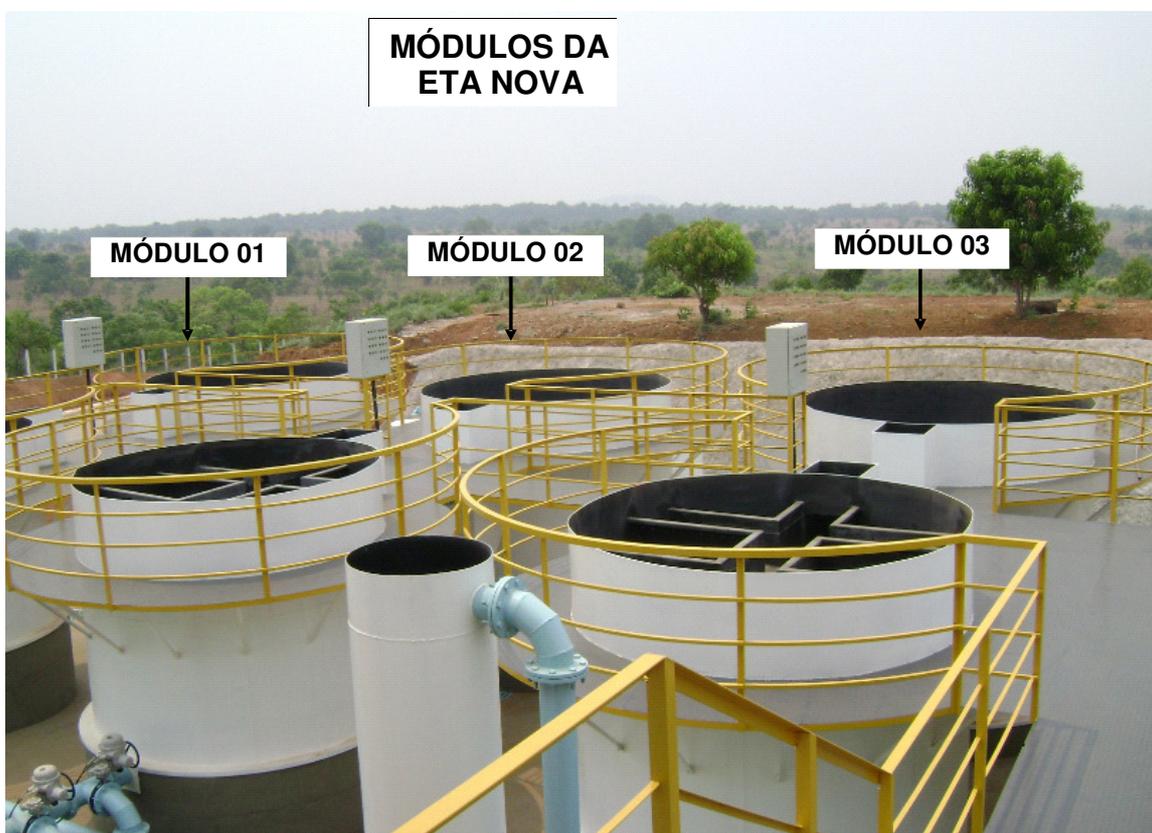


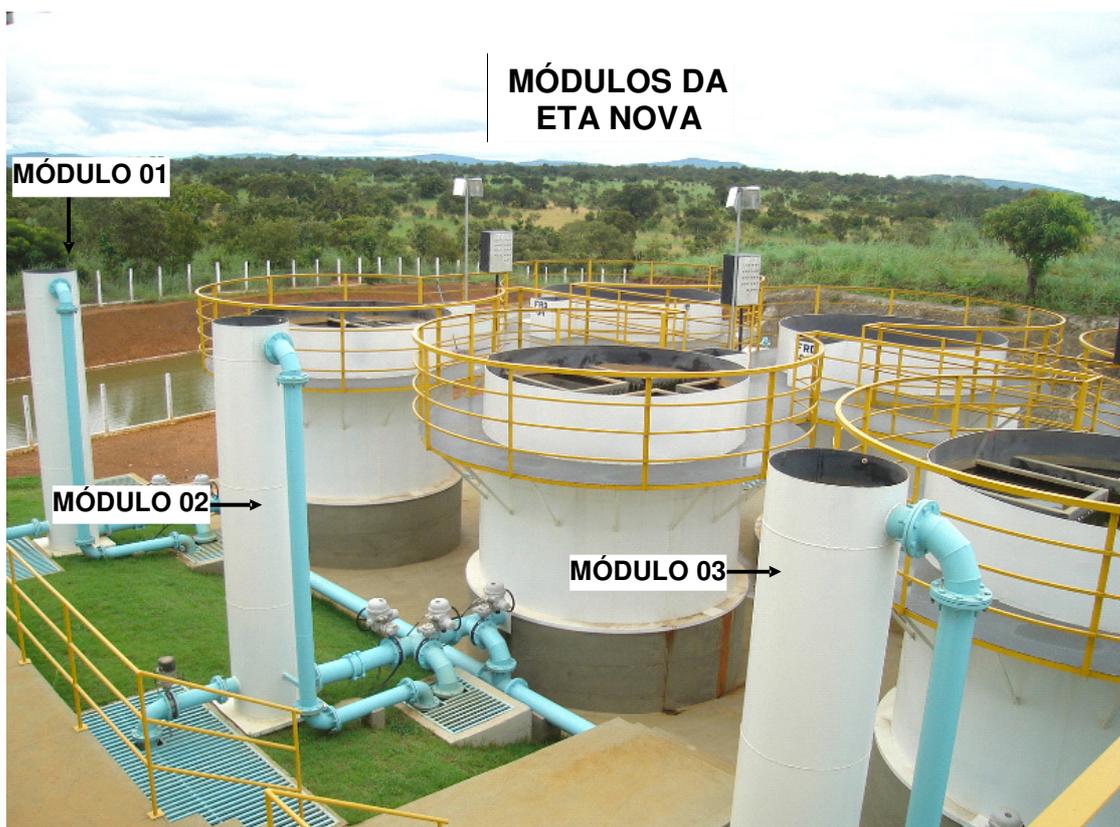
Figura 4.5: Foto do módulo 02, na parte antiga da ETA de Porto Nacional.



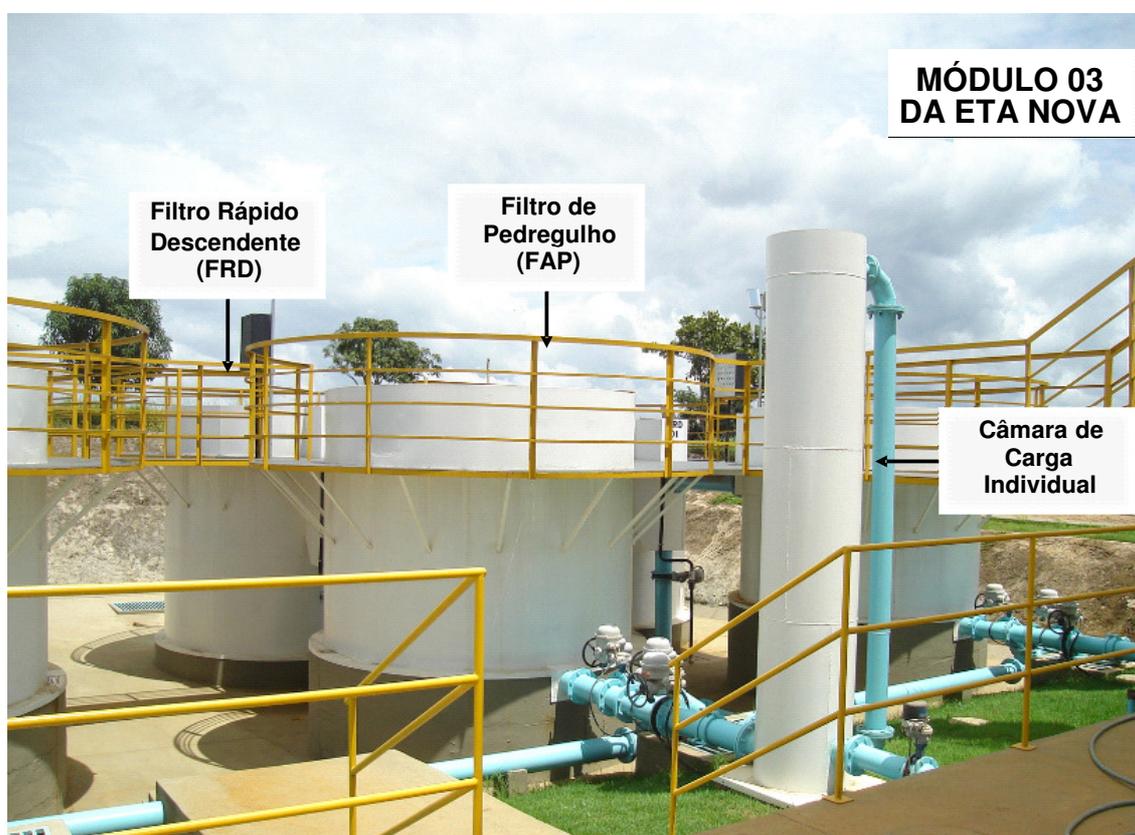
**Figura 4.6:** Foto da parte nova da ETA de Porto Nacional.



**Figura 4.7:** Foto dos módulos da parte nova da ETA de Porto Nacional.



**Figura 4.8:** Foto dos módulos da parte nova da ETA de Porto Nacional.



**Figura 4.9:** Foto do módulo 3 da parte nova da ETA de Porto Nacional



**Figura 4.10:** Fotos das Lagoas de Lodo da ETA de Porto Nacional.

Com base nos boletins de operação da ETA de Porto Nacional, foram levantados os dados de funcionamento dos filtros da ETA em função da qualidade da água bruta e da taxa de filtração, com ênfase em: vazão de água para lavagem, volume gasto na lavagem, frequência de execução das descargas de fundo intermediárias (DFI's), duração da carreira de filtração e qualidade da água pré-filtrada e filtrada.

Para avaliar as carreiras de filtração, foram realizados ensaios nos módulos da ETA e monitorados a turbidez das águas bruta, pré-filtrada e filtrada e as perdas de carga nos meios granulares dos filtros a cada 1 h.

Mediu-se também a dosagem de coagulante na entrada da ETA, o pH de coagulação e o pH da água bruta.

## 4.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS

Para a coleta dos resíduos da ETA, primeiramente foram selecionados 02 módulos de filtros, um da ETA Nova e outro da ETA Antiga. Foram selecionados o módulo 04 da ETA Nova e o módulo 03 da ETA Antiga.

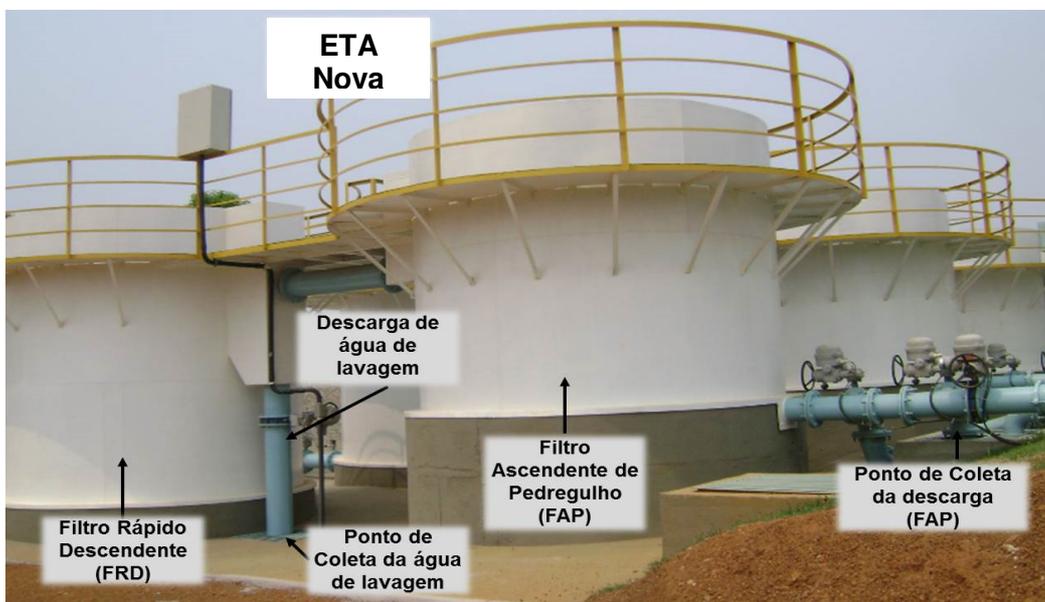
A escolha dos módulos foi baseada nos dados de operação, sendo escolhido o filtro que apresentou maior perda de carga na lavagem. Foram monitorados os filtros dos módulos escolhidos, medindo-se as perdas de carga, turbidez das águas pré-filtrada e filtrada e procedimentos executados (execução de DFI, tempo de descarga, número de lavagens do FRD, duração da carreira, etc.).

Foram coletadas amostras dos seguintes resíduos da ETA:

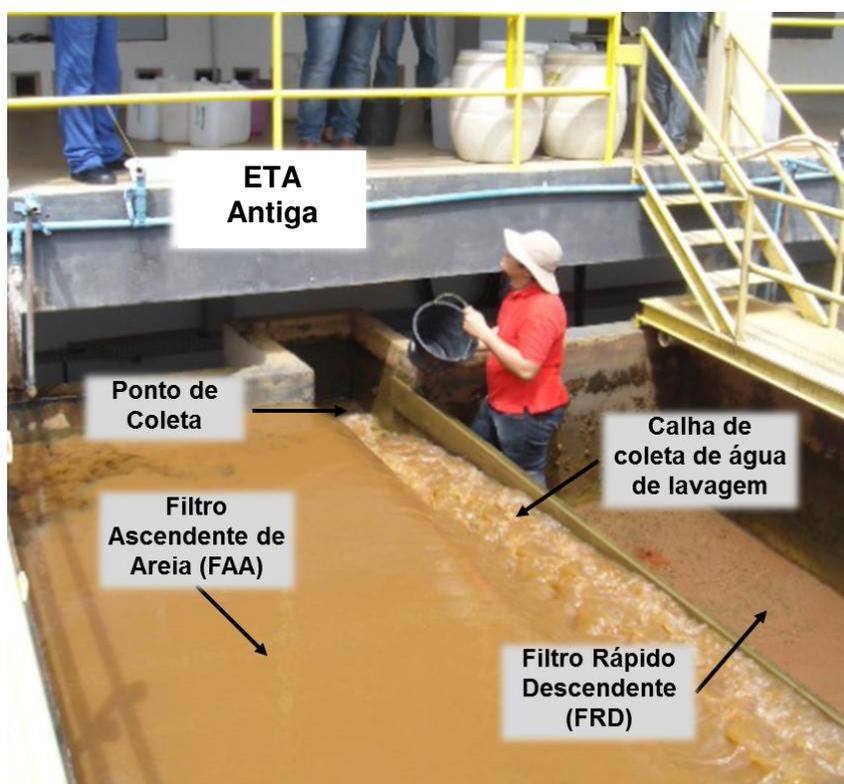
**ETA Nova:** descargas de fundo intermediárias (DFI) do FAP, água de lavagem do FAP e água de lavagem do FRD.

**ETA Antiga:** águas de lavagem do FAA e do FRD.

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram os pontos de coleta em cada módulo da ETA.



**Figura 4.11:** Descrição dos pontos de coleta dos resíduos na ETA Nova.



**Figura 4.12:** Descrição dos pontos de coleta dos resíduos na ETA Antiga.

As coletas foram feitas de forma a gerar uma amostra representativa dos resíduos gerados em cada parte da ETA e foram seguidas as seguintes etapas:

#### 4.2.1 Coleta dos Resíduos da ETA Nova

1) Inicialmente foram confirmados todos os parâmetros de lavagem e de execução das descargas de fundo, como vazão de água para lavagem, tempo de lavagem, duração da carreira de filtração, frequência de execução das DFIs.

2) Foi estimado o volume gerado de resíduo em cada etapa segundo os cálculos abaixo:

Resíduos gerados em uma carreira de filtração completa do filtro de pedregulho (uma semana):

- Descargas de fundo do FAP (8 vezes – carreiras de 8 h): 88 m<sup>3</sup> (20%)
- Lavagem do FAP (1 vez – carreira de 80 h): 100 m<sup>3</sup> (22%)
- Lavagem FRD (4 vezes – carreiras de 22 h): 260 m<sup>3</sup> (58%)
- Volume total: 448 m<sup>3</sup> (100%)

Considerando a obtenção de um volume a ser coletado de 400 L para a execução dos ensaios do jarreste (ver item 4.3), tem-se:

- 80,0 L DF (amostra composta)
- 88,0 L água lavagem FAP (amostra composta)
- 232,0 L água lavagem FRD (amostra composta)

As amostras compostas foram coletadas da seguinte maneira:

- DFI do FAP
  - ✓ Volume total de coleta = 80,0 L;
  - ✓ Coleta de amostras a cada 1 min (primeira no tempo 0 e última no tempo 7 min, totalizando 8 amostras de 10,0 L – foi usado balde graduado); a amostra foi reservada em recipiente individual;
  - ✓ Tempo total da coleta = 7 min;
  - ✓ Para cada amostra foi realizado teste de turbidez para cada período de tempo = total de 8 amostras.

