UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE POS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Man Cheng NG

PRODUÇÃO DE ÁGUA EM ETA COM ALTERAÇÃO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO

NATAL – RN

2017

MAN CHENG NG

PRODUÇÃO DE ÁGUA EM ETA COM ALTERAÇÃO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Calado Araújo.

Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Calazans Duarte

NATAL – RN

2017

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Sistema de Bibliotecas – SISBI
Catalogação da Publicação na Fonte - Biblioteca Central Zila Mamede

NG, Man Cheng.
Produção de água em ETA com alteração da carreira de filtração / Man Cheng NG. - 2017.
62 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2017.
Orientador: Prof. Dr. André Luís Calado Araújo.
Coorientador: Prof. Dr. Marco Antônio Calazans Duarte.
1. Estações de tratamento de água (ETA) - Dissertação. 2. Qualidade da água - Dissertação. 3. Nível da água - Dissertação. 4. Filtração – Adequação - Dissertação. I. Araújo, André Luís Calado. II. Duarte, Marco Antônio Calazans. III. Título.

RN/UF/BCZM CDU
628.16.06

MAN CHENG NG

PRODUÇÃO DE ÁGUA EM ETA COM ALTERAÇÃO DA CARREIRA DE FILTRAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Dr. André Luís Calado Araújo – Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dr. Marco Antônio Calazans Duarte – Coorientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Dr. Hélio Rodrigues dos Santos – Examinador Interno
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Dr. Fernando José Araújo da Silva – Examinador Externo
Universidade Federal do Ceará

Natal, 20 de abril de 2017

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. André Luís Calado Araújo, por todo ensinamento transmitido, orientação e incentivo ao desenvolvimento deste trabalho e a minha formação acadêmica/profissional;

Ao coorientador Prof. Dr. Marco Antônio Calazans Duarte, pela contribuição na correção e orientação ao desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores examinadores Dr. Hélio Rodrigues dos Santos e Dr. Fernando José Araújo da Silva, pelas contribuições relevantes ao desenvolvimento e aperfeiçoamento deste estudo;

À Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte - CAERN, pela autorização e financiamento para a execução do estudo, e todos os companheiros que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa;

À minha companheira Renata Ferreira Moura pela paciência, amizade e compreensão das horas e horas dispendidas nesse novo desafio e jornada exaustiva;

Aos meus pais pela formação moral, apoio e compreensão;

Aos amigos pelo apoio e incentivo em todos os momentos;

Muito obrigado.

RESUMO

Estações de Tratamento de Água são concebidas em função da qualidade da água do manancial, o que determina diretamente a tecnologia de tratamento a ser utilizada e consequentemente influi nos custos de operação e manutenção. A adequação dos processos dentro das ETA é fundamental para diminuição dos custos e melhoria na qualidade da água tratada. O processo de filtração é considerado pela literatura como etapa de polimento, responsável pela remoção de partículas em suspensão, e remoção de cistos e oocistos de protozoários. A retrolavagem dos filtros pode consumir entre 3% a 10% do volume produzido nas ETA, ou seja, é relevante no resultado final de produção de água. O objetivo geral desse trabalho foi avaliar as modificações na produção de água na ETA em escala real através da alteração nas carreiras de filtração. Foram realizadas caracterização física e química da água de lavagem dos filtros, da água bruta, da água tratada e da água de recirculação, além do monitoramento do nível da água dos filtros em carreiras de filtração diferentes. Os resultados demonstraram que com o aumento da carreira de filtração aumentou a quantidade de sólidos na ALF; o crescimento do nível da água se comporta como função de primeiro grau; pode-se alterar a carreira de filtração de 24 horas para 40 horas em condições normais na ETA Extremoz.

Palavras Chave: ETA, Nível da água, Adequação.

ABSTRACT

Water treatment plants are designed according to the water quality on source, which directly sets up the treatment technology to be used and consequently influences costs of operation and maintenance. The adequacy of the processes in WTP is primordial for reducing costs and improving the quality of treated water. The filtration process is considered by the literature as polishing step, responsible for the removal of suspended particles, and removal of protozoan cysts and oocysts. During backwashing it may consume from 3% to 10% of volume produced in the WTP. It's relevant in the final result of water production. The general objective of this paper was to evaluate modifications in production of water on WTP in real scale through changes in filtration's careers. Physical and chemical characterization of backwashing's water of the filters, raw water, treated water and recirculation's water, as well as the monitoring of the pressure loss of the filters in different filter run. The results showed that: increasing in filter run increased the amount of solids in backwash water; the growth of the loss behaves as a first-degree function; You can change filter run from 24 hours to 40 hours under normal conditions at WTP Extremoz.

Keywords: WTP, Filter run, Adequacy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Arranjo típico de entrada e saída de um filtro operando com taxa declinante 7

Figura 2: Variações típicas dos níveis de água e taxas de filtração em sistema de filtração com taxa declinante. 7

Figura 3: Croqui das unidades de tratamento da ETA Extremoz 15

Figura 4: Vista do sistema de filtração da ETA Extremoz. 16

Figura 5: Vista frontal da elevatória de resíduos líquidos da ETA Extremoz.....18

Figura 6: Lagoa de sedimentação de águas e sedimentos na ETA Extremoz 18

Figura 7: Tubulação de retorno da ALF clarificada para o canal do floculador na ETA Extremoz 18

Figura 8: Esquema Horizontal da ALF na ETA Extremoz 19

Figura 9: Sistema de desinfecção da ETA Extremoz 19

Figura 10: Equipamento de monitoramento de nível, com data logger e indicação da sonda de nível, instalado no filtro 2 da ETA Extremoz. 20

Figura 11: Vista lateral do filtro com indicação dos níveis de água, borda da calha e material filtrante.....21

Figura 12: Equipamento de aferição de volume da ALF. 23

Nas Figuras 13 e 14, observa-se que o F2 se destaca quando é alterada a carreira de filtração de 24 horas para 32 horas e 40 horas. Ressalta-se que o comportamento de aumento é comum também aos outros.Figura 13: Concentração de sólidos em suspensão, em função da carreira de filtração. 30

Figura 14: Concentração de sólidos totais, em função da carreira de filtração. 31

Figura 15: Variação temporal dos sólidos sedimentáveis na lavagem para carreiras de 24h, 32h e 40h. 31

Figura 16: Variação temporal do nível da água no filtro em carreiras de 24 horas na ETA Extremoz. 33

Figura 17: Variação temporal do nível da água no P1 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz. 34

Figura 18: Variação temporal do nível da água no P2 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz. 34

Figura 19: Variação temporal do nível da água no P3 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz. 34

Figura 20: Variação temporal do nível da água no P4 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz. 35

Figura 21: Média, desvio padrão e faixa de variação do nível da água na carreira de 24 horas na ETA Extremoz. 35

Figura 22: Variação temporal do nível da água no filtro em carreiras de 32 horas na ETA Extremoz. 36

Figura 23: Variação do nível da água no P1 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz. 37

Figura 27: Variação do nível da água no P2 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz. 37

Figura 28: Variação do nível da água no P3 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz. 37

Figura 29: Variação do nível da água no P4 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz. 38

Figura 27: Média, desvio padrão e faixa de variação do nível da água na carreira de 32 horas – ETA Extremoz. 38

Figura 28: Variação temporal do nível da água no filtro em carreiras de 40 horas na ETA Extremoz. 39

Figura 29: Variação do nível da água no P1 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz. 40

Figura 33: Variação do nível da água no P2 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz. 40