- Lavagem do FAP
  - ✓ Volume total de coleta = 88,0 L;
  - ✓ Coleta de amostras a cada 1 min (primeira no tempo 0 e última no tempo 10 min, totalizando 11 amostras de 8,0 L – foi usado balde graduado); a amostra foi reservada em recipiente individual;
  - ✓ Tempo total da coleta = 10 min
  - ✓ Para cada amostra foi realizado teste de turbidez para cada período de tempo = total de 10 amostras.
  
- Lavagem do FRD
  - ✓ Volume total de coleta = 232,0 L;
  - ✓ Coleta de amostras a cada 30 s (primeira no tempo 0 e última no tempo 7 min, totalizando 15 amostras de 15,5 L – foi usado balde graduado); a amostra foi reservada em recipiente individual;
  - ✓ Tempo total da coleta = 7 min
  - ✓ Para cada amostra foi realizado teste de turbidez para cada período de tempo = total de 15 amostras.
  
- As amostras de cada resíduo foram caracterizadas separadamente em termos de SST, metais, pH, turbidez e cor aparente.

Após a caracterização individual, os recipientes foram deslocados para o laboratório, onde foram realizadas as misturas, separando amostras de cada resíduo e caracterizando-as separadamente em termos de SST, metais, pH, turbidez. Para isso foram utilizados tambores onde as amostras de cada tipo de lavagem eram homogeneizadas para a extração da amostra.

Para a homogeneização da amostra final foi utilizada uma caixa d'água de 1.000 L. As Figuras 4.13 a 4.16 mostram as coletas realizadas na ETA Nova.



Filtro antes da lavagem



Filtro no início da lavagem



Filtro no meio da lavagem



Filtro no final da lavagem

**Figura 4.13:** Fotos do filtro de pedregulho da ETA Nova no momento da coleta.



**Figura 4.14:** Fotos dos recipientes onde foram acondicionadas as amostras de cada resíduo.



**Figura 4.15:** Fotos da mistura da água composta da ETA Nova.



**Figura 4.16:** Fotos das amostras compostas de cada resíduo da ETA Nova (Descarga do FAP, Lavagem do FAP, Lavagem do FRD e Mistura do FAP/FRD).

#### 4.2.2 Coleta dos resíduos da ETA Antiga

1) Similar ao realizado na ETA Nova, foram confirmados todos os parâmetros de lavagem dos filtros ascendente e descendente, como vazão de lavagem, tempo de lavagem, duração da carreira de filtração.

2) Foi estimado o volume gerado de resíduo em cada etapa segundo os cálculos abaixo:

Resíduos gerados em uma carreira de filtração completa do filtro rápido descendente:

- Lavagem do FAA (carreira de 22 h):  $115 \times 3$  Lavagens =  $345 \text{ m}^3$  (85%)
- Lavagem FRD (carreira de 62 h):  $59 \text{ m}^3$  (15%)
- Volume total:  $404 \text{ m}^3$  (100%)

Considerando o volume de 400 L para a execução dos ensaios do jarreste, tem-se:

- 340 L água lavagem FAA (amostra composta)
- 60 L água lavagem FRD (amostra composta)

As amostras compostas foram coletadas da seguinte maneira:

- Lavagem do FAA
  - ✓ Volume total de coleta = 340,0 L;
  - ✓ Coleta de amostras a cada 1 min (primeira no tempo 0 e última no tempo 10 min, totalizando 11 amostras de 30,9 L – foi usado balde graduado); a amostra foi reservada em recipiente individual;
  - ✓ Tempo total da coleta = 10 min
  - ✓ Para cada amostra foi realizado teste de turbidez para cada período de tempo = total de 11 amostras.
  
- Lavagem do FRD
  - ✓ Volume total de coleta = 60,0 L;
  - ✓ Coleta de amostras a cada 30 s (primeira no tempo 0 e última no tempo 5 min, totalizando 11 amostras de 5,5 L – foi usado balde graduado); a amostra foi reservada em recipiente individual;
  - ✓ Tempo total da coleta = 5 min
  - ✓ Para cada amostra foi realizado teste de turbidez para cada período de tempo = total de 11 amostras.
  
- As amostras de cada resíduo foram caracterizadas separadamente em termos de SST, metais, pH, turbidez e cor aparente.

Após a caracterização individual, juntaram-se os volumes dos resíduos e foi caracterizado novamente em termos de SST, metais, pH, turbidez e cor aparente.

Os recipientes foram deslocados para o laboratório, onde foram realizadas as misturas, separando as amostras de cada resíduo e caracterizando-as separadamente em termos de SST, metais, pH, turbidez.

As Figuras 4.17 e 4.18 mostram as coletas realizadas na ETA Antiga.



Filtro antes da lavagem



Filtro no início da lavagem



Filtro no meio da lavagem



Filtro no final da lavagem

**Figura 4.17:** Fotos da coleta no módulo da ETA Antiga.



**Figura 4.18:** Fotos da mistura da água final dos resíduos da ETA Antiga.

### 4.3 ENSAIOS DE BANCADA COM POLÍMERO

Foram realizados ensaios de bancada com polímeros sintéticos, utilizando-se equipamento de jarteste e cones Imhoff (ver Figura 4.19). Para os ensaios com os polímeros, utilizaram-se os resíduos coletados na ETA, conforme descrito no item anterior.



**Figura 4.19:** Equipamento jarteste e cone Imhoff, usado nos ensaios.

Os parâmetros de controle utilizadas nos ensaios de jarteste foram: Tempo de mistura rápida (60 s) e Gradiente da mistura rápida ( $300 \text{ s}^{-1}$ ). Utilizaram-se três tipos de polímeros sintéticos: catiônico, aniônico e não iônico. Além disso, foram usados produtos de dois fornecedores para cada tipo de polímero, as empresas PRODUQUÍMICA (denominada empresa A) e a empresa SNF FLOERGER (denominada de empresa B). A Tabela 4.1 mostra os dados dos polímeros usados nos ensaios.

**Tabela 4.1:** Dados dos polímeros utilizados nos ensaios de clarificação.

POLÍMERO	DESCRIÇÃO COMERCIAL	DESCRIÇÃO USADA NA PESQUISA
Catiônico	C 1020 – PRODUQUÍMICA – em emulsão	Catiônico A
	4350 – SNF FLOERGER – granulado	Catiônico B
Aniônico	A 5020 - PRODUQUÍMICA – em emulsão	Aniônico A
	913 – SNF FLOERGER – granulado	Aniônico B
Não Iônico	N 020 - PRODUQUÍMICA – em emulsão	Não Iônico A
	920 – SNF FLOERGER – granulado	Não Iônico B

Foram realizados seis ensaios de jarteste com cada água de estudo (ETA Nova e ETA Antiga). A Tabela 4.2 mostra as características dos ensaios realizados:

**Tabela 4.2:** Ensaios realizados em equipamento jarteste.

ENSAIOS	POLÍMERO	DOSAGENS (mg polímero / g SST)	RESÍDUO
1	Não Iônico A	Jarro 1: 0	ETA NOVA
2	Não Iônico B	Jarro 2: 1	
3	Catiônico A	Jarro 3: 2	
4	Catiônico B	Jarro 4: 4	
5	Aniônico A	Jarro 5: 6	
6	Aniônico B	Jarro 6: 8	
7	Não Iônico A	Jarro 1: 0	ETA ANTIGA
8	Não Iônico B	Jarro 2: 1	
9	Catiônico A	Jarro 3: 2	
10	Catiônico B	Jarro 4: 4	
11	Aniônico A	Jarro 5: 6	
12	Aniônico B	Jarro 6: 8	

Cada ensaio seguiu o seguinte roteiro:

- 1 - Os jarros do equipamento (jarteste) foram preenchidos com a amostra composta do resíduo da ETA homogeneizado;
- 2 - Foram adicionadas as dosagens de polímero em cada jarro (conforme tabela 4.2) e realizada a mistura rápida (para os polímeros granulares, era preparada antes a emulsão);
- 3 - Logo após a mistura rápida, o volume de cada jarro era transferido imediatamente para o cone de Imhoff;
- 4 - Após a transferência do volume do jarteste para o cone, iniciaram-se leituras de turbidez do sobrenadante (amostra da superfície do cone) e volume de lodo (mL) em função do tempo. Foram realizadas leituras a cada 5 min por 1 h.
- 5 - No final do ensaio, foi sifonado o sobrenadante do cone e caracterizado em termos de SST, metais, pH e turbidez.
- 6 - Cada ensaio foi repetido até o momento da mistura rápida (item 2), para caracterização da concentração do SST em cada jarro, após a dosagem do polímero nos seis jarros.

Todas as análises das amostras foram realizadas segundo os métodos indicados no Standard Methods (APHA *et al.*, 1998). A Figura 4.20 mostra a sequência de realização dos ensaios de 2 a 6.



**Figura 4.20:** Sequência de realização dos ensaios de jarteste.

Para encontrar a concentração de sólidos no lodo adensado no fundo do cone foi utilizado o seguinte cálculo:

$$SST_{Lodo} = \frac{(SST_{aap} - SST_{sobren})}{V_{Lodo}}$$

$$TSólidos_{Lodo} = \frac{SST_{Lodo}}{10.000}$$

em que:

$SST_{Lodo}$  = concentração de lodo nos sólidos no lodo (mg/L);

$SST_{aap}$  = concentração de SST da amostra composta dos resíduos após aplicação de polímero (mg/L);

$SST_{sobren}$  = concentração de SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L) no cone;

$V_{Lodo}$  = volume de lodo no fundo do cone (mL);

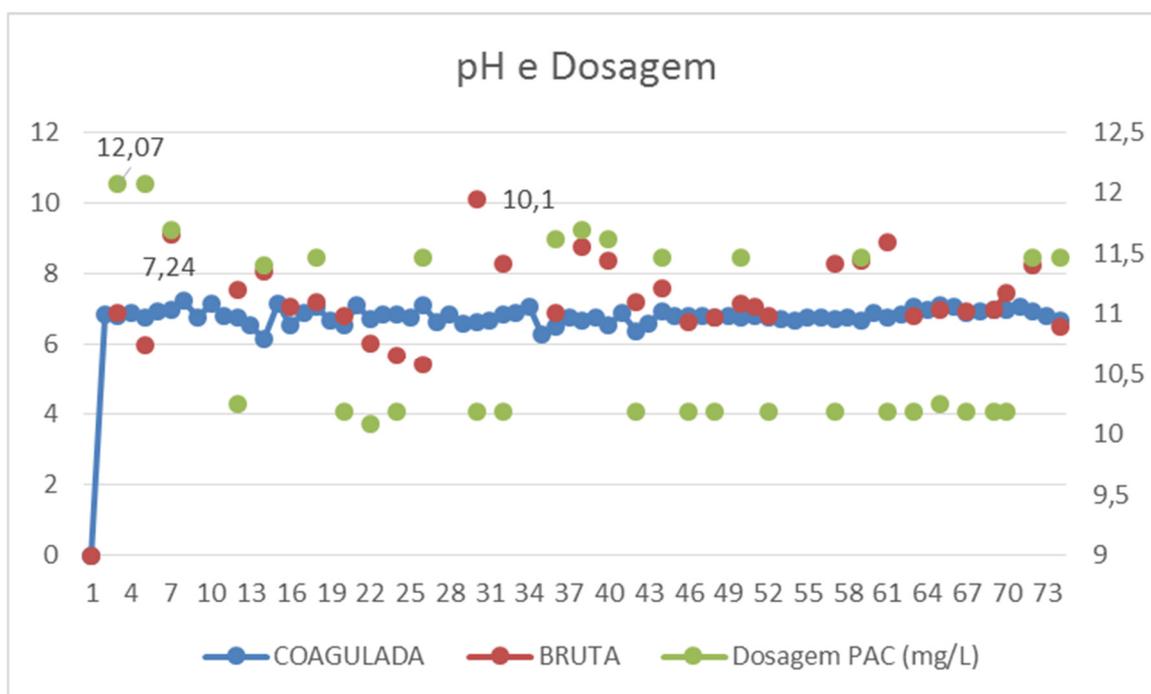
$TSólidos_{Lodo}$  = teor de sólidos no lodo adensado (%).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são apresentados e discutidos os resultados da investigação experimental, sendo os seguintes tópicos abordados: resultados do pH e dosagem da ETA, resultados das carreiras de filtração da dupla filtração, caracterização dos resíduos gerados na ETA e os ensaios de bancada com polímeros para clarificação dos resíduos.

### 5.1 RESULTADOS DOS DADOS DE pH E DOSAGEM DA ETA

Os dados de pH e dosagem foram analisados durante a menor carreira de filtração contida em uma semana. A Figura 5.1 mostra os valores medidos.



**Figura 5.1:** Valores de pH da água bruta, água coagulada e dosagem do PAC

O pH da água coagulada se manteve constante ao longo do tempo, a dosagem do PAC era ajustada de acordo com o pH da água bruta.

## 5.2 RESULTADOS DAS CARREIRAS DE FILTRAÇÃO

Devido às reformas em alguns módulos da ETA Antiga (Dupla Filtração em Areia), não foi executado o monitoramento de turbidez e perda de carga na carreira de filtração dessa parte da ETA, pois os valores encontrados não representariam a realidade da estação. Assim, segue abaixo o levantamento das carreiras de filtração dos 04 módulos de dupla filtração em pedregulho da ETA Nova.

A tabela 5.1 apresenta um resumo dos dados operacionais dos filtros da ETA Nova.

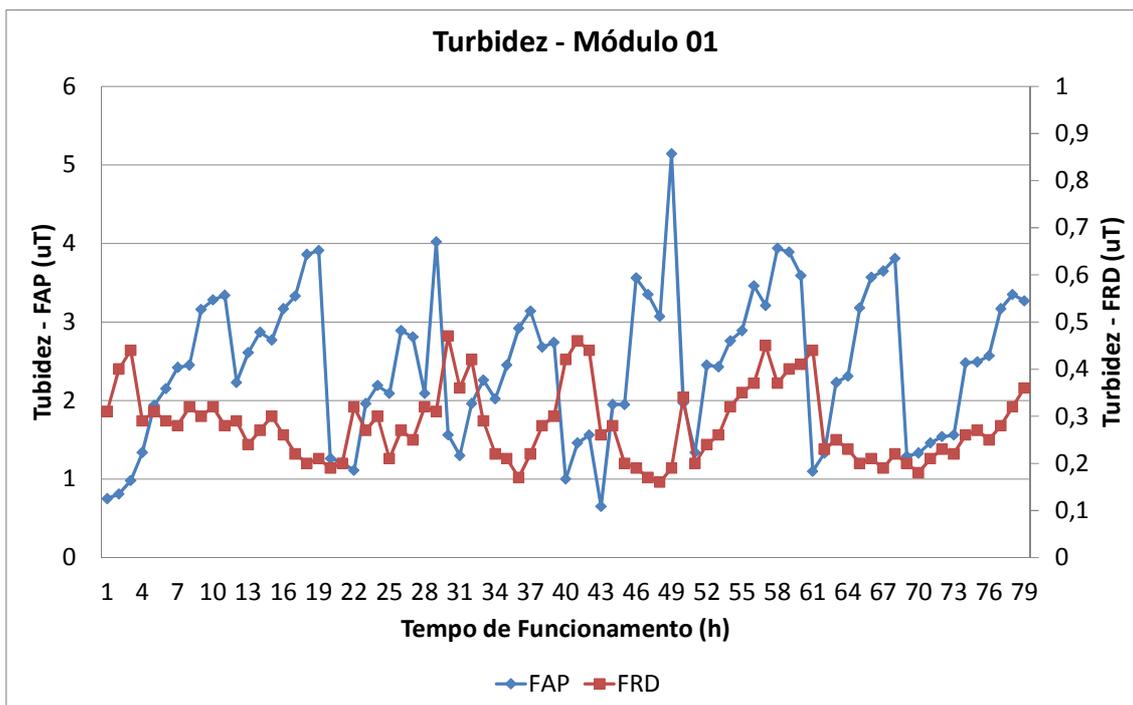
**Tabela 5.1:** Resumo das carreiras de filtração da ETA Nova

Taxa de filtração FAP	169 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Duração da carreira FAP	84 h
DFI FAP	8 h
Taxa de filtração FRD	100 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d
Duração da carreira FRD	22 h
Condições de coagulação	*D <sub>PAC</sub> = 15 mg/L; pH = 6,2 a 7,1