Figura 34: Variação do nível da água no P3 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz. 40

Figura 35: Variação do nível da água no P4 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz. 41

Figura 33: Média, desvio padrão e faixa de variação do nível da água na carreira de 40 horas – ETA Extremoz. 42

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Caracterização da água bruta na Lagoa de Extremoz de maio/2015 a abril/2016. 25

Tabela 2: Caracterização da água de recirculação decantada em lagoa de sedimentação na ETA Extremoz de maio/2015 a abril/2016. 26

Tabela 3: Caracterização da água tratada na ETA Extremoz de maio/2015 a abril/2016. 26

Tabela 4: Características física e química média da água bruta da Lagoa de Extremoz e de recirculação da ALF sedimentada na lagoa de decantação.....27

Tabela 5: Caracterização da ALF do filtro 1. 28

Tabela 6: Caracterização da ALF do filtro 2. 29

Tabela 7: Caracterização da ALF do filtro 3. 29

Tabela 8: Caracterização da ALF do filtro 4. 30

Tabela 9: Resultados da medição de consumo de água na lavagem dos filtros. ...43

Tabela 10: Análise volumétrica decorrente da alteração da carreira de filtração ...44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETIVO GERAL 3

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3

2 REVISÃO DA LITERATURA 4

2.1 FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR 4

2.2 CONTROLE DE OPERAÇÃO DOS FILTROS 8

2.3 QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO 10

2.4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO 11

3 MATERIAIS E MÉTODOS 15

3.1 ETA EXTREMOZ 15

3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS 20

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 25

4.1 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS 25

4.1.1 Características da água bruta, de recirculação e tratada 25

4.1.2 Água de lavagem dos filtros 28

4.2 NÍVEL DA ÁGUA NO FILTRO 32

4.2.1 Carreira de Filtração – 24 horas 32

4.2.2 Análises Estatística – Carreira de 24 horas 35

4.2.3 Carreira de Filtração – 32 horas 36

4.2.4 Análises Estatística – Carreira de 32 horas 38

4.2.5 Carreira de Filtração – 40 horas 39

4.2.6 Análises Estatística – Carreira de 40 horas 41

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS CARREIRAS DE FILTRAÇÃO 42

4.4 AFERIÇÃO DO VOLUME GASTO NAS LAVAGENS 43

4.5 ANÁLISE VOLUMETRICA DO AJUSTE OPERACIONAL 43

5 CONCLUSÃO 45

REFERENCIAS.....46

ANEXO 1 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS COMPLEMENTARES.....50

1 INTRODUÇÃO

Estações de Tratamento de Águas (ETA) são concebidas primordialmente em função da qualidade física, química e microbiológica da água do manancial de abastecimento, bem como pelas premissas de custos de implantação, manutenção e operação; flexibilidade operacional; manuseio e confiabilidade dos equipamentos e características socioeconômicas da população atendida (DI BERNARDO & PAZ, 2008; LIBÂNIO, 2010).

A resolução CONAMA nº 357/2005 regulamenta a classificação dos corpos hídricos no Brasil e apresenta algumas diretrizes para concepções de tratamento de água conforme a classificação, tais como tratamento simplificado, convencional e avançado, sem detalhar os processos unitários em cada um dos modelos de tratamento (BRASIL, 2005).

A seleção da tecnologia de tratamento de água para abastecimento humano tem como objetivo adequar a água bruta aos padrões de potabilidade da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011.

Os principais resíduos gerados em ETA são oriundos da lavagem dos filtros e descarga de decantadores, unidades nas quais podem ficar retidas grande parte dos poluentes presentes na água bruta, além de compostos orgânicos e inorgânicos oriundos dos processos de tratamento de água. A maior parte da composição dos resíduos gerados é água, com percentual de sólidos entre 0,01 e 0,1%, com potencial de poluição dos corpos hídricos quando não tratados corretamente (SCALIZE & DI BERNARDO, 1999).

Devido à crescente demanda e custo da água (tem aumentado o interesse) do reaproveitamento das águas residuárias de ETA, principalmente pela recirculação da água de lavagem dos filtros e dos efluentes clarificados das estações de tratamento dos resíduos (DI BERNARDO & PAZ, 2008).

Os filtros são os maiores produtores de resíduos, no que se refere ao volume total gerado nos processos de limpeza. As lavagens dos filtros ocorrem na ETA quando algum dos seguintes critérios são atingidos: a) o nível do filtro atinge a carga hidráulica máxima disponível, em virtude do excesso de perda de carga no meio filtrante; b) ocorrência de traspasse do filtro, caracterizado pelo aumento repentino da turbidez na

água filtrada; c) quando a duração da carreira de filtração atingir em torno de 40 horas (DI BERNARDO & PAZ, 2008; EPA, 1995; RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

Estima-se que de 3% a 10% do volume de água produzido na ETA são utilizados no processo de lavagem dos filtros (AWWA, 1999). O volume utilizado na lavagem dos filtros varia conforme o tamanho dos filtros, frequência de lavagem, velocidade ascensional e a duração da lavagem (USEPA, 1999).

A carreira de 24 horas é usualmente verificada na maioria das estações no Brasil (LIBÂNIO, 2010). Na prática operacional da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN, os períodos de lavagem dos filtros são estabelecidos no tempo habitual de 24 horas de carreira de filtração, independente da perda de carga ou turbidez da água filtrada, o que caracteriza práticas de operação inadequadas.

Essa ação padronizada pode ocasionar a realização de lavagens desnecessárias, geração de resíduos líquidos com características físicas e químicas semelhantes ao da água tratada, perdas de produtos químicos e energia elétrica.

Em filtros alimentados por canal comum (taxa declinante), durante o processo de lavagem ocorrem picos de vazão, que são redistribuídos nos outros filtros, ocasionando problemas na qualidade da água filtrada, em decorrência do aumento da carga nos filtros (HAN et al., 2009).

O limite recomendado para carreira de filtração é de até 96 horas e diversos estudos realizados por Libânio, em taxas de filtração variadas de 180m^3/m^2.dia até 360 m^3/m^2.dia, demonstraram que o aumento da produção diária de água é da ordem de apenas 0,3% para carreiras de 96 horas. Portanto, não há prerrogativa para aumento da carreira de filtração além das 96 horas, devido aos ganhos insignificantes na produção e consequente deterioração da qualidade da água (LIBÂNIO, 2010).

A duração do tempo de lavagem dos filtros interfere diretamente na qualidade dos resíduos líquidos gerados, tendo em vista que quanto maior a carreira de filtração, maior será a quantidade de sólidos retidos. Altera também a produção diária de água em função da compactação do material filtrante, ou em outros casos, altera a qualidade da água tratada devido ao traspasse de sólidos (EPA, 1995).

Estudos realizados na avaliação de desempenho de duas ETA concluíram que a adequada operação principalmente dos filtros melhora significativamente a qualidade e eleva a produção de água tratada (BASTOS et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2006).

A ETA Extremoz em Natal/RN é responsável pela produção de água de aproximadamente 70% da Zona Norte de Natal. Nos últimos anos o manancial superficial que origina seu nome, padece dos efeitos da escassez de chuva, que tem assolado toda a região Nordeste do Brasil.