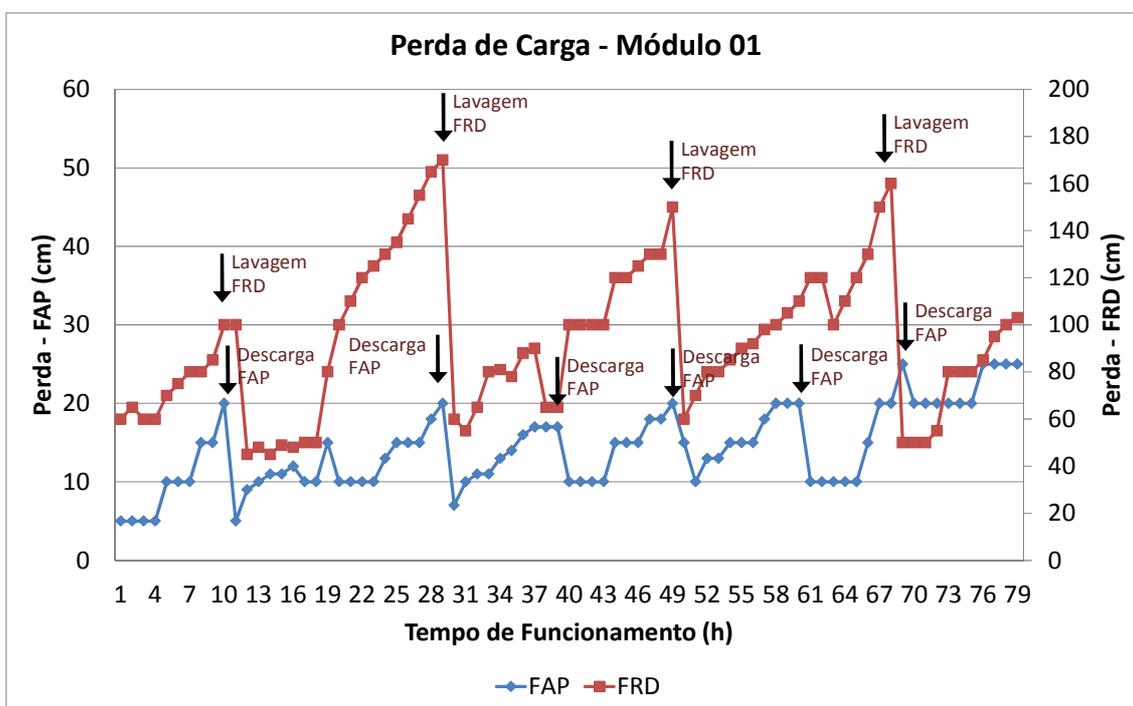
\*D<sub>PAC</sub>: Dosagem de Cloreto de Polialumínio Comercial

Nos filtros de pedregulho, tanto a turbidez do efluente, como a perda de carga no meio filtrante, não são usados como parâmetro para a definição das descargas de fundo e a lavagem. A descarga de fundo ficou fixada para a cada 8 horas de operação e a lavagem é feita uma vez por semana. Já nos filtros de areia, o momento da lavagem ocorre pela medição da perda de carga no meio filtrante. Existe uma determinação de projeto para se lavar os filtros quando o mesmo atingir uma perda de 160 cm, contudo, o que foi verificado é que este critério nem sempre é realizado.

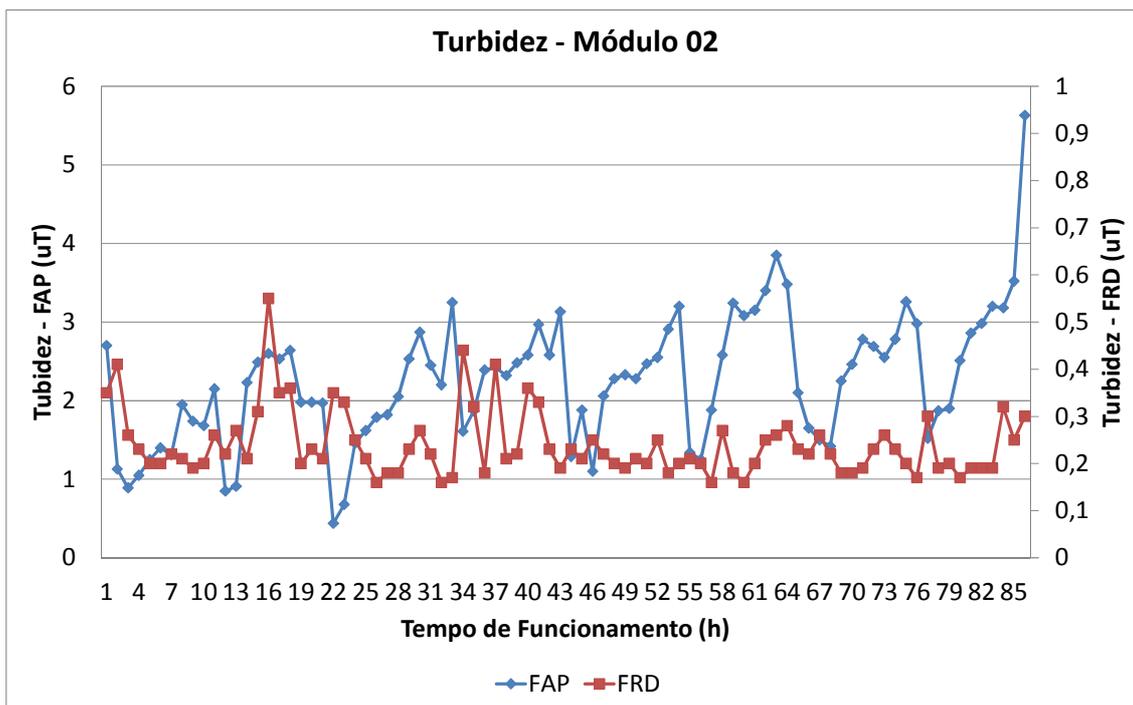
As Figuras 5.2 a 5.10 mostram os valores de turbidez e perda de carga obtidos nos filtros ascendentes de pedregulho e descendentes de areia durante uma carreira completa do filtro de pedregulho (01 semana de operação).



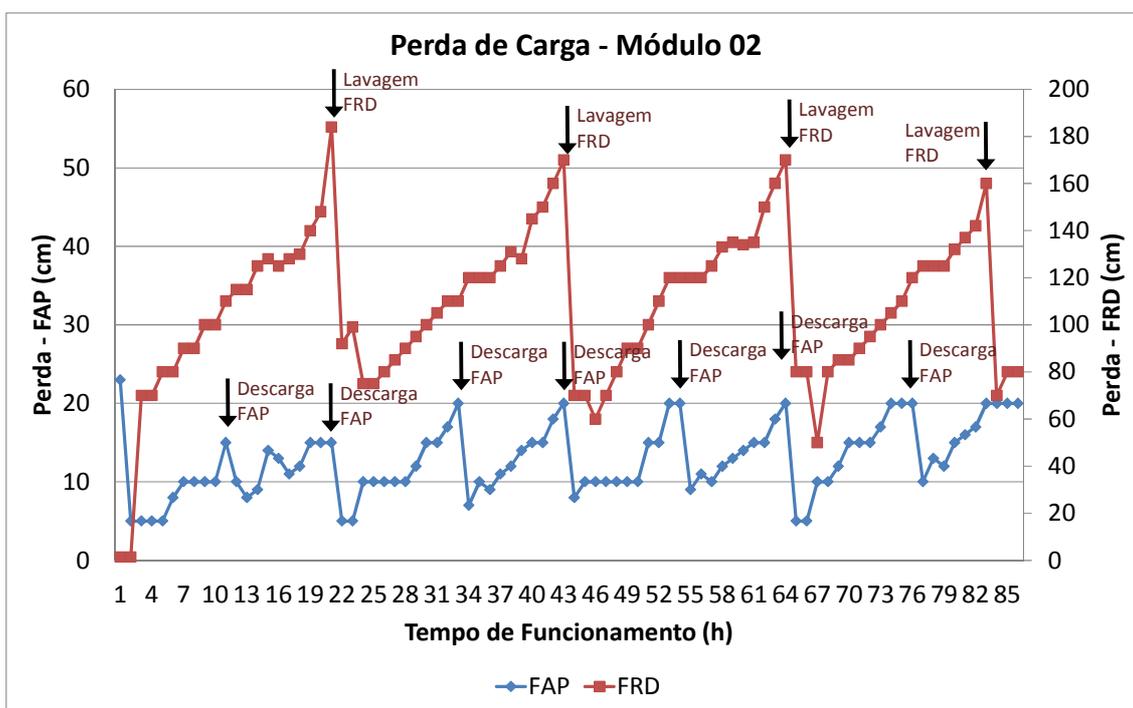
**Figura 5.2:** Valores de turbidez no módulo 1 de Dupla Filtração.



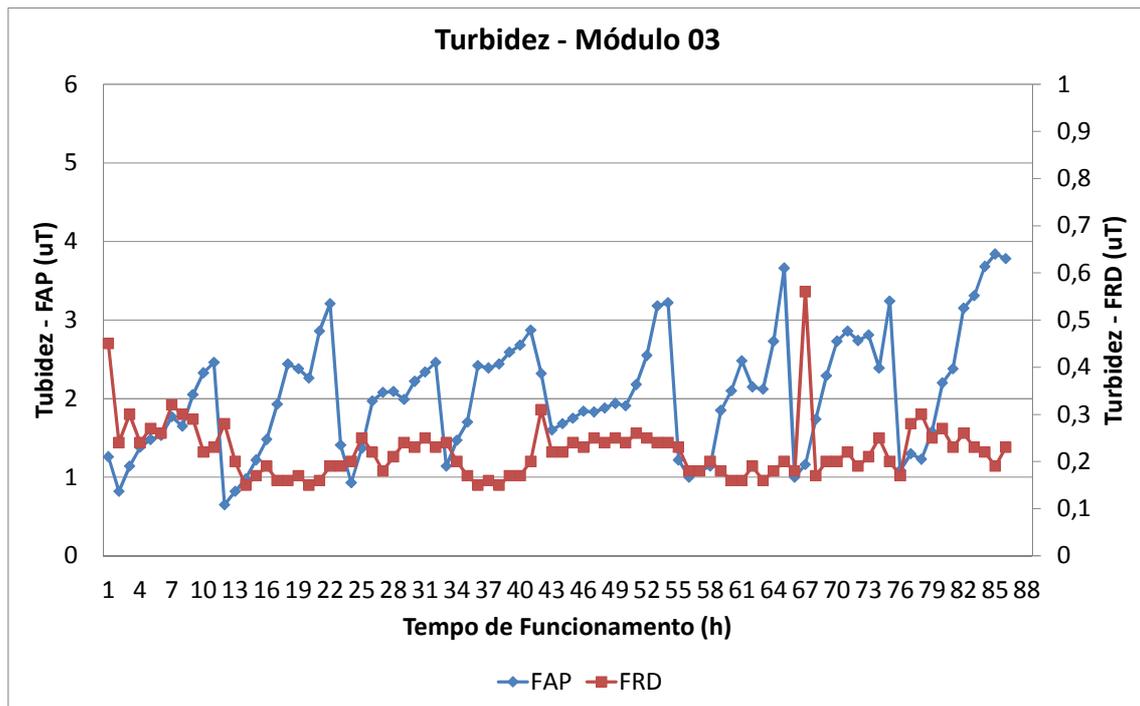
**Figura 5.3:** Valores de perda de carga no módulo 1 de Dupla Filtração.



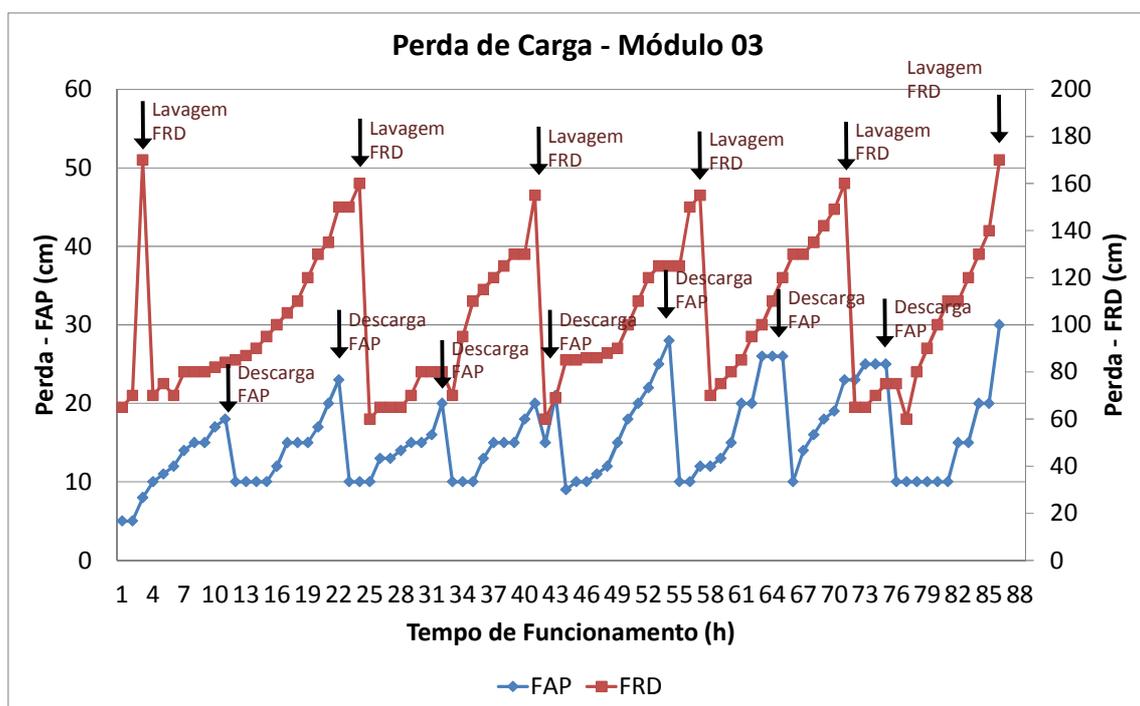
**Figura 5.4:** Valores de turbidez no módulo 2 de Dupla Filtração.



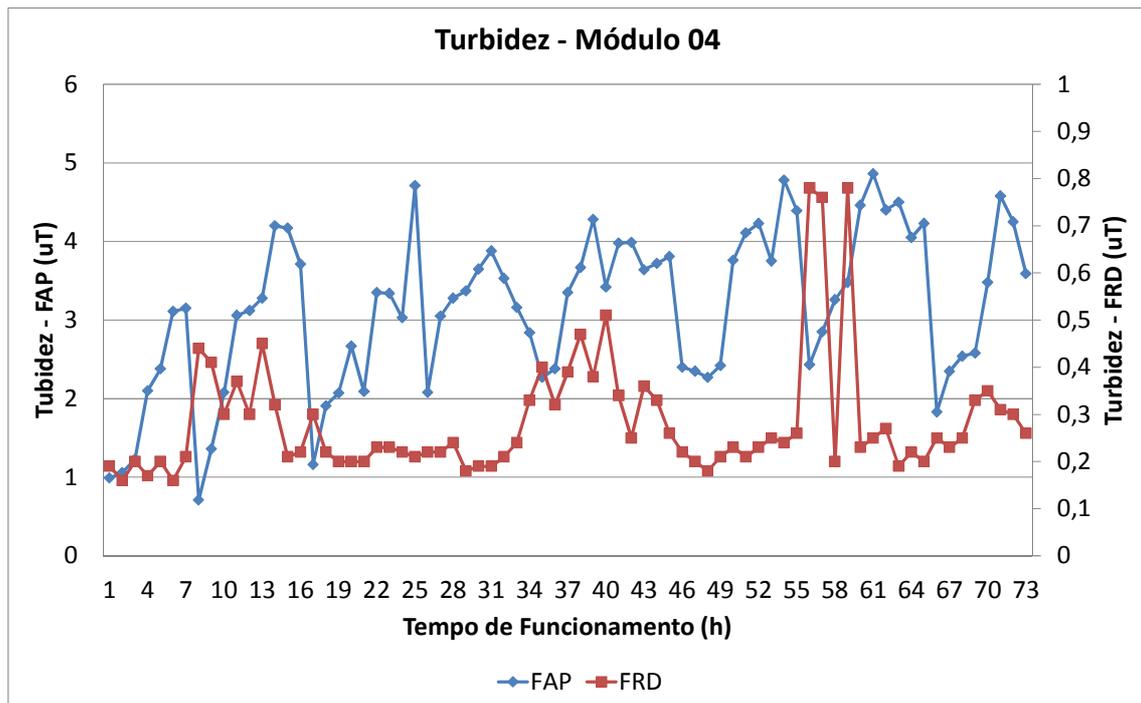
**Figura 5.5:** Valores de perda de carga no módulo 2 de Dupla Filtração.



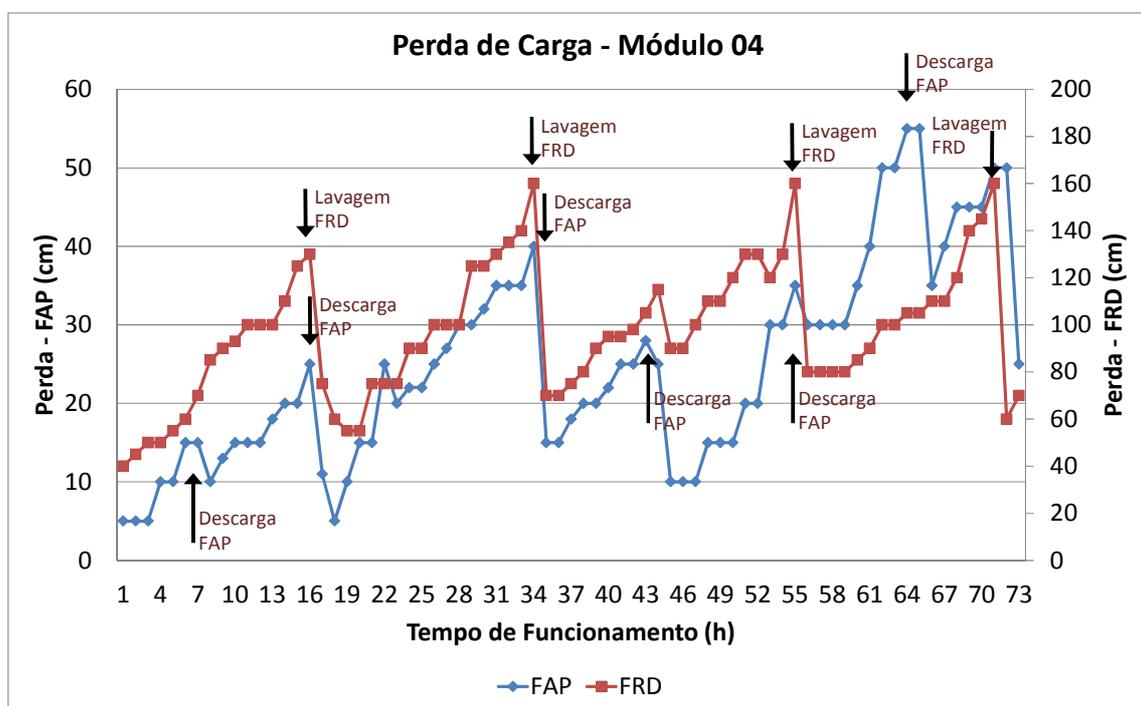
**Figura 5.6:** Valores de turbidez no módulo 3 de Dupla Filtração.



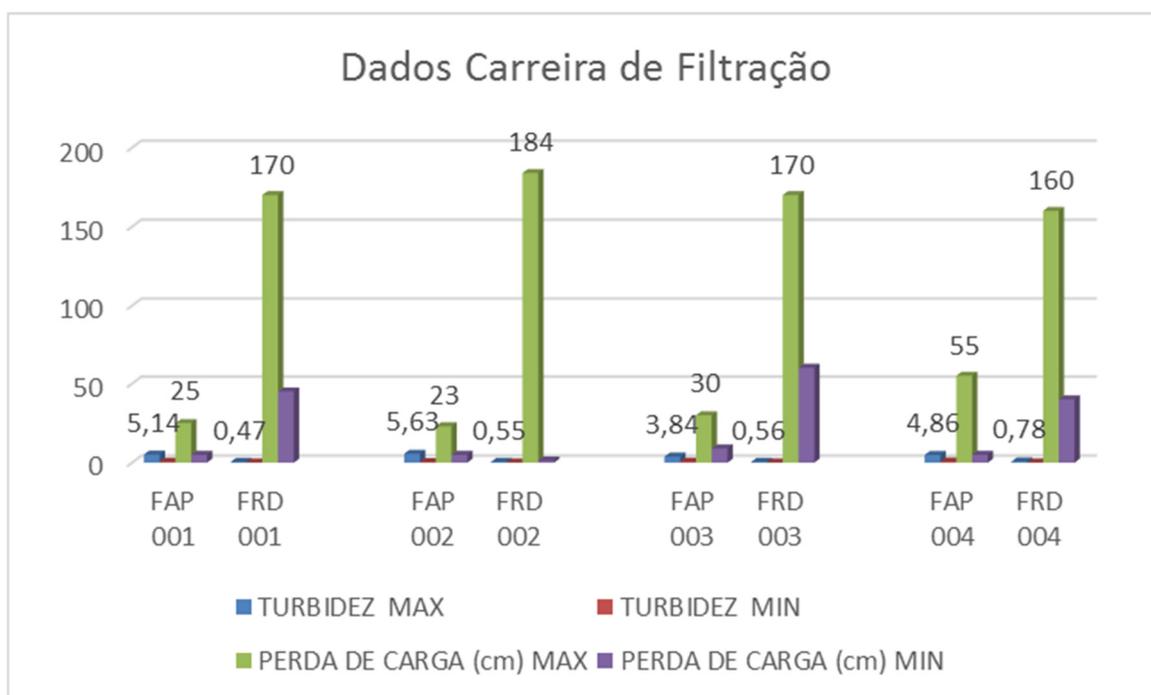
**Figura 5.7:** Valores de perda de carga no módulo 3 de Dupla Filtração.



**Figura 5.8:** Valores de turbidez no módulo 4 de Dupla Filtração



**Figura 5.9:** Valores de perda de carga no módulo 4 de Dupla Filtração



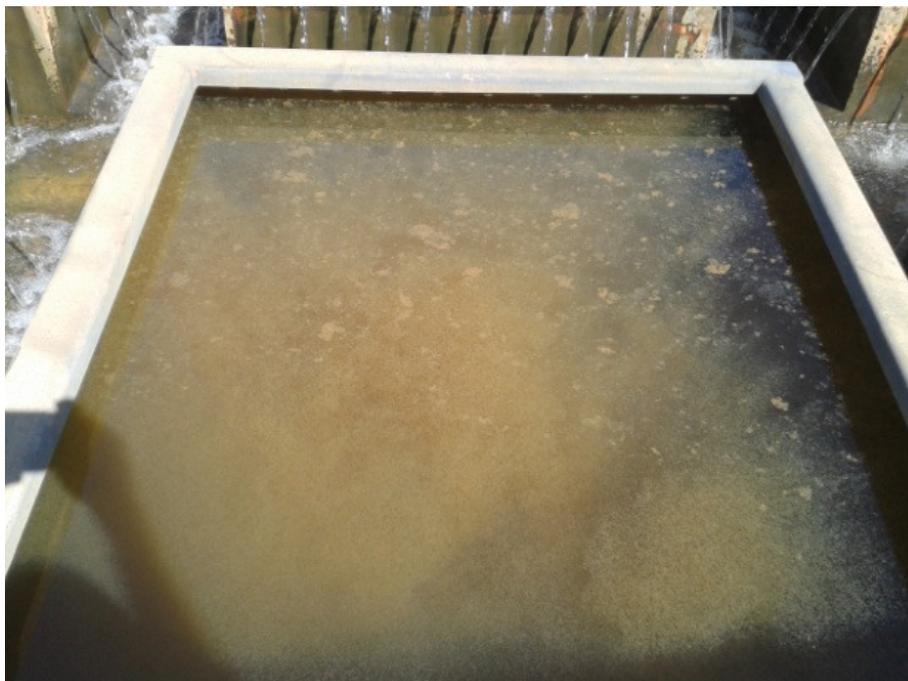
**Figura 5.10:** Resumo dos valores de turbidez nos 4 módulos de Dupla Filtração da ETA Nova

Observando os valores de turbidez mostrados nas Figuras 5.2 a 5.10, verifica-se que na maior parte da carreira de filtração, a turbidez de saída nos filtros descendentes (FRD) ficou dentro do exigido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde ( $< 0,5$  uT). Entretanto nos módulos 2, 3 e 4 ocorreram picos de turbidez, cujos valores ficaram fora da Portaria (0,55; 0,56 e 0,78 uT respectivamente, conforme as Figuras 5.4; 5.6 e 5.8). Esses valores foram observados individualmente e em tempos distintos, e não interferem nos resultados finais, onde a água filtrada é a mistura de todos os filtros da ETA.

A turbidez na saída dos filtros de pedregulho teve uma grande oscilação, com valores mínimos de 0,44 uT e máximo de 5,63 uT, ambos no FAP 002. Comparando os gráficos de perda de carga e turbidez, nota-se que logo após a execução das DFI's há uma melhora na qualidade do efluente. Nas Figuras 5.6 e 5.7 estão os dados do módulo 03, e observa-se que, no momento da 1ª DFI (10 horas de carreira) a turbidez na saída do FAP foi de 2,46 uT, sendo que 03 horas após a descarga o valor caiu para 0,65 uT. E à medida que transcorria a carreira de filtração esses valores também cresciam, tendo chegado a 3,84 uT no fim da carreira (88 horas).

Entretanto o grande problema observado foi que os FAP's liberavam uma grande quantidade de flocos assim que eram recolocados em operação após a realização de uma

descarga de fundo intermediária ou após a lavagem de um FRD conforme mostrado nas fotos das Figuras 5.11 e 5.12.



**Figura 5.11:** Reinício de operação do FAP 002 após parada para lavagem do FRD 002



**Figura 5.12:** Desprendimento de flocos do FAP 004 após o reinício de operação após lavagem do FRD 004.

Existem vários fatores que podem estar potencializando a liberação dos flocos: coagulação no mecanismo inadequado, lavagem ineficiente, frequência de execução das descargas de fundo intermediárias inadequada.

Observando o funcionamento do módulo 04, verifica-se alguns pontos sobre a operação dos filtros. Na Figura 5.9 observamos que a duração da carreira de filtração do FAP 004 foi de 73 h, com perda de carga total final em torno de 55 cm. Foram executadas 6 DFIs, uma a cada 8-12 h. Durante a carreira do FAP, o FRD foi lavado 4 vezes, com carreira de filtração entre 17 e 19 h, com perda de carga total final em torno de 1,12 a 1,42 m.

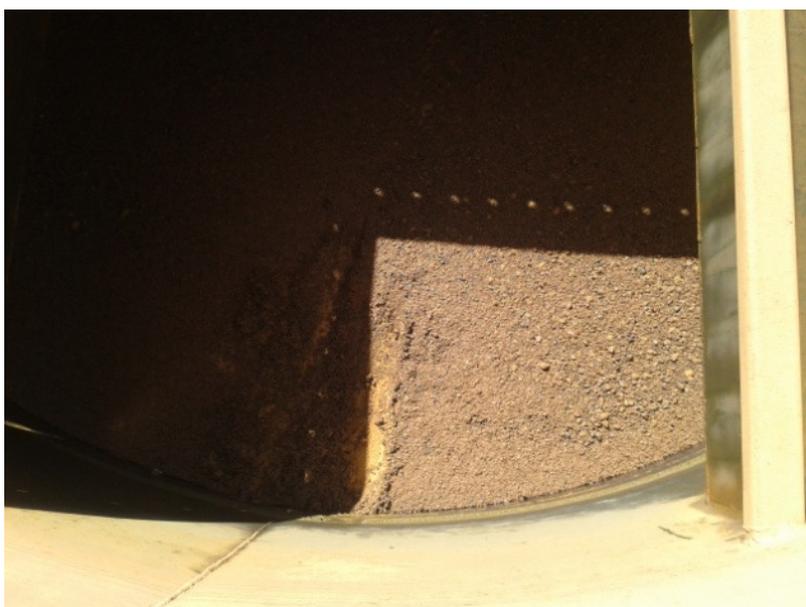
As perdas de carga iniciais no FRD, após cada lavagem, diferem entre si e resultaram bem acima do valor teórico, indicando que o meio filtrante não se encontrava totalmente limpo após as lavagens efetuadas; a perda de carga teórica inicial (meio filtrante limpo + perda de carga turbulenta) é de 31 cm e as observadas no monitoramento foram de 57 cm, 52 cm, 62 cm e 42 cm.

Após a terceira lavagem do FRD 004, foi observada a maior perda de carga inicial no FRD (62 cm), indicando que o FRD encontrava-se ainda muito sujo; essa situação piora a qualidade da água produzida, como pode ser observado na Figura 5.8, cujos valores de turbidez da água filtrada ultrapassaram 0,50 uT durante parte do tempo até o momento da quarta lavagem do FRD.

É importante destacar o aspecto do FRD 004 nas fotos das Figuras 5.13 a 5.15 após o recebimento dos flocos desprendidos do FAP 004, onde foi encontrado 3,0 cm de lodo na superfície, o que pode estar agravando o seu funcionamento.



**Figura 5.13:** Carreamento dos flocos desprendidos no FAP ao FRD 004.



**Figura 5.14:** Aspecto da camada de lodo formada no topo do meio filtrante do FRD 004.



**Figura 5.15:** Medida da espessura da camada de impurezas acima do topo do material filtrante do FRD 004 após a lavagem

Esse lodo é removido constantemente para evitar que o filtro colmate na superfície.

## 5.2 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA

Os resultados apresentados aqui são referentes à caracterização feita nos resíduos dos filtros das duas partes da ETA, conforme relatado no item 4.2. As Tabelas 5.2 e 5.3 mostram os parâmetros físico-químicos obtidos nas amostras de resíduos, em cada unidade dos módulos analisados da ETA.

**Tabela 5.2:** Resultados da caracterização dos resíduos de cada unidade da ETA Nova.

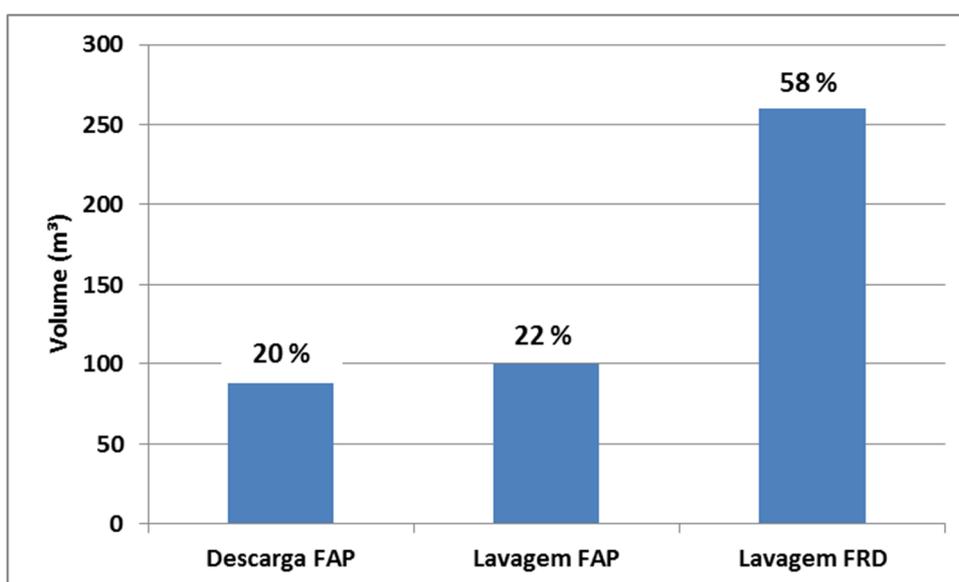
Parâmetros	Descarga do FAP	Lavagem do FAP	Lavagem do FRD	Água de Mistura
Turbidez (uT)	219	99	79,7	80
Cor Aparente (uH)	1280	1795	88	431
Sólidos Suspensos (mg/L)	362	128	114	198
pH	8,20	7,10	7,60	7,10
Alumínio Total (mg/L)	1,10	4,07	2,04	1,00
Ferro Total (mg/L)	6,39	2,90	1,35	1,64
Manganês Total (mg/L)	0,16	0,91	0,12	0,18

**Tabela 5.3:** Resultados da caracterização dos resíduos de cada unidade da ETA Antiga.

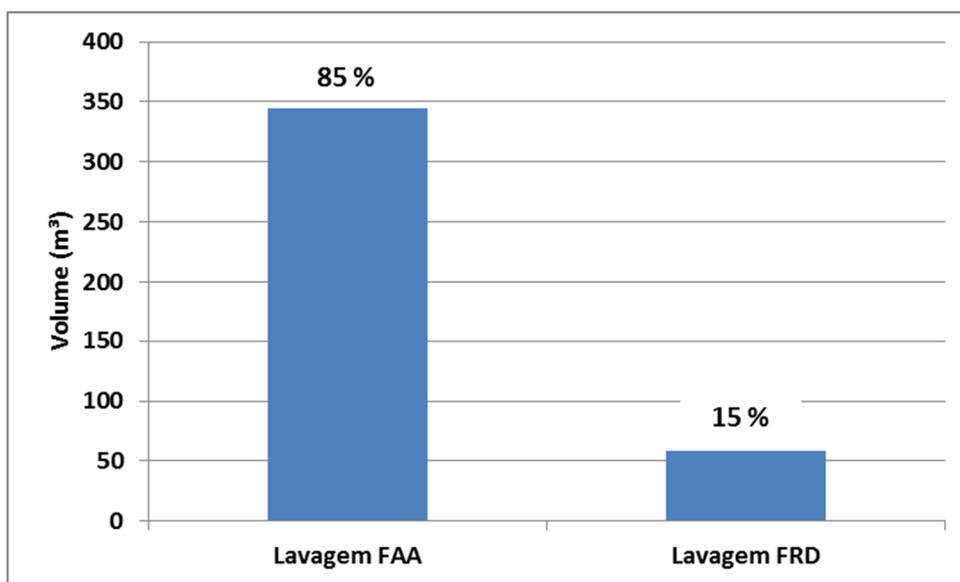
Parâmetros	Lavagem do FAA	Lavagem do FRD	Água de Mistura
Turbidez (uT)	73,2	37,9	61,5
Cor Aparente (uH)	770	249	708
Sólidos Suspensos (mg/L)	124	50	101
pH	6,86	6,91	6,78
Alumínio Total (mg/L)	4,16	2,87	2,96
Ferro Total (mg/L)	12,02	6,42	11,36
Manganês Total (mg/L)	0,012	0,02	0,016

Observa-se que os valores encontrados de turbidez e sólidos suspensos no módulo da ETA Nova são bem superiores aos encontrados na ETA Antiga. Os valores de SST na água de mistura foram de 198 mg/L e 101 mg/L para a ETA Nova e Antiga respectivamente. Outro aspecto a ser observado é que na descarga de fundo do FAP (ETA Nova) foi o ponto onde foram obtidos os maiores valores de SST (362 mg/L), já a lavagem do FRD da ETA Antiga teve o menor valor (50 mg/L).