Nesse contexto, da necessidade de minimizar ocorrências da prática inadequada de operação dos filtros com carreiras de 24 horas na ETA Extremoz, que ocasiona desperdício de água e insumos, a avaliação da carreira de filtração e caracterização dos resíduos gerados podem indicar a necessidade de adequação da carreira de filtração.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as modificações na produção de água na ETA Extremoz através de alterações nas carreiras de filtração.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Avaliar a influência da carreira de filtração na qualidade da água tratada;
b) Avaliar a variação do nível da água no filtro ao longo das carreiras de filtração;

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR

A filtração é o processo que tem como principal objetivo a remoção de partículas que causam cor e turbidez, sendo considerado a etapa mais relevante em ETA (DI BERNARDO & PAZ, 2008).

Nos últimos 10 anos a importância da filtração tem evoluído, principalmente no seu aspecto microbiológico, devido a capacidade de remoção de *cistos* e *oocistos* de protozoários que são comumente encontrados nas águas superficiais do mundo inteiro, que podem ocasionar doenças diarreicas. Esses protozoários são removidos principalmente com uso de meio granular, devido a sua resistência a compostos clorados (LIBÂNIO, 2010; SCHUTTE, 2006).

Os mecanismos intervenientes da filtração dependem basicamente do tipo de filtração, seja lenta ou rápida. Na filtração rápida prevalecem principalmente os mecanismos de transporte (fenômenos físicos e hidráulicos) e de aderência (químico). Na filtração lenta predominam os mecanismos de transporte e filtração biológica.

Os mecanismos de transporte são influenciados pela temperatura (viscosidade) pela característica do meio filtrante (diâmetro, forma, espessura, porosidade) e pela taxa de filtração. Libânio (2010) destaca dentre esses mecanismos de coagem, sedimentação, interceptação, difusão, força hidrodinâmica e impacto inercial.

Coagem ou ação de coar é a retenção de partículas e perda de carga no topo do filtro, através dos espaços presentes entre os grãos;

Sedimentação é o processo nas quais as partículas de maiores diâmetros e densidade desviam-se da trajetória das linhas de corrente e se depositam na superfície dos grãos, em decorrência à lei de Stokes (velocidade de sedimentação e velocidade de aproximação)

Interceptação é o fenômeno de ocorrência de choque das partículas com os grãos do meio filtrante e posterior deposição. Essa ação ocorre quando a distância da linha da corrente de água para a superfície do grão for inferior à metade do diâmetro da partícula.

Difusão é a atuação decorrente do movimento aleatório das moléculas de água que transfere e confere às partículas coloidais de dimensões inferiores a 1 µm movimento difusivo (Browniano).

Força Hidrodinâmica é a ação que ocorre em partículas de maiores dimensões, decorrentes da diferença de velocidade tangenciais a superfície assegurada pela característica do escoamento laminar.

Impacto Inercial ocorre em partículas com grandes dimensões e densidade, que não tem sua trajetória alterada e colidem nos grãos e são retidos.

Os mecanismos de aderência que aumentam a retenção de partículas suspensas nas superfícies dos grãos ou por agregação as partículas podem ser classificadas em forças de van de Waals, eletroestática e pontes químicas (Di Bernardo & Paz, 2008).

As forças de van de Waals agem promovendo a aderência de partículas desestabilizadas à parede superficial do meio filtrante e são oriundos do processo de coagulação.

As forças eletrostáticas agem em decorrência das cargas elétricas dos grãos do meio com as partículas, dependem da fase aquosa, e em alguns casos atua junto com as forças de van de Waals.

As pontes químicas agem em decorrência de dosagem de produtos químicos auxiliares como polímeros, os quais quando aderidos nas partículas são estendidos na água capazes de continuar a formar as ligações.

Os tipos de filtros empregados no tratamento de água podem ser classificados, segundo Libânio (2010) em pré filtração de pedregulho; filtro lento de escoamento ascendente e descendente; filtro rápido pressão ou gravidade de escoamento ascendente que pode ser precedida de floculação e decantação convencionais, ou simultânea com microfloculação e microdecantação, onde ocorre a floculação e decantação diretamente no filtro, e escoamento descendente, que pode ser precedida de floculação e decantação convencionais, ou simultânea com microfloculação e microdecantação, onde ocorre a floculação e decantação diretamente no filtro.

Segundo Libânio (2010), os principais sistemas de controle operacional dos filtros se realizam pela taxa de filtração e perda de carga total na unidade filtrante. Eles se aplicam tanto para filtros rápidos como para filtros lentos. São classificados em filtros

de taxa de filtração constante e perda variável; filtros de taxa de filtração e perda de carga constante; e filtro de taxa de filtração e perda de carga variável.

Em filtros de taxa de filtração constante e perda de carga variável a vazão afluente é dividida equanimemente, com uso de vertedores de descarga livre. A medida que a carreira de filtração evolui ocorre a retenção progressiva das partículas, elevando o nível de agua no interior de cada filtro, aumentando a carga hidráulica disponível e permitindo que a vazão filtrada seja igual a vazão afluente.

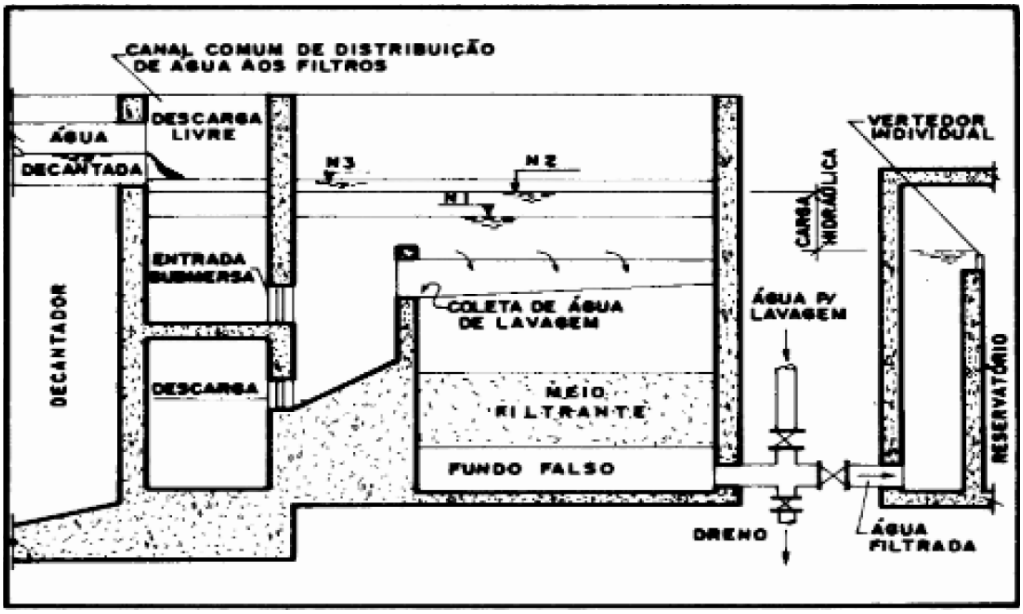
Nos filtros de taxa de filtração e perda de carga constante a vazão é igual ao anterior por meio de descarga livre, com uso de válvula e controlador de vazão de saída, no qual a medida que a perda de carga aumenta a válvula abre para reduzir a perda de carga turbulenta.

Em taxa de filtração e perda de carga variáveis, também conhecido como taxa declinante, esse sistema não possui dispositivo de controle de vazão, funciona por vasos comunicante, com entrada do afluente abaixo do nível do filtro. A medida que a perda de carga aumenta, o nível da água aumenta, assegurando a progressiva redução da taxa de filtração.