Os gráficos das Figuras 5.16 e 5.17 apresentam os dados dos volumes gerados de resíduos em cada módulo avaliado na pesquisa. Para a ETA Nova, esses volumes representam a quantidade de resíduo gerada no módulo em uma carreira de filtração completa do filtro de pedregulho, que atualmente é de 80 h. Nesse período (80h), são executadas, em média, 8 descargas de fundo no FAP e 4 lavagens do FRD. Observa-se na Figura 5.16 que, em termos quantitativos, a lavagem no FRD (58%) gera muito mais resíduos, que a DF (20%) e a lavagem no FAP (22%).

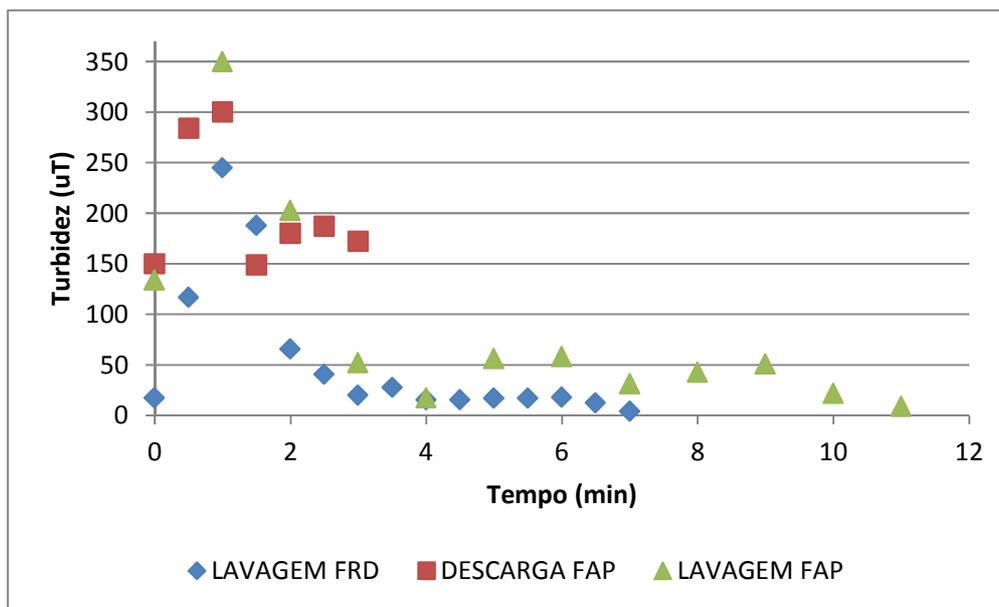
**Figura 5.16:** Volume de resíduo gerado por um módulo de Dupla Filtração da ETA Nova, durante a carreira completa do Filtro de Pedregulho.

Já para a ETA Antiga, conforme Figura 5.17, os dados de volume, representam a quantidade produzida no módulo em uma carreira completa do filtro descendente (62 horas), sendo que neste período o filtro ascendente é lavado 03 vezes. Como a vazão de lavagem para o filtro ascendente é bem maior do que o filtro descendente, é normal que a porcentagem de resíduos produzida pelo FAA (85%) ficasse superior ao do FRD (15%).



**Figura 5.17:** Volume de resíduo gerado por um módulo de Dupla Filtração da ETA Antiga, durante a carreira completa do Filtro de Areia.

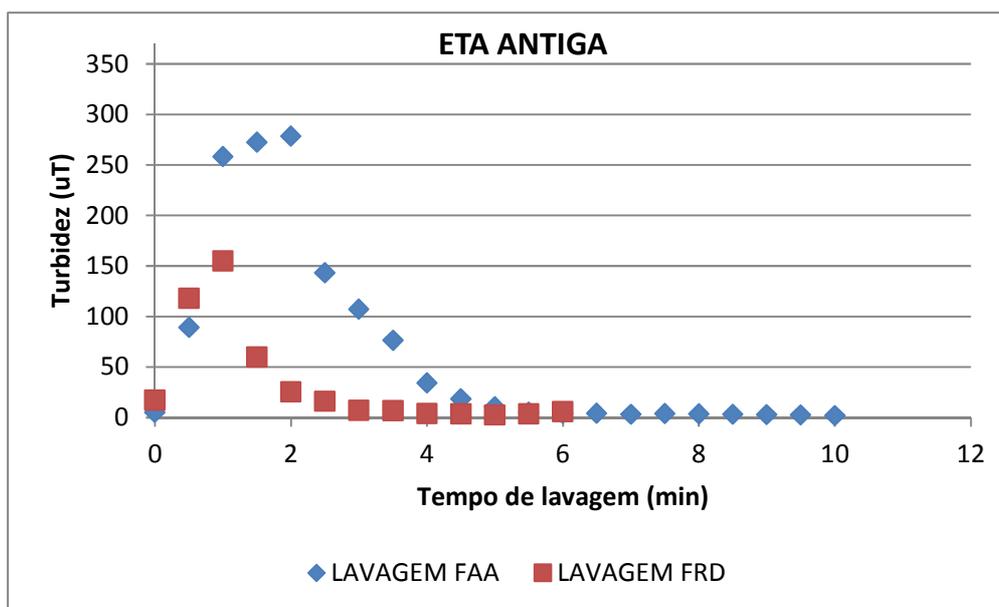
As figuras 5.18 e 5.19 mostram o comportamento, em termos de turbidez, durante a lavagem dos filtros, do resíduo gerado. Nota-se pela Figura 5.16 que na ETA Nova, tanto na lavagem do FAP, quanto na lavagem do FRD, os valores atingiram picos de turbidez de 350 uT e 245 uT respectivamente, após 1 min do início da lavagem. A partir desse momento, os valores diminuem bruscamente até se estabilizarem em valores médios em torno de 48 uT para o FAP e 16 uT para o FRD. Já para os dados da descarga de fundo do FAP não observa-se uma diminuição dos valores de turbidez durante o procedimento.



**Figura 5.18:** Valores de turbidez durante a execução da descarga de fundo e lavagem do FAP e lavagem do FRD na ETA Nova.

Observa-se que a descarga de fundo e as descargas de fundo intermediárias não estão sendo eficientes, com isso proporcionando o carreamento dos flocos do FAP para o FRD.

A Figura 5.19 apresenta a lavagem nos filtros da ETA Antiga, onde observa-se que a água descartada, tanto do FAA quanto do FRD, possuem valores muito baixos de turbidez ao atingirem metade do tempo de sua lavagem (5 e 4 min respectivamente).



**Figura 5.19:** Valores de turbidez durante a execução das lavagens do FAA e FRD na ETA Antiga.

Percebe-se que o FRD não está sendo eficiente, tendo, praticamente o mesmo comportamento do FAA.

### 5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE BANCADA COM POLÍMEROS

Neste item serão apresentados os dados dos ensaios de bancada para a clarificação dos resíduos da ETA. Conforme foi mostrado no capítulo anterior, foram avaliados polímeros sintéticos do tipo aniônico, catiônico e não iônico, de duas empresas diferentes (empresa A e B). Os ensaios foram realizados para as duas partes da ETA. Segue abaixo os resultados dos ensaios.

#### 5.3.1 Resultados da ETA Nova

As tabelas 5.4 a 5.9 mostram os valores de SST do sobrenadante e da água clarificada e do volume de lodo após decorridos 60 min, para dosagens de 0 a 8 mg / g SST dos seis tipos de polímeros selecionados.

**Tabela 5.4:** Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa A.

POLÍMERO NÃO IÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	201	210	205	208	220	215
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	26	15	12	11	14	12
SST do lodo adensado (mg/L)	175	195	193	197	206	203
Volume de lodo (mL)	22	26	27	28	25	27
SST do lodo adensado (mg/L)	7962	7500	7143	7036	8256	7519
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,80	0,75	0,71	0,70	0,83	0,75

**Tabela 5.5:** Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa B.

POLÍMERO NÃO IÔNICO - B	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	208	211	204	207	201	205
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	21	10	9	8	8	9
SST do lodo adensado (mg/L)	187	201	195	199	193	196
Volume de lodo (mL)	24	24	24	25	25	25
SST do lodo adensado (mg/L)	7792	8358	8142	7976	7700	7830
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,78	0,84	0,81	0,80	0,77	0,78

**Tabela 5.6:** Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa A.

POLÍMERO CATIÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	207	209	205	210	215	208
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	18	9	12	11	9	11
SST do lodo adensado (mg/L)	189	200	193	199	206	197
Volume de lodo (mL)	22	24	22	22	23	27
SST do lodo adensado (mg/L)	8591	8333	8773	9045	8957	7296
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,86	0,83	0,88	0,90	0,90	0,73

**Tabela 5.7:** Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa B.

POLÍMERO CATIÔNICO - B	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	198	203	206	214	199	202
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	22	16	1	1	1	1
SST do lodo adensado (mg/L)	176	187	205	213	198	201
Volume de lodo (mL)	23,5	30	30	32	30	28
SST do lodo adensado (mg/L)	7489	6242	6833	6656	6600	7179
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,75	0,62	0,68	0,67	0,66	0,72

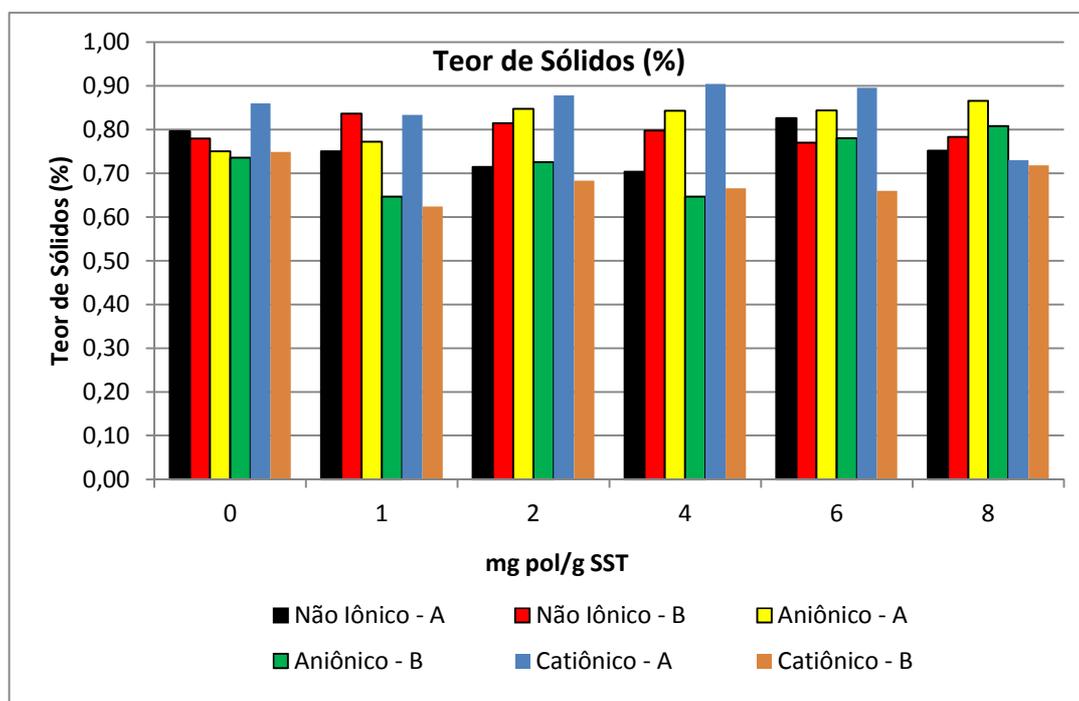
**Tabela 5.8:** Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa A

POLÍMERO ANIÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	212	204	213	219	201	205
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	32	11	10	8	7	6
SST do lodo adensado (mg/L)	180	193	203	211	194	199
Volume de lodo (mL)	24	25	24	25	23	23
SST do lodo adensado (mg/L)	7500	7720	8472	8427	8435	8652
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,75	0,77	0,85	0,84	0,84	0,87

**Tabela 5.9:** Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa B.

POLÍMERO ANIÔNICO - B	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	203	210	206	208	214	211
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	27	3	3	1	4	1
SST do lodo adensado (mg/L)	177	207	203	207	211	210
Volume de lodo (mL)	24	32	28	32	27	26
SST do lodo adensado (mg/L)	7354	6469	7250	6469	7796	8077
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,74	0,65	0,73	0,65	0,78	0,81

A Figura 5.20 resume o teor de sólidos obtido a partir da sedimentação com os polímeros utilizados.

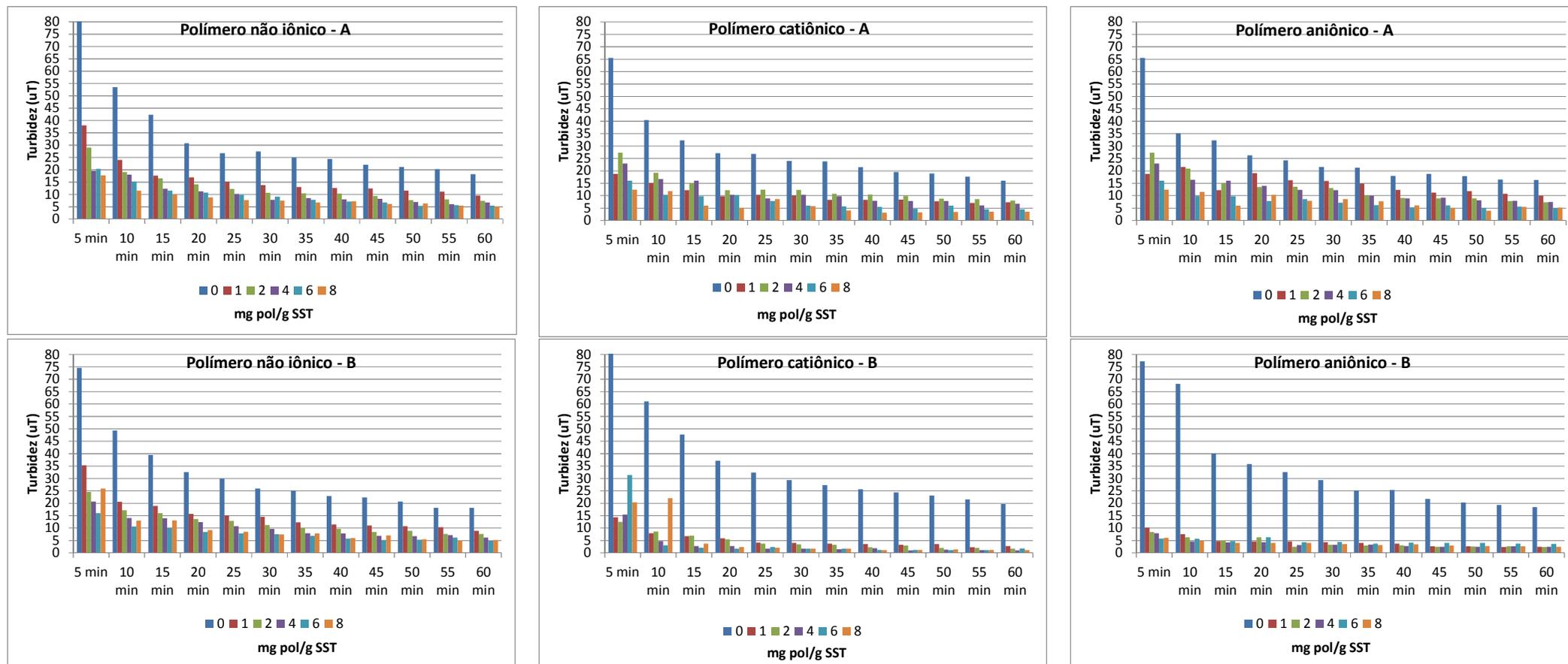
**Figura 5.20:** Teor de sólidos no lodo adensado após os ensaios de clarificação na ETA Nova.

Observando-se os dados das Tabelas 5.4 a 5.9 resumidos na Figura 5.20, percebe-se que o uso do polímero catiônico da empresa A resultou um lodo com teor de sólidos maior adensado, com 0,90%, com dosagem de 4 mg pol/g SST.