Em filtros de taxa declinante, caso a distribuição água seja feita por meio de tubulações ou canal de dimensões suficientemente grande, o nível da água será mantido praticamente o mesmo em todos os filtros da bateria, exceto para o que em algum instante encontrar-se em operação de lavagem (MENDES & GABRIEL, 2000; MACHADO et al., 2002).

Os principais níveis de água na operação dos filtros de taxa declinante podem ser: Nível N_0 que é o nível da lamina liquida acima dos vertedouros; Nível N1 se refere ao nível de água no canal comum de alimentação após o filtro recém lavado entrar em operação no qual as somas das vazões afluentes e efluentes são iguais, ou seja, nível mínimo; Nível N2 se refere ao nível de água no canal comum de alimentação no momento que o filtro mais sujo da bateria é retirado de operação para ser lavado; Nível N3 se refere ao nível de água no canal comum de alimentação no final da lavagem de um filtro da bateria, conforme indicado na figura 1 (MACHADO et al., 2002).

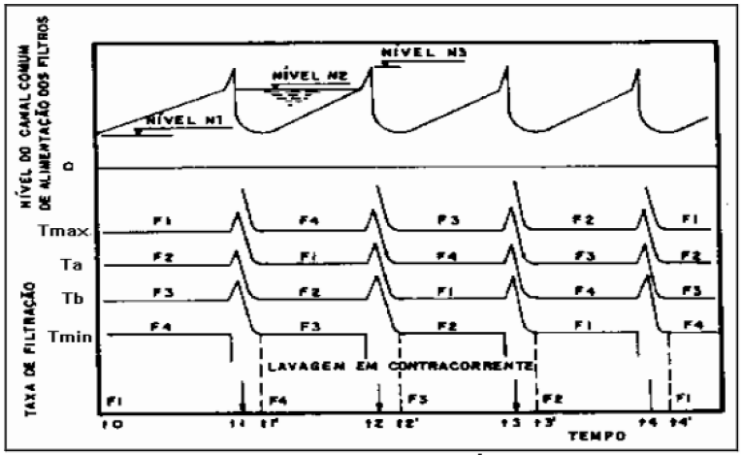
Figura 1: Arranjo típico de entrada e saída de um filtro operando com taxa declinante



Fonte: MACHADO et al. (2002).

Considerando que os filtros de taxa declinante trabalham de forma repetitiva, em vazões em cada filtro, mantendo-se constante no intervalo de lavagens consecutivas e declinando em formas de degraus. Pode-se observar comportamento repetitivo do nível da água, a redução da taxa de filtração com o passar do tempo, e seu aumento após a sua limpeza. O nível N3 conforme figura 2, ilustra sempre o maior nível da água na operação normal.

Figura 2: Variações típicas dos níveis de água e taxas de filtração em sistema de filtração com taxa declinante.



Fonte: MACHADO et al. (2002).

2.2 CONTROLE DE OPERAÇÃO DOS FILTROS

A operacionalização dos filtros é realizada mediante três principais mecanismos de controle de dosagem de produtos químicos no pré tratamento; de controle das carreiras de filtração; e de controle das lavagens.

No controle da dosagem de produtos químicos no pré tratamento, as dosagens ideais dos produtos químicos são importantes para formações dos flocos que ficarão retidos nos filtros. A coagulação, floculação, ou decantação ineficiente irá gerar resultados insatisfatórios nos filtros (LOGSDON et al., 2002; SCHUTTE, 2006).

No controle da carreira de filtração, os principais critérios para determinação de encerramento do tempo de funcionamento dos filtros são a carreira de filtração e perda de carga e turbidez da água filtrada (USEPA, 1999; SPELLMAN, 2014).

O monitoramento da filtração depende de diversos fatores, tais como a qualidade da água bruta, produtos químicos utilizados e características do meio filtrante; monitoramento da perda de carga indica o limite máximo de altura do nível da linha de água nos filtros, e a turbidez da água filtrada indica quando ocorre o traspasse dos sólidos em suspensão, o qual deteriora a sua qualidade;

No controle da lavagem, os principais parâmetros para controle da lavagem estão associados ao tipo de lavagem, à taxa de aplicação (fluidificação), ao tempo de duração e à ocorrência de perda de material filtrante (LOGSDON et al., 2002; SCHUTTE, 2006).

Dos três controles operacionais apresentados, o controle da carreira de filtração com monitoramento da carreira, perda de carga e turbidez, é o controle mais objetivo e simples de monitorar (SPELLMAN, 2014).

Embora os demais controles também sejam importantes, estes dependem de análise mais aprofundada tanto em relação aos equipamentos utilizados como em relação as equações hidráulicas envolvidas.

A carreira de filtração é o tempo de funcionamento dos filtros entre duas lavagens consecutivas. O monitoramento é o mais simples dos controles e está relacionado diretamente com a operação da unidade.

A carreira varia de acordo com as características da água bruta e os produtos utilizados. O tempo comumente de operação varia de 24h a 48h de funcionamento, podendo chegar a 96h (USEPA, 1999).

O monitoramento da perda de carga é realizado com a medição da altura da coluna de água com uso de medidores de nível ou réguas instaladas nos filtros. O principal objetivo é garantir carga hidráulica para que a água passe pelo meio filtrante; caso ocorra o equilíbrio da perda de carga com a carga hidráulica disponível não ocorrerá a filtração. No caso da ocorrência do equilíbrio a água não passa pelo meio granular e a produção de água da ETA estará comprometida (SCHUTTE, 2006; SPELLMAN, 2014).

O monitoramento da turbidez se faz necessário para acompanhar o rendimento de retenção de partículas no filtro, visando garantir a qualidade da água filtrada. Ou seja, monitorar a ocorrência de traspasse das partículas no filtro, o que resulta em aumento da turbidez e indica que o filtro precisa ser lavado (LOGSDON et al., 2002).

A lavagem dos filtros é uma das etapas cruciais para o início do funcionamento dos filtros. Diversos problemas decorrentes da operação dos filtros estão associados à lavagem inadequada, tais como aumento de turbidez, carreiras de filtração reduzida e perda de carga elevada nos filtros (USEPA, 1999; LOGSDON et al., 2002; SPELLMAN, 2014).

O processo de lavagem dos filtros consiste na passagem de água limpa, principalmente água tratada, e em alguns casos também com uso de ar comprimido, com sentido ascendente para que ocorra a expansão do meio filtrante e assim, arraste do material depositado no leito filtrante (RICHTER, 2009).

Durante o processo de lavagem de um dos filtros da ETA, os outros filtros em funcionamento são sobrecarregados com a vazão do filtro que está sendo lavado. Essa operação pode gerar problemas momentâneos na qualidade da água filtrada em decorrência da formação de fluxos hidráulicos e traspasse da turbidez, e no aspecto operacional ocasiona o aumento da perda de carga nos filtros em operação (CLEASBY et al.,1966; EPA, 1995; USEPA, 1999; SCHUTTE, 2006; HAN et al., 2009).

A destinação mais comum para disposição final da Água de Lavagem dos Filtros – ALF é o lançamento em corpos de água sem o tratamento. Em decorrência da maior

visibilidade das questões ambientais e principalmente decorrente da escassez de água, algumas ETA já estão se adequando para realização do devido tratamento e recirculação da ALF para o sistema de tratamento (DI BERNARDO & PAZ, 2008).

As principais variáveis para monitoramento da qualidade dos efluentes gerados na lavagem dos filtros, segundo Schutte (2006), são sólidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez.

Os sólidos totais referem-se a soma dos sólidos dissolvidos e dos sólidos suspensos. Os sólidos dissolvidos envolvem os sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica. Todos os contaminantes da água contribuem para a quantidade de sólidos totais.