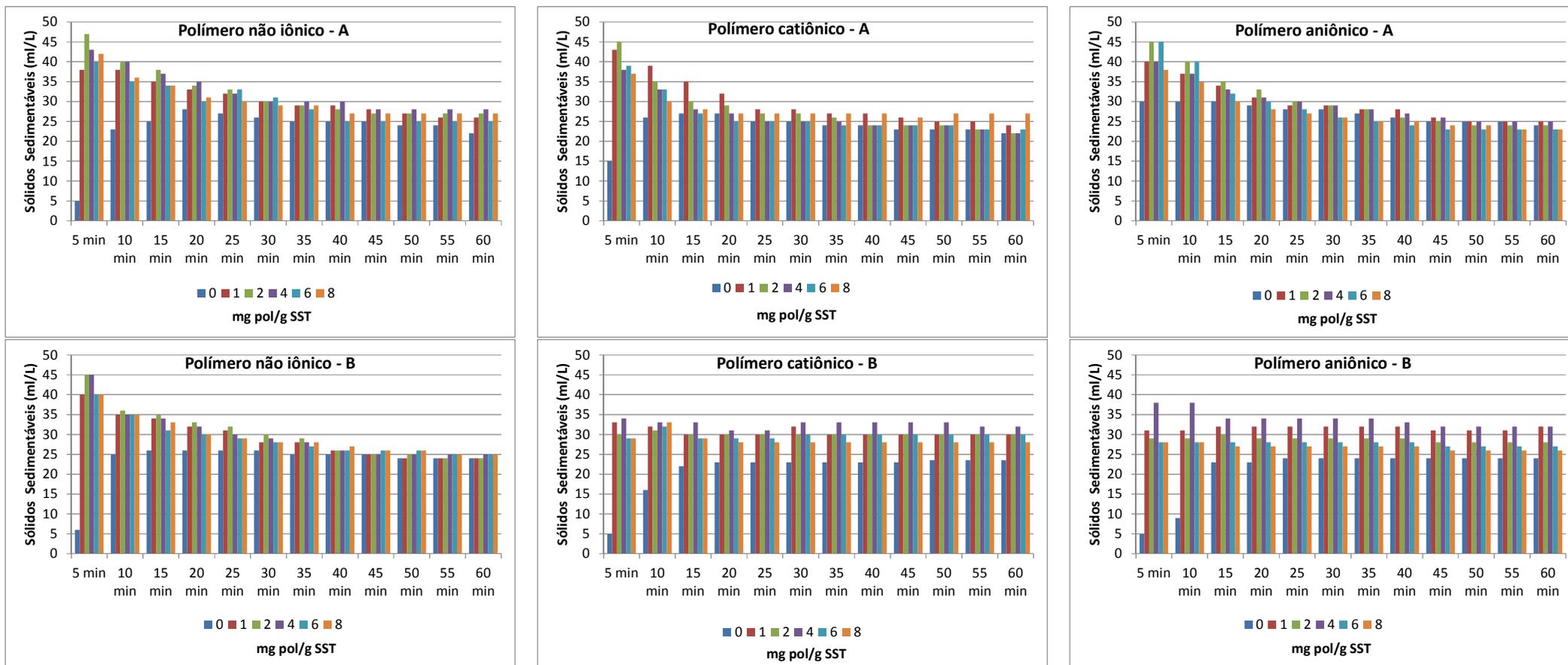
O polímero aniônico A também apresentou um índice compatível com o primeiro, com 0,87% só que com uma dosagem maior de polímero, 8 mg pol/g SST.

Esses valores, porém, encontram-se muito próximos dos valores encontrados nos jarros sem adição de polímero, que variaram de 0,86 a 0,75% para o catiônico A e o aniônico A, respectivamente, o que nos leva a perceber que somente uma análise de teor de sólidos não é suficiente para a percepção da eficiência do polímero.

As Figuras 5.21 e 5.22 apresentam os gráficos de valores de turbidez para a água de mistura da ETA Nova e o volume de SST obtidos com os polímeros das duas empresas, nas diferentes dosagens utilizadas.



**Figura 5.21:** Turbidez do sobrenadante (água clarificada) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Nova.



**Figura 5.22:** Sólidos Sedimentáveis no cone (volume de lodo) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Nova.

Na água do sobrenadante, percebe-se melhor redução de turbidez com os polímeros catiônicos e aniônicos, da empresa B.

A melhor clarificação ficou por conta do polímero catiônico B, variando de 15,4 a 1,02 uT aos 5 e 60 min, com dosagem de 4 mg pol/g SST.

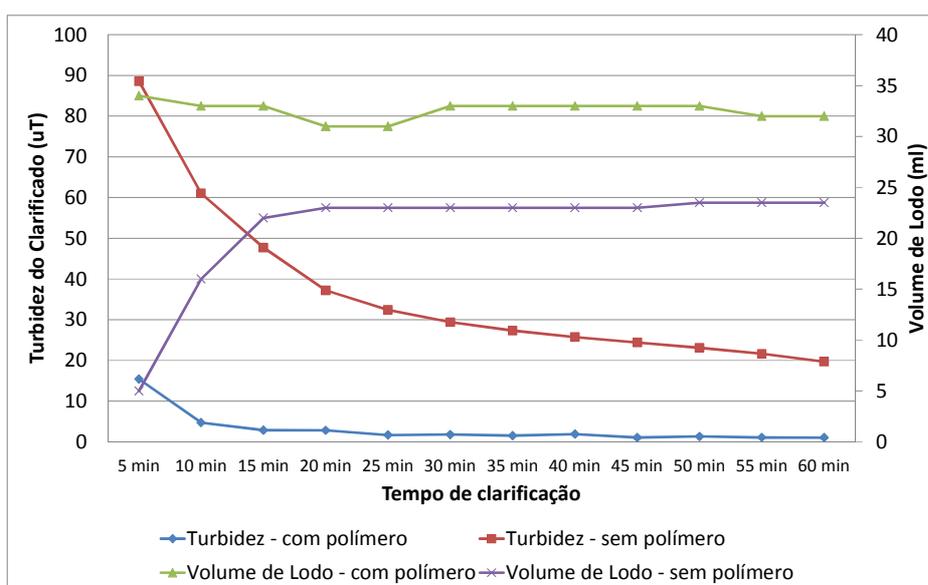
Nas mesmas condições de dosagem, o polímero aniônico B, mesmo finalizando os 60 min com valor de turbidez acima do polímero catiônico B, 2,43 uT contra 1,02 uT, iniciou o processo de clarificação com valores quase duas vezes menor do que a clarificação inicial do catiônico B, 7,89 uT para o A contra os 15,4 uT do B, fato importante na escolha do tamanho das unidades para projetos.

Os resultados mais altos ficaram por conta do polímero não iônico A, com valores variando de 17,7 a 5,06 uT na dosagem de 8 mg pol/g SST.

Sem a adição de polímero, a turbidez esteve na ordem de 80 a 16 uT. Nota-se que o menor valor de turbidez é compatível com a clarificação com o uso de polímero já nos 5 min do ensaio.

Na Figura 5.22 são abordados os teores de sólidos sedimentáveis no cone, onde o polímero aniônico B mostrou melhor adensamento aos 60 min, variando de 28 a 26 mL/L com a dosagem de 8 mg pol/g SST.

Abaixo, segue a Figura 5.23 que aborda o comportamento do polímero catiônico B na dosagem de 4 mg pol/g SST, escolhido como melhor alternativa.



**Figura 5.23:** Volume de lodo e turbidez do clarificado em função do tempo de clarificação/adensamento - Ensaio de clarificação e adensamento com e sem aplicação de polímero sintético dos Resíduos gerados na ETA Nova.

Nota-se que os valores de turbidez se destacam, estando, na maior parte do tempo, abaixo de 5 uT. Aos 5 min, com o uso do polímero, já se percebe redução de turbidez significativa, sendo este valor menor do que sem o uso de polímero no final do tempo previsto.

O comportamento dos sólidos com a adição do polímero nos mostra que o volume de lodo formado é maior, adensando melhor o sedimento.

### 5.3.2 Resultados da ETA Antiga

As tabelas 5.10 a 5.15 mostram os valores de SST do sobrenadante e da água clarificada e do volume de lodo após decorridos 60 min, para dosagens de 0 a 8 mg / g SST dos seis tipos de polímeros selecionados com a água de mistura da ETA Antiga.

**Tabela 5.10:** Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa A.

POLÍMERO NÃO IÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	102	105	100	106	101	105
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	33	19	7	5	5	6
SST do lodo adensado (mg/L)	69	86	93	101	96	99
Volume de lodo (mL)	12	15	17	17	19	18
SST do lodo adensado (mg/L)	5750	5733	5471	5941	5053	5500
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,58	0,57	0,55	0,59	0,51	0,55

**Tabela 5.11:** Resultados de sólidos com o polímero não iônico da empresa B.

POLÍMERO NÃO IÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	99	102	100	105	104	104
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	19	11	9	6	1	1
SST do lodo adensado (mg/L)	80	92	91	99	103	103
Volume de lodo (mL)	10,5	15	14	15	15	15
SST do lodo adensado (mg/L)	7643	6100	6482	6600	6867	6867
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,76	0,61	0,65	0,66	0,69	0,69

**Tabela 5.12:** Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa A.

POLÍMERO CATIÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	103	100	105	104	103	100
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	30	14	15	11	9	8
SST do lodo adensado (mg/L)	73	86	90	93	94	92
Volume de lodo (mL)	11	15	13	16	16	18
SST do lodo adensado (mg/L)	6636	5733	6923	5788	5888	5122
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,66	0,57	0,69	0,58	0,59	0,51

**Tabela 5.13:** Resultados de sólidos com o polímero catiônico da empresa B

POLÍMERO CATIÔNICO - B	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	105	104	100	103	103	100
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	19	9	2	2	1	4
SST do lodo adensado (mg/L)	86	95	98	101	102	96
Volume de lodo (mL)	10	14	13	12	10	7
SST do lodo adensado (mg/L)	8600	6768	7538	8417	10175	13750
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,86	0,68	0,75	0,84	1,02	1,38

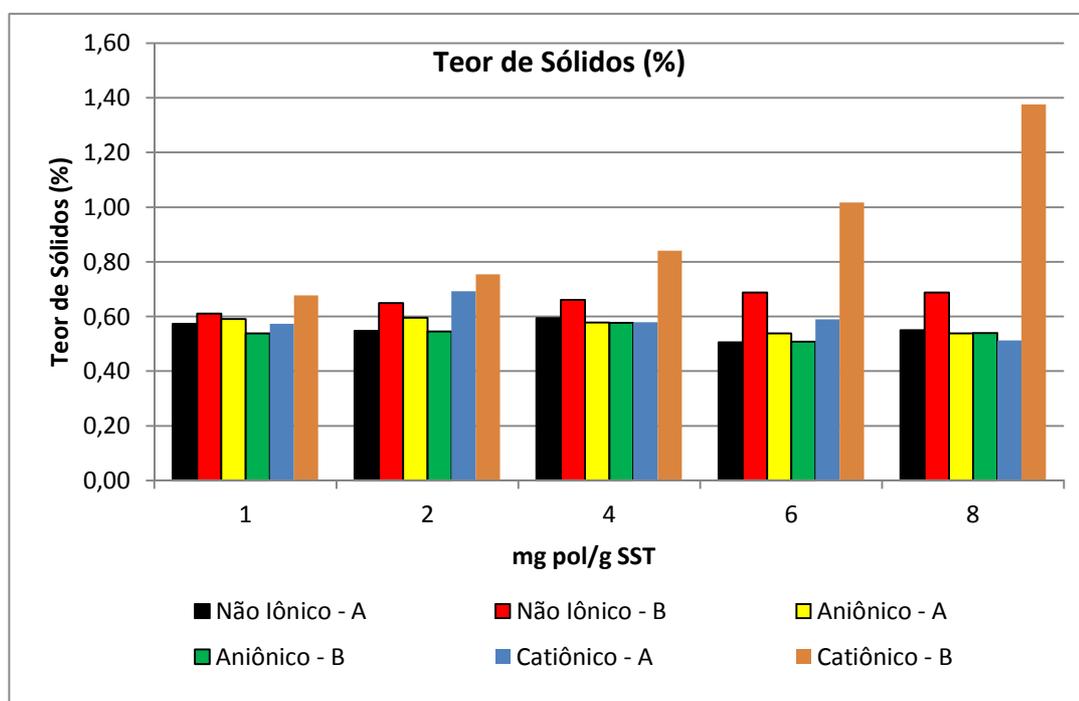
**Tabela 5.14:** Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa A

POLÍMERO ANIÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	100	103	106	106	103	103
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	20	2,555556	4,75	2	1	1
SST do lodo adensado (mg/L)	80	100	101	104	102	102
Volume de lodo (mL)	10,5	17	17	18	19	19
SST do lodo adensado (mg/L)	7619	5908	5956	5778	5386	5386
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,76	0,59	0,60	0,58	0,54	0,54

**Tabela 5.15:** Resultados de sólidos com o polímero aniônico da empresa B

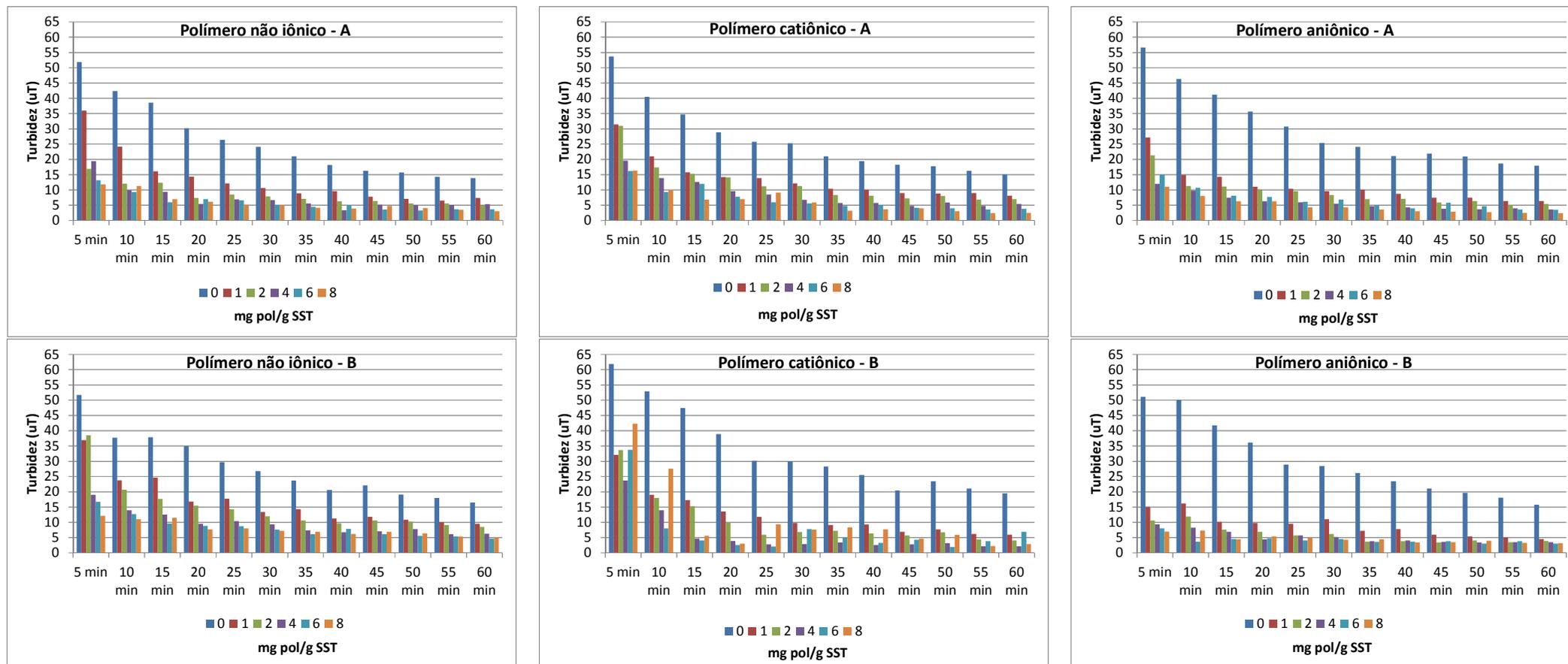
POLÍMERO ANIÔNICO - A	(mg polímero / g SST)					
	0	1	2	4	6	8
SST após aplicação de polímero (mg/L)	103	112	111	112	110	108
SST do sobrenadante (água clarificada) (mg/L)	29	4	2	3	4	6
SST do lodo adensado (mg/L)	75	108	109	110	107	103
Volume de lodo (mL)	10	20	20	19	21	19
SST do lodo adensado (mg/L)	7476	5375	5454	5763	5071	5395
Teor de SST do lodo adensado (%)	0,75	0,54	0,55	0,58	0,51	0,54

O teor de sólidos apresentado na Figura 5.24, resumo das Tabelas 5.10 a 5.15, mostra claramente o polímero catiônico B como o de melhor índice de lodo adensado, sendo 1,08 na dosagem de 6 mg pol/g SST e 1,38 na dosagem de 8 mg pol/g SST.

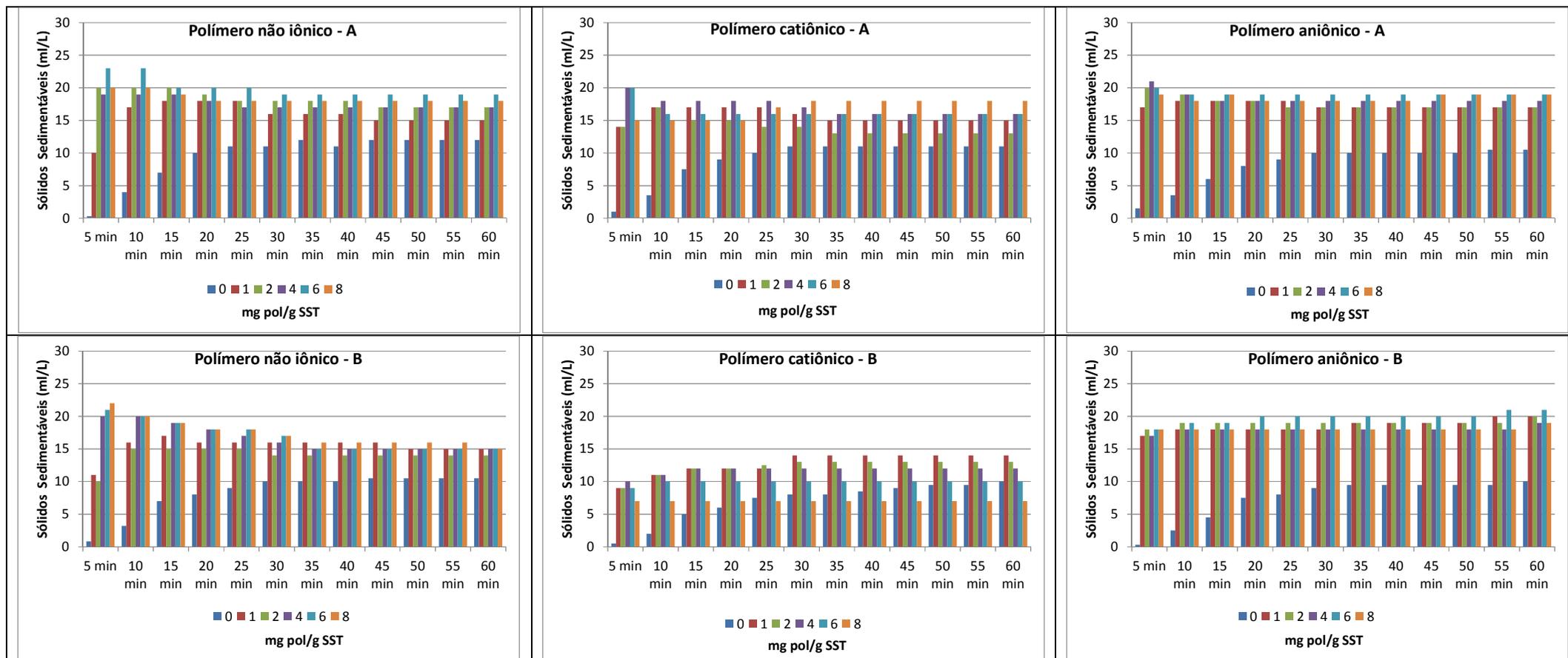
**Figura 5.24:** Teor de sólidos no lodo adensado após os ensaios de clarificação

Neste ensaio, o teor de sólidos com a adição de polímeros mostrou bastante relevância se comparado com o jarro sem adição de polímero, que, no caso do polímero catiônico B, teve teor de sólidos na ordem de 0,86%.

As Figuras 5.25 e 5.26 apresentam os gráficos de valores de turbidez para a água de mistura da ETA Antiga e o volume de SST obtidos com os polímeros das duas empresas, nas diferentes dosagens utilizadas.



**Figura 5.25:** Turbidez do sobrenadante (água clarificada) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Antiga.



**Figura 5.26:** Sólidos Sedimentáveis no cone (volume de lodo) com os polímeros não iônico, catiônico e aniônico da ETA Antiga.

Através dos gráficos da Figura 5.25 percebe-se melhor redução de turbidez com os polímeros catiônicos e aniônicos, tanto da empresa A quanto da empresa B.

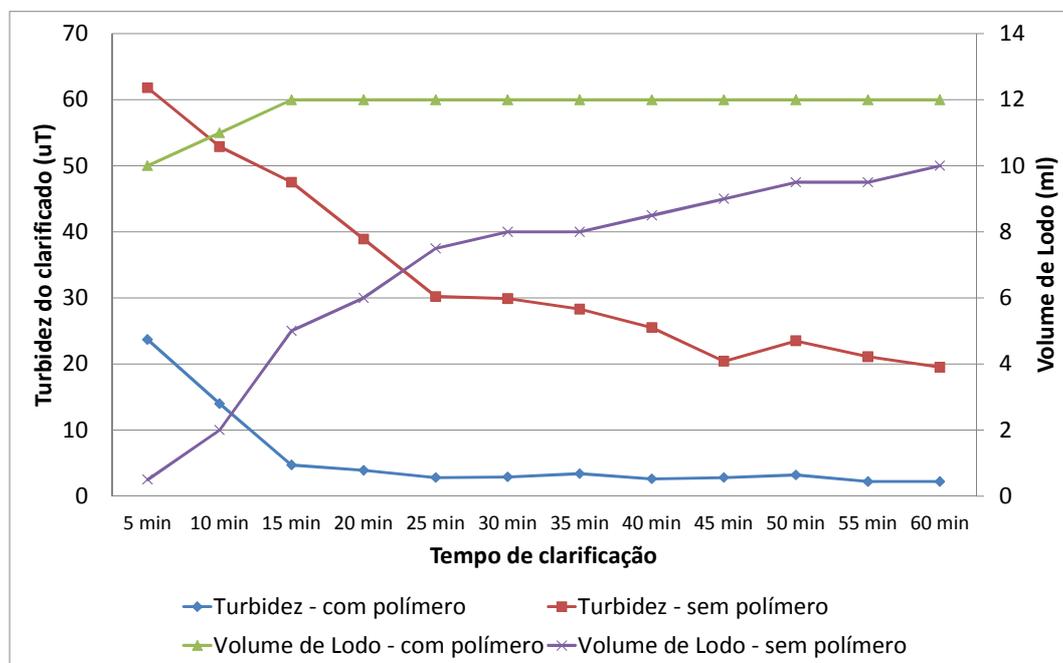
A melhor dosagem foi apresentada com o polímero catiônico B, com 4 mg pol/g SST obtendo-se uma variação de 23,7 a 2,2 uT no tempo de 5 a 60 min, obtendo também a melhor clarificação, 2,2 uT.

Os polímeros catiônico e aniônico da empresa A também apresentaram resultados finais compatíveis com o citado acima, sendo o primeiro de 16,4 a 2,5 uT e o segundo 11 a 2,4 uT, porém com a dosagem de 8 mg pol/g SST.

Uma boa representatividade foi constatada com o polímero aniônico da empresa B, que, já aos 5 min, apresentou 8 uT, porém ao final dos 60 min a clarificação estava com 3,0 uT.

Para os valores de água sem a adição de polímero, a turbidez esteve na ordem de 61,5 a 13,9 uT, valores bem maiores que os com uso de qualquer tipo de polímero, o que demonstra a eficiência do uso de polímeros sintéticos.

A Figura 5.27 mostra que o melhor adensamento aconteceu com o polímero catiônico da empresa B, onde obteve-se valor constante ao longo do tempo de 7 mL/L, neste caso, com a dosagem de 8 mg pol/g SST.



**Figura 5.27:** Volume de lodo e turbidez do clarificado em função do tempo de clarificação/adensamento - Ensaio de clarificação e adensamento com e sem aplicação de polímero sintético dos Resíduos gerados na ETA Antiga.

Através do gráfico percebe-se que os valores de turbidez se estabilizam a partir dos 15 min, estando até o final dos ensaios, abaixo de 5 uT.

A turbidez, no caso deste polímero, variou de 23,7 a 2,2 uT, mas já aos 15 min apresentava valores abaixo de 5 uT, indo de 4,9 aos 2,2 uT finais.

A curva de sólidos nos mostra o adensamento também a partir dos 15 min, onde, sem o uso de polímero, variou de 0,5 a 10 mL/L e com o uso do polímero de 10 a 12 mL/L.

Com o adensamento num tempo de operação menor, é possível a realização de unidades de projeto menores, diminuindo a área útil das unidades e otimizando a operação dos sistemas.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, conclui-se que:

- Em relação às carreiras de filtração da ETA Nova, os filtros de pedregulho apresentaram problemas operacionais com o desprendimento de grande quantidade de sólidos após o término das descargas intermediárias e das lavagens, provocando assim, um carreamento de lodo para o filtro descendente ocasionando a diminuição das carreiras deste.
- Na ETA Antiga, percebe-se que as impurezas são retidas somente no filtro ascendente de areia (FAA), pois os valores de turbidez no filtro rápido descendente (FRD) não reduzem ao longo da lavagem.
- Os metais: alumínio, ferro e manganês, mantiveram-se dentro dos valores esperados.
- O polímero que mostrou melhor resultado na clarificação dos resíduos na ETA foi o catiônico da empresa B.
- Em relação ao adensamento de lodo, o polímero catiônico das empresas A e B, apresentaram os melhores resultados.
- O uso de polímeros na clarificação da água de lavagem dos filtros de dupla filtração da ETA de Porto Nacional, mostrou-se bastante eficiente, pois além de resultar em menor valor de turbidez no sobrenadante com conseqüente melhor qualidade microbiológica do mesmo, acarretará em uma melhora no desaguamento do lodo nas lagoas de decantação.
- A velocidade de sedimentação do lodo com polímero se mostrou mais vantajosa, proporcionando otimização do tempo operacional, podendo recircular o sobrenadante mais rapidamente para a estação de tratamento, deixando a unidade pronta para novo recebimento de resíduo e reorganizando a área utilizada para as lagoas, podendo ser substituída por unidades menores.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que os responsáveis pela operação da ETA de Porto Nacional realizem testes investigativos por meio de ensaio de jarreste para determinar as melhores condições de coagulação, visando diminuir a dosagem do coagulante e conseqüentemente o desprendimento de flocos no filtro de pedregulho.
- Realizar o procedimento estipulado em projeto, para as descargas de fundo intermediárias (DFI) e finais (DFF) no FAP (ETA Nova) a fim de diminuir o carreamento de flocos para o FRD.
- Obedecer aos critérios de lavagem por perda de carga nos FRDs da ETA Nova, reduzindo o tempo de lavagem e melhorando a turbidez de saída.
- Verificar a possibilidade de diminuição do tempo de lavagem do FAA da ETA Antiga, já que, praticamente na metade do tempo utilizado, os valores de turbidez se estabilizam.
- Inspeccionar o leito filtrante e fundo falso do FRD da ETA Antiga, a fim de perceber inconsistências operacionais, já que o mesmo não está apresentando eficiência na lavagem.
- Realizar novos testes com o polímero escolhido para a busca da dosagem ideal.
- Fazer uso de polímero antes da entrada nas lagoas, a fim de melhorar o tempo de sedimentação e realizar estudo técnico-econômico para reestruturação da área das lagoas existentes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C. L. Ecoeficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001. 235p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

APHA, AWWA, WPCF (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th edition, Washington, USA.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004) – ABNT. NBR - 10.004 Resíduos Sólidos - Classificação.

BRAGA, F. M. G.; CORDEIRO, B. S.; BRANDÃO, C. C. S. Dupla filtração em filtros ascendentes de pedregulho e filtros descendentes de areia aplicada à remoção de algas: influência da granulometria do filtro de areia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2007, Belo Horizonte-MG. Anais. ABES, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Portaria N° 2.914. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL, Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 15 p.

CETESB. Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água, Vol. 2, São Paulo, 1979.

CORDEIRO, J. S. Importância do Tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs Cap.1.ABES-RiMa, 1999. Projeto PROSAB.

CORDEIRO, J. S. Problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água.1993. Tese (Mestre em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. (2002). Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Carlos, Editora RiMa, 237 p.

DI BERNARDO, L. (coord.) Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Rio de Janeiro: ABES-RiMa, 2003. 498 p, Projeto PROSAB.

DI BERNARDO, L. DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Ed. Rima, São Carlos – SP, 2005. Vol. 1.792 p Vol. 2.792 p.

DI BERNARDO, L. DANTAS, A. D. B; VOLTAN, P.E.N. Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. Editora LDiBe, 540 p. São Carlos – SP, 2012.

DI BERNARDO, L. DANTAS, A. D. B; VOLTAN, P.E.N. Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. Editora LDiBe, 454 p. São Carlos – SP, 2011.

DI BERNARDO, L.SABOGAL PAZ, L.P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Editora LDIBE LTDA, São Carlos – SP, 2008. Vol. 1 878p Vol. 2 682p.

DE PAULA, D. Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando a filtração ascendente de areia grossa. 2003. 117f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DANTAS, A. D. B. Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada. 2004. 301f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FERREIRA FILHO, S.S. Pré-Condicionamento de lodos de Estações de Tratamento de Água visando o seu adensamento por gravidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19º., 1997, Foz do Iguaçu-PR. Anais. ABES, 1997.

GUIMARÃES, G.C. Estudo do Adensamento e Desidratação dos Resíduos na ETA-Brasília. 2007. 118f. Tese (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília. DF.

KURODA, E. K. Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração. 2002. 238 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

KURODA, E. K. Remoção de células e subprodutos de *microcystis spp.* por dupla filtração, oxidação e adsorção. 2006. 267f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MONDARDO, R. I.; SENS, L. M.; MELO FILHO, L. C. Pré-Tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.11, n 4, p. 337-342, Out/Dez. 2006.

MEGDA, C. R. Filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente. 1999. 170f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MENDES, R. L.; FERREIRA FILHO, S.S.; SCIAN, J.B. Desaguamento mecânico por filtro prensa de placas de lodos gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 21°. 2001. Anais. ABES: João Pessoa-PA. 2001.

QUEIROZ, S. C. B. Utilização da dupla filtração, oxidação e adsorção com carvão ativado em pó no tratamento de água eutrofizada. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

REALI, M.A.P. (coord.) Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro. ABES-RiMa, 1999. 240p. Projeto PROSAB.

RIBEIRO, F.L.M. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito-MG. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio e Ouro Preto. Minas Gerais.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2001.

SAMUDIO, E. M. M., Critério racional para dimensionamento de leitos de secagem de lodo de ETE's convencionais e do reator UASB. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.

SALES, M. V. Tratamento de água eutrofizada através de dupla filtração e oxidação 2005. 259 p. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. UFC.

SARON, A.; LEITE, V.M.B. Quantificação de lodo em Estação de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º., 2001, João Pessoa-PA. Anais. ABES, 2001.

SILVA, G. G. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente). Universidade Federal do Tocantins.

SOUZA, C. A. Adensamento mecânico e desidratação por filtro prensa de esteira de lodos gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 21º. 2001. Anais. ABES: João Pessoa-PA. 2001.

TSUTIYA. M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações e tratamento de água do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 21º. 2001. Anais. ABES: João Pessoa-PA. 2001.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 6ª ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WIECHETECK, G. K.; BENINE, B. D. S.; DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas utilizando dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa ou de pedregulho. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.9, n 2, p. 156-164, Abr/Jun 2004.