Sólidos suspensos totais são os materiais insolúveis na coluna de água, podem ser orgânicos ou inorgânicos, e são retidos no sistema de filtração das ETA.

A turbidez é a medida mais simples para inferência das partículas suspensa na água. De fácil análise e correlação com o volume de partículas, depende diretamente da água bruta e do processo de tratamento de água da ETA.

Outros parâmetros também utilizados para caracterização são: a contagem de partículas, contaminantes microbiológicos, manganês, ferro, metais pesados, subprodutos de desinfecção, carbono orgânico total, matéria orgânica, e característica do meio filtrante. Com a caracterização correta é possível encontrar a metodologia de tratamento mais adequado para cada situação (CORNWELL et al., 2010; SPELLMAN, 2014).

2.3 QUALIDADE DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

A Organização Mundial de Saúde – OMS publica orientações sobre a qualidade da água potável, em relação aos parâmetros do processo de filtração ela determina que o limite de turbidez é de 1,0 uT na saída da filtração sendo sugerido, turbidez menor que 0,5 uT. Em casos de sistema de abastecimento de água de pequeno porte é aceitável turbidez de até 5,0 uT, mas sendo recomendável até 1,0 uT; a turbidez inferior a 0,3 uT é um indicador de remoção de cistos de *Giardia lamblia* e oocistos de *Cryptosporidium*; remoção de protozoários e Enterovirus deve ocorrer no processo de filtração (WHO, 2011).

Nos Estados Unidos, o órgão ambiental (USEPA) regulamenta desde 1996, que a água potável atenda alguns parâmetros em relação aos processos de filtração tais como o monitoramento da turbidez da água filtrada a cada 4 horas; limite de turbidez de 0,3 uT em 95% das amostras mensais, com limite de 1 uT; remoção de 99,99% de cistos de *Giardia lamblia* e oocistos de *Cryptosporidium*; Monitoramento individual dos filtros com equipamentos em linha com gravação a cada 15 minutos, em caso de recirculação de água de lavagem dos filtros;

Na União Europeia os países membros seguem a Directiva (ato legislativo da União Europeia para alcance de resultados) 98/83/CE do Conselho, relativo a qualidade de água destinada ao consumo humano a frequência de Monitoramento da turbidez nas saídas da ETA não especificada, mas varia em função do volume produzido por dia; limite de 1 uT, na saída da estação de tratamento; em relação a remoção de cistos de *Giardia lamblia* e oocistos de *Cryptosporidium*, ela recomenda que sejam seguidos as normas na Organização Mundial de Saúde, ou seja, que sejam removidos na filtração.

No Brasil a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, regulamenta sobre os parâmetros de potabilidade da água tratada, em relação a filtração o monitoramento da turbidez a cada 2 horas para ETA superficial; Limite de turbidez de 0,5 uT em 95% das amostras mensais, com limite de 1 uT; Quando a média aritmética da concentração de oocistos de *Cryptosporidium spp*. for maior ou igual a 3,0 oocistos/L no(s) pontos(s) de captação de água, recomenda-se a obtenção de efluente em filtração rápida com valor de turbidez menor ou igual a 0,3 uT em 95% das amostras mensais ou uso de processo de desinfecção que comprovadamente alcance a mesma eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. Não trata sobre casos de recirculação de água de lavagem dos filtros;

Pode-se observar que as recomendações e sugestões são semelhantes em relação ao monitoramento da turbidez na água tratada, o qual está intrinsicamente correlacionado ao processo de filtração.

2.4 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO

A otimização do processo de filtração está associada a diversos procedimentos operacionais tais como o monitoramento da qualidade da água bruta; ajustes nas

dosagens e produtos químicos; monitoramento da carreira de filtração; procedimento de lavagem dos filtros; monitoramento do meio filtrante como perda de material, formação de bolas de lodo, cisalhamento do material granular, dentre outros (EPA, 1995).

A otimização em ETA deve abranger tanto os processos unitários tanto quanto a sua correta operação. Os diversos processos unitários da ETA permitem inúmeras alterações para melhoria do desempenho operacional e todas estão inter-relacionadas. A filtração está diretamente relacionada a coagulação e a floculação. A otimização do processo de filtração deve obter turbidez inferior a 0,3 uT, contagem de partícula inferior a 50 partículas/mL e carreira de filtração superiores a 24 horas (PIRI et al., 2010).

Um artigo sobre a avaliação de desempenho em duas ETA convencionais, em Minas Gerais enfatizou a importância do monitoramento constante dos processos unitários em ETA. O diagnóstico analisou a remoção da turbidez como parâmetro chave, que foi subsídio para identificação de medidas corretivas e otimizações. O artigo apresentou os problemas nos gradientes hidráulicos de decantação e filtração, a granulometria dos filtros, que eram demasiadamente finos, e a necessidade de melhor controle operacional das ETA (BASTOS et al., 2000).

Outro estudo de otimização de filtros realizado na cidade de Ohio (EUA), mostrou que o desempenho dos filtros melhorou quando após a lavagem o filtro fica 4 horas em espera até voltar a operação, em relação ao filtro que foi colocado em operação logo após a lavagem. Foi analisado o desempenho em relação ao processo de amadurecimento do filtro, que consiste no tempo em que o filtro foi lavado até o momento da sua efetiva filtração (PIZZI, 2000).

Segundo Libânio (2010), em mais de 40% das 543 ETA amostradas em 1999 nos Estados Unidos, pela AWWA, descartam a água filtrada nos primeiros minutos após a lavagem, em decorrência da necessidade de maturação dos filtros.

Uma publicação sobre a avaliação de desempenho na ETA 2 em São Carlos/SP, realizou a avaliação do sistema de dupla filtração em escala real. Foi constatado que excessivas doses de produtos químicos, a ausência de controle de lavagens e problemas na mistura dos coagulantes, prejudicaram a produção de água (SALDANHA, 2002).

Análises realizadas em duas ETA convencionais na região centro oeste do Brasil, apresentaram melhorias no desempenho de filtros rápidos de fluxo ascendente através do monitoramento, substituição do leito filtrante e treinamento aos operadores. Os resultados da ETA A nos dois filtros monitorados foram o aumento da carreira média de filtração de 13 e 14 horas para 26 e 25 horas; redução da turbidez da água filtrada média de 1,7 uT e 2,0 uT para 0,5 uT em ambos filtros. E os resultados na ETA B nos dois filtros monitorados foram o aumento da carreira média de filtração de 36 e 35 horas para 42 e 48 horas; melhoria da turbidez média em 95% das amostras <0,39 uT, antes 0,64 uT e 0,67 uT (OLIVEIRA et al., 2006).

Projetos em escala piloto realizados na ETA Rio Grande, em São Paulo/SP, executaram testes de dosagens de polímeros catiônicos e aniônicos para avaliar o desempenho dos filtros na ETA. Os resultados mostraram que não ocorreu nenhuma melhora significativa nos filtros. No que diz respeito a perda de carga dos filtros, a alteração do material granular existente (areia) por antracito, proporcionaram carreiras de filtração mais longas (ABREU, 2009).

Em uma instalação piloto montada nas dependências da ETA Franca/SP, em 2009, foi realizado a implantação de um sistema de reuso e reciclagem de água de lavagem de filtro rápido, os resultados mostraram que a perda de água no processo atual era de 2,9% e que com a implantação do reuso iria diminuir para 0,13% da água produzida (REIS, 2009).