## **ANEXO A**

Dados de bancada ETA Nova

**Tabela A1:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não-iônico A

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	111,0	38,0	29,0	19,6	20,4	17,7
10	53,5	24,0	19,1	18,0	15,2	11,6
15	42,3	17,6	16,5	12,3	11,5	10,1
20	30,7	16,9	14,1	11,3	10,8	8,8
25	26,7	15,2	12,2	10,2	9,9	7,8
30	27,4	13,8	10,6	7,9	9,1	7,5
35	25,0	13,0	10,5	8,4	7,9	6,7
40	24,4	12,6	10,4	8,0	7,1	7,2
45	22,0	12,4	9,3	8,1	6,7	6,1
50	21,2	11,6	7,7	7,0	5,4	6,3
55	20,3	11,1	8,0	6,1	5,7	5,4
60	18,2	9,6	7,4	6,7	5,5	5,1

**Tabela A2:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não-iônico B

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	74,6	35,3	24,6	20,7	16,0	25,9
10	49,4	20,6	17,2	14,1	10,6	13,0
15	39,5	18,9	16,0	14,0	10,1	13,1
20	32,6	15,7	13,7	12,4	8,4	9,2
25	30,0	15,2	12,9	10,8	7,9	8,5
30	25,9	14,5	11,3	9,7	7,5	7,5
35	25,1	12,3	10,0	7,9	6,9	7,8
40	23,0	11,4	9,7	7,8	5,8	6,0
45	22,4	11,1	8,4	6,9	5,2	7,1
50	20,7	10,8	8,9	6,8	5,3	5,5
55	18,1	10,4	7,7	7,2	6,2	5,0
60	18,2	9,0	7,6	6,2	4,8	5,2

**Tabela A3:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A

TURBIDEZ (uT)						
tempo min	Dosagem mgpol/gSST					
	0	1	2	4	6	8
5	65,5	18,8	27,3	23,0	16,0	12,4
10	40,5	15,1	19,2	16,7	10,4	11,8
15	32,3	12,2	15,1	16,0	9,8	6,0
20	27,1	9,8	12,2	10,4	10,2	5,1
25	26,9	10,4	12,4	8,9	7,8	8,6
30	24,0	10,1	12,3	10,4	6,0	5,8
35	23,8	8,3	10,8	9,8	5,7	4,1
40	21,5	8,3	10,5	8,0	5,5	3,2
45	19,5	8,4	9,9	7,8	4,7	3,3
50	18,9	7,8	8,8	7,8	6,0	3,4
55	17,7	7,0	8,6	6,0	4,6	3,5
60	16,0	7,4	8,0	6,8	4,5	3,5

**Tabela A4:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B

TURBIDEZ (uT)						
tempo min	Dosagem mgpol/gSST					
	0	1	2	4	6	8
5	88,6	14,4	12,5	15,4	31,4	20,4
10	61,0	7,9	8,7	4,7	3,0	22,1
15	47,7	6,8	7,0	2,8	2,1	3,8
20	37,2	5,9	5,5	2,8	1,7	2,4
25	32,4	4,1	3,8	1,7	2,4	2,1
30	29,4	4,1	3,5	1,8	1,7	1,7
35	27,3	3,7	3,3	1,5	1,7	1,7
40	25,7	3,5	2,3	1,9	1,3	1,1
45	24,4	3,2	3,0	1,0	1,3	1,2
50	23,1	3,6	2,1	1,3	1,1	1,4
55	21,6	2,3	2,0	1,1	1,2	1,3
60	19,7	2,8	1,7	1,0	1,8	1,1

**Tabela A5:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A

TURBIDEZ (uT)						
tempo min	Dosagem mgpol/gSST					
	0	1	2	4	6	8
5	65,5	18,8	27,3	23,0	16,0	12,4
10	35,1	21,6	20,9	16,4	9,9	11,5
15	32,3	12,2	15,1	16,0	9,8	6,0
20	26,2	19,0	13,5	14,0	7,9	10,4
25	24,2	16,2	13,6	12,3	8,7	7,9
30	21,6	15,9	13,1	12,2	7,1	8,6
35	21,3	14,8	10,2	10,0	6,2	7,7
40	18,0	12,3	9,1	8,9	5,4	6,0
45	18,7	11,2	9,0	9,2	6,1	5,1
50	17,9	11,9	8,9	8,2	5,1	4,0
55	16,5	10,8	7,8	8,0	5,6	5,5
60	16,3	10,0	7,4	7,4	5,0	5,2

**Tabela A6:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B

TURBIDEZ (uT)						
tempo min	Dosagem mgpol/gSST					
	0	1	2	4	6	8
5	77,2	10,2	8,4	7,9	5,7	6,1
10	68,1	7,5	6,2	4,6	5,7	5,0
15	40,1	4,8	5,2	4,2	4,7	4,1
20	35,8	4,6	6,3	4,4	6,2	4,0
25	32,6	4,6	2,5	3,2	4,4	4,0
30	29,4	4,3	3,2	3,2	4,4	3,6
35	25,2	4,1	3,0	3,4	3,7	3,1
40	25,4	3,8	3,0	2,8	4,1	3,4
45	21,8	2,7	2,4	2,5	4,0	3,0
50	20,3	2,6	2,6	2,4	4,0	2,8
55	19,4	2,4	2,7	2,7	3,8	2,7
60	18,5	2,5	2,3	2,4	3,7	2,5

**Tabela A7:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico A

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	5,0	38,0	47,0	43,0	40,0	42,0
10	23,0	38,0	40,0	40,0	35,0	36,0
15	25,0	35,0	38,0	37,0	34,0	34,0
20	28,0	33,0	34,0	35,0	30,0	31,0
25	27,0	32,0	33,0	32,0	33,0	30,0
30	26,0	30,0	30,0	30,0	31,0	29,0
35	25,0	29,0	29,0	30,0	28,0	29,0
40	25,0	29,0	28,0	30,0	25,0	27,0
45	25,0	28,0	27,0	28,0	25,0	27,0
50	24,0	27,0	27,0	28,0	25,0	27,0
55	24,0	26,0	27,0	28,0	25,0	27,0
60	22,0	26,0	27,0	28,0	25,0	27,0

**Tabela A8:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico B

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	6,0	40,0	45,0	45,0	40,0	40,0
10	25,0	35,0	36,0	35,0	35,0	35,0
15	26,0	34,0	35,0	34,0	31,0	33,0
20	26,0	32,0	33,0	32,0	30,0	30,0
25	26,0	31,0	32,0	30,0	29,0	29,0
30	26,0	28,0	30,0	29,0	28,0	28,0
35	25,0	28,0	29,0	28,0	27,0	28,0
40	25,0	26,0	26,0	26,0	26,0	27,0
45	25,0	25,0	25,0	25,0	26,0	26,0
50	24,0	24,0	25,0	25,0	26,0	26,0
55	24,0	24,0	24,0	25,0	25,0	25,0
60	24,0	24,0	24,0	25,0	25,0	25,0

**Tabela A9:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	15,0	43,0	45,0	38,0	39,0	37,0
10	26,0	39,0	35,0	33,0	33,0	30,0
15	27,0	35,0	30,0	28,0	27,0	28,0
20	27,0	32,0	29,0	27,0	25,0	27,0
25	25,0	28,0	27,0	25,0	25,0	27,0
30	25,0	28,0	27,0	25,0	25,0	27,0
35	24,0	27,0	26,0	25,0	24,0	27,0
40	24,0	27,0	24,0	24,0	24,0	27,0
45	23,0	26,0	24,0	24,0	24,0	26,0
50	23,0	25,0	24,0	24,0	24,0	27,0
55	23,0	25,0	23,0	23,0	23,0	27,0
60	22,0	24,0	22,0	22,0	23,0	27,0

**Tabela A10:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	5,0	33,0	30,0	34,0	29,0	29,0
10	16,0	32,0	31,0	33,0	32,0	33,0
15	22,0	30,0	30,0	33,0	29,0	29,0
20	23,0	30,0	30,0	31,0	29,0	28,0
25	23,0	30,0	30,0	31,0	29,0	28,0
30	23,0	32,0	30,0	33,0	30,0	28,0
35	23,0	30,0	30,0	33,0	30,0	28,0
40	23,0	30,0	30,0	33,0	30,0	28,0
45	23,0	30,0	30,0	33,0	30,0	28,0
50	23,5	30,0	30,0	33,0	30,0	28,0
55	23,5	30,0	30,0	32,0	30,0	28,0
60	23,5	30,0	30,0	32,0	30,0	28,0

**Tabela A11:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	30,0	40,0	45,0	40,0	45,0	38,0
10	30,0	37,0	40,0	37,0	40,0	35,0
15	30,0	34,0	35,0	33,0	32,0	30,0
20	29,0	31,0	33,0	31,0	30,0	28,0
25	28,0	29,0	30,0	30,0	28,0	27,0
30	28,0	29,0	29,0	29,0	26,0	26,0
35	27,0	28,0	28,0	28,0	25,0	25,0
40	26,0	28,0	26,0	27,0	24,0	25,0
45	25,0	26,0	25,0	26,0	23,0	24,0
50	25,0	25,0	24,0	25,0	23,0	24,0
55	25,0	25,0	24,0	25,0	23,0	23,0
60	24,0	25,0	24,0	25,0	23,0	23,0

**Tabela A12:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	5,0	31,0	29,0	38,0	28,0	28,0
10	9,0	31,0	29,0	38,0	28,0	28,0
15	23,0	32,0	30,0	34,0	28,0	27,0
20	23,0	32,0	29,0	34,0	28,0	27,0
25	24,0	32,0	29,0	34,0	28,0	27,0
30	24,0	32,0	29,0	34,0	28,0	27,0
35	24,0	32,0	29,0	34,0	28,0	27,0
40	24,0	32,0	29,0	33,0	28,0	27,0
45	24,0	31,0	28,0	32,0	27,0	26,0
50	24,0	31,0	28,0	32,0	27,0	26,0
55	24,0	31,0	28,0	32,0	27,0	26,0
60	24,0	32,0	28,0	32,0	27,0	26,0

## **ANEXO B**

Dados de bancada ETA Antiga

**Tabela B1:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico A

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	51,9	36,0	16,9	19,4	13,2	11,8
10	42,4	24,2	12,1	10,0	9,3	11,3
15	38,6	16,1	12,4	9,4	6,0	7,0
20	30,2	14,4	7,4	5,4	7,0	6,1
25	26,4	12,2	8,5	6,9	6,6	5,2
30	24,1	10,6	7,9	6,7	5,1	5,1
35	21,0	8,9	7,1	5,6	4,5	4,2
40	18,2	9,6	6,3	3,3	4,9	3,9
45	16,3	7,8	6,4	5,2	3,6	4,8
50	15,7	7,1	5,6	5,0	3,3	4,1
55	14,3	6,5	5,6	5,1	3,7	3,5
60	13,9	7,4	4,9	5,3	3,7	3,0

**Tabela B2:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico B

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	51,7	36,9	38,5	19,0	16,7	12,2
10	37,7	23,8	20,7	14,0	12,7	11,0
15	37,9	24,6	17,7	12,5	9,6	11,5
20	35,0	16,8	15,5	9,5	8,8	7,7
25	29,7	17,8	14,3	10,4	8,7	8,0
30	26,8	13,4	12,0	9,4	7,6	7,2
35	23,7	14,3	10,6	7,4	6,1	6,9
40	20,6	11,3	9,7	6,7	7,9	6,2
45	22,1	11,8	10,6	7,1	6,1	6,9
50	19,1	10,9	10,3	7,8	5,6	6,4
55	18,0	10,1	9,1	6,1	5,4	5,3
60	16,5	9,5	8,5	6,3	4,7	5,0

**Tabela B3:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	53,7	31,5	31,0	19,6	16,2	16,4
10	40,5	21,0	17,4	13,9	9,3	9,9
15	34,7	15,8	15,3	12,6	12,0	6,8
20	28,8	14,2	14,1	9,6	7,8	7,0
25	25,8	13,9	11,2	8,5	6,0	9,1
30	25,3	12,2	11,3	6,7	5,6	5,9
35	21,0	10,4	8,4	5,7	4,8	3,2
40	19,4	10,1	8,1	5,7	5,1	3,7
45	18,3	9,0	7,2	4,8	4,2	4,0
50	17,8	8,8	8,0	5,9	4,0	3,0
55	16,3	9,0	6,8	4,8	3,6	2,4
60	15,1	8,1	7,0	5,4	3,8	2,5

**Tabela B4:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	61,8	32,1	33,7	23,7	33,8	42,3
10	52,9	19,0	18,0	14,0	8,0	27,6
15	47,5	17,3	15,3	4,7	4,1	5,6
20	38,9	13,6	9,9	3,9	2,6	3,0
25	30,2	11,8	6,0	2,8	2,1	9,4
30	29,9	9,8	6,8	2,9	7,8	7,6
35	28,3	9,1	7,2	3,4	5,0	8,4
40	25,5	9,3	6,4	2,6	3,3	7,7
45	20,4	6,9	5,7	2,8	4,3	4,7
50	23,5	7,7	6,7	3,2	1,9	5,9
55	21,1	6,2	4,4	2,2	3,8	2,3
60	19,5	6,0	4,1	2,2	6,9	2,9

**Tabela B5:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	56,6	27,2	21,3	12,0	15,0	11,0
10	46,3	14,9	11,3	9,8	10,7	8,0
15	41,2	14,3	11,1	7,5	8,1	6,3
20	35,7	11,0	10,2	6,3	7,7	6,3
25	30,7	10,4	9,6	6,0	6,1	4,3
30	25,4	9,6	8,4	5,5	6,8	4,3
35	24,1	10,1	7,0	4,7	5,0	3,6
40	21,1	8,7	7,1	4,3	4,0	3,0
45	21,9	7,5	5,9	3,8	5,8	2,9
50	20,9	7,5	6,4	3,7	4,7	2,7
55	18,6	6,4	5,1	4,0	3,6	2,5
60	17,9	6,4	5,4	3,6	3,5	2,4

**Tabela B6:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B

<b>TURBIDEZ (uT)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	51,1	15,1	10,6	9,4	8,0	7,0
10	50,1	16,2	11,9	8,3	3,7	7,3
15	41,8	10,2	7,6	6,9	4,6	4,5
20	36,1	9,8	6,9	4,5	4,8	5,4
25	28,9	9,5	5,7	5,7	4,1	4,9
30	28,4	11,0	6,2	5,2	4,6	4,3
35	26,2	7,2	3,7	3,8	3,6	4,5
40	23,5	7,8	3,8	4,1	3,7	3,4
45	21,1	6,0	3,4	3,6	3,8	3,5
50	19,7	5,4	4,1	3,4	3,0	4,0
55	18,1	5,1	3,5	3,5	3,8	3,3
60	15,8	4,6	3,9	3,5	3,0	3,2

**Tabela B7:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico A

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	0,3	10,0	20,0	19,0	23,0	20,0
10	4,0	17,0	20,0	19,0	23,0	20,0
15	7,0	18,0	20,0	19,0	20,0	19,0
20	10,0	18,0	19,0	18,0	20,0	18,0
25	11,0	18,0	18,0	17,0	20,0	18,0
30	11,0	16,0	18,0	17,0	19,0	18,0
35	12,0	16,0	18,0	17,0	19,0	18,0
40	11,0	16,0	18,0	17,0	19,0	18,0
45	12,0	15,0	17,0	17,0	19,0	18,0
50	12,0	15,0	17,0	17,0	19,0	18,0
55	12,0	15,0	17,0	17,0	19,0	18,0
60	12,0	15,0	17,0	17,0	19,0	18,0

**Tabela B8:** Dados dos ensaios de bancada com polímero não iônico B

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	0,8	11,0	10,0	20,0	21,0	22,0
10	3,2	16,0	15,0	20,0	20,0	20,0
15	7,0	17,0	15,0	19,0	19,0	19,0
20	8,0	16,0	15,0	18,0	18,0	18,0
25	9,0	16,0	15,0	17,0	18,0	18,0
30	10,0	16,0	14,0	16,0	17,0	17,0
35	10,0	16,0	14,0	15,0	15,0	16,0
40	10,0	16,0	14,0	15,0	15,0	16,0
45	10,5	16,0	14,0	15,0	15,0	16,0
50	10,5	15,0	14,0	15,0	15,0	16,0
55	10,5	15,0	14,0	15,0	15,0	16,0
60	10,5	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0

**Tabela B9:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico A

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	1,0	14,0	14,0	20,0	20,0	15,0
10	3,5	17,0	17,0	18,0	16,0	15,0
15	7,5	17,0	15,0	18,0	16,0	15,0
20	9,0	17,0	15,0	18,0	16,0	15,0
25	10,0	17,0	14,0	18,0	16,0	17,0
30	11,0	16,0	14,0	17,0	16,0	18,0
35	11,0	15,0	13,0	16,0	16,0	18,0
40	11,0	15,0	13,0	16,0	16,0	18,0
45	11,0	15,0	13,0	16,0	16,0	18,0
50	11,0	15,0	13,0	16,0	16,0	18,0
55	11,0	15,0	13,0	16,0	16,0	18,0
60	11,0	15,0	13,0	16,0	16,0	18,0

**Tabela B10:** Dados dos ensaios de bancada com polímero catiônico B

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	0,5	9,0	9,0	10,0	9,0	7,0
10	2,0	11,0	11,0	11,0	10,0	7,0
15	5,0	12,0	12,0	12,0	10,0	7,0
20	6,0	12,0	12,0	12,0	10,0	7,0
25	7,5	12,0	12,5	12,0	10,0	7,0
30	8,0	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0
35	8,0	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0
40	8,5	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0
45	9,0	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0
50	9,5	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0
55	9,5	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0
60	10,0	14,0	13,0	12,0	10,0	7,0

**Tabela B11:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico A

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	1,5	17,0	20,0	21,0	20,0	19,0
10	3,5	18,0	19,0	19,0	19,0	18,0
15	6,0	18,0	18,0	18,0	19,0	19,0
20	8,0	18,0	18,0	18,0	19,0	18,0
25	9,0	18,0	17,0	18,0	19,0	18,0
30	10,0	17,0	17,0	18,0	19,0	18,0
35	10,0	17,0	17,0	18,0	19,0	18,0
40	10,0	17,0	17,0	18,0	19,0	18,0
45	10,0	17,0	17,0	18,0	19,0	19,0
50	10,0	17,0	17,0	18,0	19,0	19,0
55	10,5	17,0	17,0	18,0	19,0	19,0
60	10,5	17,0	17,0	18,0	19,0	19,0

**Tabela B12:** Dados dos ensaios de bancada com polímero aniônico B

<b>SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mL/L)</b>						
<b>tempo min</b>	<b>Dosagem mgpol/gSST</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
5	0,3	17,0	18,0	17,0	18,0	18,0
10	2,5	18,0	19,0	18,0	19,0	18,0
15	4,5	18,0	19,0	18,0	19,0	18,0
20	7,5	18,0	19,0	18,0	20,0	18,0
25	8,0	18,0	19,0	18,0	20,0	18,0
30	9,0	18,0	19,0	18,0	20,0	18,0
35	9,5	19,0	19,0	18,0	20,0	18,0
40	9,5	19,0	19,0	18,0	20,0	18,0
45	9,5	19,0	19,0	18,0	20,0	18,0
50	9,5	19,0	19,0	18,0	20,0	18,0
55	9,5	20,0	19,0	18,0	21,0	18,0
60	10,0	20,0	20,0	19,0	21,0	19,0