O monitoramento da influência da recirculação da ALF foi foco de um trabalho na ETA 3 em Campinas/SP, em 2014, onde foi realizado o monitoramento do impacto da ALF na água tratada. Os resultados apresentaram que as taxas de recirculação de até 10% do volume produzido e que a maioria dos parâmetros analisados não ocorreram alterações acima do permitido pela portaria em vigor, exceto para ácido haloacético que excedeu o permitido, quando se utilizou o limite de 10%. É recomendado a recirculação de até 4% do volume da água tratada nessa ETA (CAMPOS, 2014).

Um artigo sobre caracterização da ALF em uma ETA compacta no Rio Grande do Norte, apresentou resultados de sólidos sedimentáveis acima do permissível pela legislação para lançamento direto em manancial (PEREIRA & ARAÚJO, 2014).

Estudos no Ceará para caracterização da ALF de 3 ETA distintas, apresentaram resultados insatisfatórios para lançamento dos resíduos diretamente nos copos

receptores. Foi recomendado a construção de lagoas de sedimentação para aproveitamento da água, em vistas a crise hídrica da região (CAMPOS, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

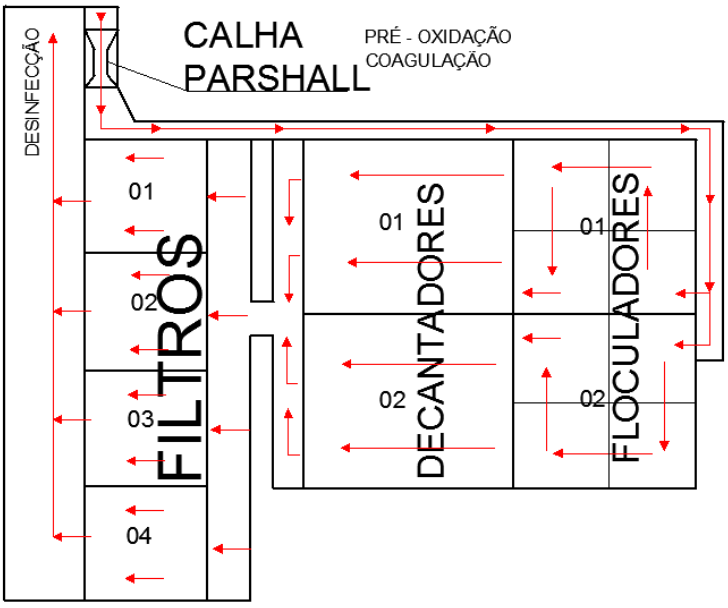
3.1 ETA EXTREMOZ

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água Extremoz, que realiza o tratamento de água bruta com turbidez inferior a 5,0 uT e cor aparente inferior a 50,0 uH. A ETA foi concebida para funcionar na tecnologia ciclo completo, contudo devido as alterações no processo e nos produtos químicos funciona como filtração direta. Ela está localizada no município de Natal/RN, na região administrativa Norte, BR 101, S/N, bairro Nossa Senhora da Apresentação.

A ETA Extremoz funciona atualmente com vazão de 2.520 m³/h (700 L/s), abastecendo cerca de 70% da população da zona Norte de Natal/RN, 250.000 habitantes. A ETA capta água na lagoa de Extremoz, sendo composta pelas etapas de pré-oxidação, coagulação, filtração e desinfecção.

As etapas de pré-oxidação e coagulação ocorrem na unidade de mistura rápida (calha Parshall, figura 3), que além de realizar a mistura, realiza a medição de vazão da água bruta. Os produtos químicos utilizados são cloro gasoso, policloreto de alumínio à 23% (PAC 23) e polímero catiônico, eventualmente. O atual processo de coagulação é por adsorção-neutralização de cargas com PAC 23, em dosagens de 1,00mg/L.

Figura 3: Croqui das unidades de tratamento da ETA Extremoz



Fonte: o autor (2017).

A etapa de decantação responsável pela sedimentação das partículas ocorre nos decantadores de fluxo vertical de alta taxa, com uso de sistema de tubulação trapezoidal com seção variável no qual a vazão é distribuída uniformemente em toda a área e módulos tubulares de PVC. Deveriam ser realizados descargas horárias devido ao acúmulo de sólidos, contudo devido a alteração do sistema o material praticamente não se acumula, não se caracterizando a função do decantador. Após o decantador, a água é reunida em um canal de água decantada para distribuição na entrada de cada um dos filtros.

A etapa de filtração é composta por quatro filtros rápidos de fluxo descendente (figura 4) que operam com taxa média de 330m³/m².dia, com área de 45,75m² em cada filtro. O leito filtrante é composto por areia quartzosa, a camada suporte por pedregulhos de tamanhos variados e o fundo de bloco cerâmico tipo Leopold (Quadro 01).

Os filtros são de taxa declinante, a distribuição de água é feita por meio de canal de grandes dimensões, a entrada de água é abaixo do nível da calha central, não há dispositivo de controle de vazão na entrada dos filtros.

Na lavagem de cada filtro são gastos cerca de 200m³ durante o período de 5 minutos, conforme medição da CAERN, e carreira de filtração fixa de 24 horas. Na teoria, conforme NBR 12216/92, o volume de água na lavagem deveria ser de 178,43m³, para os 5 minutos com expansão de 20% do material filtrante conforme cálculos a seguir.

$$Vol. = Q\,al \,.\, t \qquad \text{(Equação I)}$$

$$0{,}59475 \,.\, 600 = 178{,}43m^3$$

LEGENDA: Vol.: Volume teórico na lavagem dos filtros em m³; Q al: Vazão da água de lavagem em m³/s; t: Tempo da lavagem em segundos.

Figura 4: Vista do sistema de filtração da ETA Extremoz.

Fonte: o autor (2012).

Quadro 1: Característica do leito filtrante e camada suporte da ETA

Material filtrante - areia quartzosa						
Camada	Lf (cm)	Tef/D10 (mm)	Cd	D60 (mm)	Dmáx (mm)	Dmín (mm)
01 (topo)	30	0,7	< 1,4	1,00	1,42	0,5
2	15	1	< 1,4	1,50	1,5	0,84
03 (interface)	15	1,7	< 1,4	2,40	3,2	1,5
L total (cm)	60	-	-	-	-	-

LEGENDA: Lf = espessura da camada filtrante; Tef/D10 = tamanho efetivo; Cd = coeficiente de desuniformidade; D60 = tamanho que passa 60% em massa; Dmáx = tamanho máximo; Dmín = tamanho mínimo.

Camada suporte		
Camada	Granulometria (mm)	Espessura (cm)
1 (topo)	19,0-12,7	5
2	12,7-6,4	5
3	6,4-3,2	5
4	3,2-2,0	5
5	6,4-3,2	5
6	12,7-6,4	10
7 (fundo)	19,0-12,7	10
Total		45

Fonte: DUARTE (2012).

As ALF geradas no processo de limpeza dos filtros foram armazenadas temporariamente nos tanques de descarte, situados próximos dos decantadores e floculadores da ETA.

Após o armazenamento temporário esse volume é enviado por gravidade para a elevatória de resíduos líquidos (Figura 5), que é composta por 3 conjuntos motobomba no recalque da ALF até as lagoas de sedimentação. As 2 lagoas foram construídas em piçarro com revestimento em barro (Figura 6).

Na lagoa de sedimentação ocorre o processo físico de decantação, no qual as partículas coloidais presentes na ALF tendem a se deslocar para o fundo da lagoa para formação de sedimento.

Devido as dimensões das duas lagoas existentes (100,00m comprimento, 25,00m largura, 1,50m profundidade útil), o tempo de detenção hidráulica atual é de aproximadamente 4,7 dias, após o período de detenção a água decantada, retorna para a ETA através de tubulação de PVC DN 300mm no canal de água coagulada antes da entrada do nos floculadores desativados (Figura 7).

Figura 5: Vista frontal da elevatória de resíduos líquidos da ETA Extremoz

Fonte: o autor (2014).

Figura 6: Lagoa de sedimentação de águas e sedimentos na ETA Extremoz

Fonte: o autor (2014).

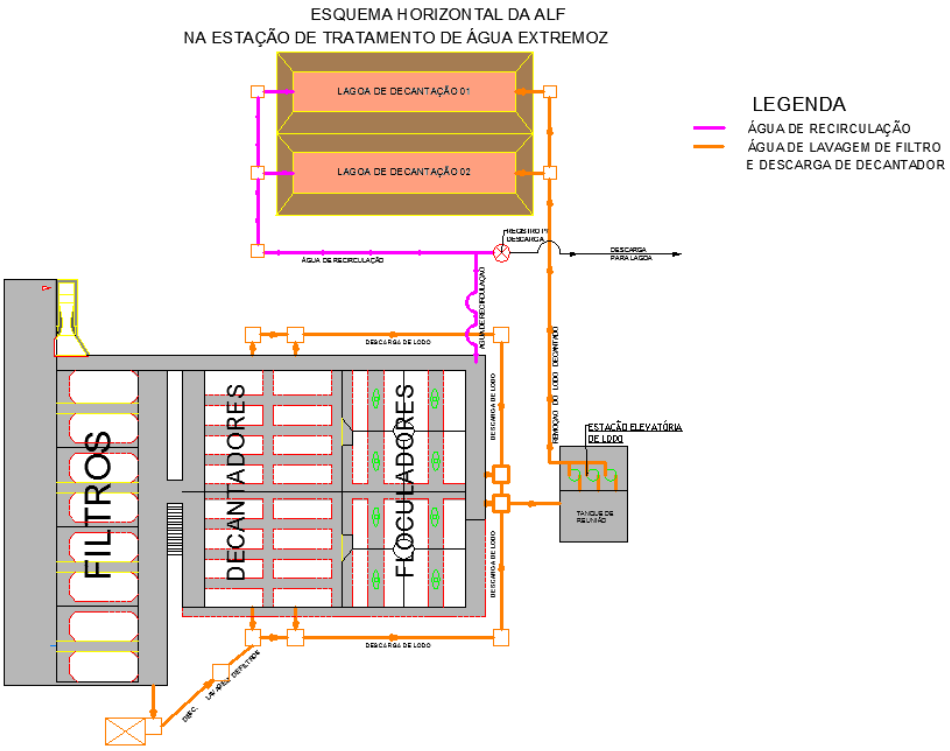
Figura 7: Tubulação de retorno da ALF clarificada para o canal do floculador na ETA Extremoz

Fonte: o autor (2014).

No esquema horizontal (figura 8) observa-se o caminho percorrido pela ALF, que sai dos filtros, conforme indicado pela linha em laranja e em rosa ao redor da ETA, até a

elevatória, que recalca até a lagoa de decantação. Após a decantação a água de recirculação tratada segue o até o canal antes dos floculadores na ETA Extremoz. A taxa atual de retorno é de aproximadamente de 1,3% do volume captado.

Figura 8: Esquema Horizontal da ALF na ETA Extremoz



Fonte: Adaptado de CAERN, 2012.

Após a filtração, ocorre a etapa de desinfecção com uso de cloro gasoso em cilindros de 900Kg. O consumo médio é de 10.800kg/mês, em sistema de troca semanal dos conjuntos dos cilindros de 3 em 3. (Figura 9).

Figura 9: Sistema de desinfecção da ETA Extremoz

Fonte: o autor (2012).

3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A carreira de filtração foi aumentada gradualmente de 8 em 8 horas a partir do período de 24 horas até o tempo de 40 horas, conforme experiências práticas que demonstraram ser um tempo crítico para operação funcional da ETA, em decorrência do elevado nível da água e diminuição exponencial da vazão da água filtrada.

Foi realizado o acompanhamento através do monitoramento do nível da água nos filtros, em função do aumento da carreira de filtração, e como isso afeta o desempenho da ETA Extremoz, durante 4 carreiras seguidas, em cada um dos tempos estabelecidos de 24h, 32h e 40h; aferição do volume de água gasto na lavagem dos filtros; caracterização física e química das ALF, da água bruta, da água de recirculação e da água tratada mensalmente.

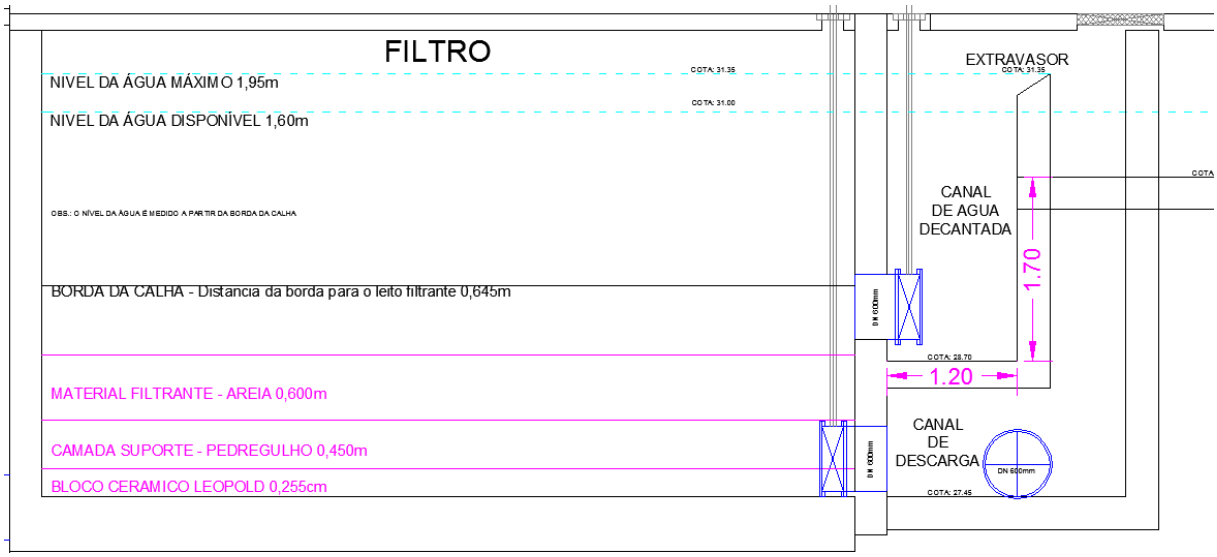
O monitoramento do nível da água no filtro 2 foi realizado através de transmissor de nível remoto com sensor ultrassônico (Figura 10), resolução de 1mm, com saída analógica 4 a 20 mA para alimentação em sistema de *Datalogger* portátil com registro do nível a cada minuto, durante os períodos de carreira de filtração, nos meses de abril/2016 a maio/2016.

Figura 10: Equipamento de monitoramento de nível, com data logger e indicação da sonda de nível, instalado no filtro 2 da ETA Extremoz.

Fonte: o autor (2015).

O nível da água foi monitorado a partir da borda da calha central, que fica na distância de 0,645m do leito filtrante, conforme figura 11. A carga hidráulica disponível é de 1,60 metros acima da calha central do filtro. O nível de 1,95 é referente ao extravasor para casos excecionais operação, tais como excesso de perda de carga nos filtros, problemas de filtração e ações afins.

Figura 11: Vista lateral do filtro com indicação dos níveis de água, borda da calha e material filtrante.



Fonte: o autor (2017).

O equipamento de medição foi instalado no filtro 2, devido aos resultados das análises físicas e químicas, os quais apresentaram maiores concentrações de sólidos suspensos, do que nos outros filtros.

As medições de níveis foram realizadas nos meses de abril/2016 a maio/2016. Em todos monitoramentos foram realizados 4 ciclos completos da carreira de filtração a ser estudada, na carreira de 24 horas foram realizados o monitoramento de 96 horas seguidas, na carreira de 32 horas foram realizados o monitoramento de 128 horas e para a carreira de 40 horas foram realizados o monitoramento de 160 horas.

O comportamento do nível da água nos filtros deverá apresentar comportamento semelhante ao longo da carreira de filtração, em virtude que a bateria de filtros trabalha de forma repetitiva (DI BERNARDO, 1986; MACHADO et al., 2002). A taxa de filtração máxima a ser adotada é de 1,3 a 1,5 vezes a taxa média que é o valor que é adotado para carreiras de filtração de maior duração (DI BERNARDO, 1986).

O período de maior vazão ocorrerá após a sua lavagem, e também quando ocorrer a lavagem do primeiro filtro posterior a esse, quem a vazão é aumentada em 33%, no caso da ETA Extremoz.

Nos filtros temos diferentes níveis de água, o n N1F corresponde ao nível da água no filtro após a lavagem de um filtro; N2F corresponde ao nível da água no filtro antes da retirada de um filtro para lavagem; N3F corresponde ao nível da água no instante final da lavagem de um filtro.

O Nível 3 da água no filtro – N3F não poderá ser maior que a carga hidráulica disponível. Nesse estudo, em que a medição do nível foi realizada no filtro e não no canal comum, foi somada a medição de nível a perda de carga do canal de água decantada para o filtro que é de 0,073m, quando a taxa de filtração for de 1,5 vezes a máxima, conforme equação II, para se conhecer o nível N3 no canal comum, que jamais poderá ser superior a carga hidráulica disponível de 1,60m.

$$h2 = (1{,}67/2g).(((Af.T)/86400.Ac))^2 \qquad \text{(Equação II)}$$

Taxa média 330 $m^3/m^2.dia$, Taxa máxima adotada 495$m^3/m^2.dia$.

$$h2 = 0{,}073m$$

LEGENDA: h2: perda de carga na entrada do filtro (m); g: aceleração da gravidade 9,8 m/s^2; Af: Área de um filtro (m^2); T: taxa de filtração ($m^3/m^2.dia$); Ac: Área da comporta (m^2).

Foram realizadas análises de média, desvio padrão, regressão linear e análise de variância (ANOVA), com objetivo de avaliar a ocorrência de diferenças significativas entre os períodos dos quatros filtros e entre as três carreiras de filtração (24h, 32h e 40h).

Para a aferição do volume de água consumido durante a lavagem dos filtros foi realizada a medição de vazão com medidor ultrassónico portátil do fabricante SiteLab, modelo SL1168P, com precisão de leitura em ± 1%, repetibilidade 0,3%, para diâmetros de 25-1200mm.

A medição foi realizada na tubulação de distribuição da água para a lavagem dos filtros a poucos metros do medidor proporcional de consumo de água (Figura 12). Foi realizada a medição durante 4 lavagens de filtros e calculada a média do volume consumido.

Figura 12: Equipamento de aferição de volume da ALF.

Fonte: o autor (2016).

Todas as análises físicas e químicas foram realizadas seguindo os procedimentos padrões descritos em APHA et al. (2012). As coletas das amostras mensais de água bruta, recirculação e tratada foram realizadas durante 12 meses de maio/2015 a abril/2016, com uso de garrafas de plástico de 2 litros.

A amostra da água bruta foi coletada na calha Parshall, a da água de recirculação foi coletada na tubulação de retorno para a ETA e a da água tratada foi coletada na saída do reservatório principal.

As variáveis monitoradas das amostras de estudo foram alcalinidade total, cor aparente, dureza total, ferro total, nitrato, sólidos dissolvidos, pH e turbidez, para água bruta, de recirculação e tratada.

As coletas das amostras de ALF foram realizadas mensalmente, durante 8 meses, e realizadas na caixa de passagem na saída dos efluentes dos filtros, com uso de 6 baldes com capacidade de armazenamento de 20 litros, para caracterização da amostra composta.

O tempo de lavagem dos filtros foi de 5 minutos, então foram realizadas coletas de amostras a cada 1 minuto a partir do tempo inicial até o final da lavagem. Após homogeneização foi retirada a alíquota de 2 litros de cada balde para nova homogeneização e montagem da amostra composta relativa a cada filtro da ETA.

Para as amostras compostas da ALF as variáveis monitoradas foram: cor aparente, sólidos em suspensão, sólidos totais e turbidez.

A alteração dos parâmetros se devem pela característica do líquido, ou seja, pela importância do monitoramento dos sólidos retidos nos filtros que foram removidos durante a lavagem.

Somente nas amostras de ALF foram realizados análise de sólidos sedimentáveis das amostras em cada minuto coletado separadamente, com objetivo de analisar e comparar o volume de sólidos gerados em cada tempo do processo de lavagem e sua possível alteração em decorrência da alteração do aumento da carreira de filtração.

No aspecto qualitativo a ETA Extremoz já realiza o monitoramento mensal da água bruta, água tratada e de recirculação para o controle operacional, o qual foi analisado de maio/2015 a abril/2016 para o monitoramento continuo.

Monitoramento da carreira de filtração foi iniciado com 24 horas e aumentados gradualmente em 8 horas até o limite de carreira de filtração de 40 horas (24h, 32h, 40h).

Os parâmetros de monitoramento foram nível da água, sólidos sedimentáveis a cada minuto da ALF e análises físicas e químicas da ALF composta de cada filtro, da água bruta, da água de recirculação e da água tratada da ETA Extremoz, conforme resumo no quadro 2.

Quadro 2: Resumo dos procedimentos experimentais realizados.

Carreira de filtração (h)	Análises	Frequência	Período de monitoramento
24	Nível da água	10 segundos	96 horas
	ALF - sólidos sedimentáveis	1 amostra para cada minuto da lavagem	6 meses
	ALF – composta de cada filtro	mensal	6 meses
32	Nível da água	10 segundos	128 horas
	ALF - sólidos sedimentáveis	1 amostra para cada minuto da lavagem	1 mês
	ALF – composta de cada filtro	mensal	1 mês
40	Nível da água	10 segundos	160 horas
	ALF - sólidos sedimentáveis	1 amostra para cada minuto da lavagem	1 mês
	ALF – composta de cada filtro	mensal	1 mês

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

4.1.1 Características da água bruta, de recirculação e tratada

Os resultados das análises do monitoramento foram apresentados e discutidos pelos locais de amostragens, captação (água bruta e água de recirculação), reservatório de contato (água tratada) e filtros (água de lavagem dos filtros).

As amostras foram coletadas em 12 meses para estudo e análise da influência alteração do clima (verão/inverno) na qualidade da água da lagoa de Extremoz e na qualidade da água tratada. Os resultados das análises físicas e químicas para a caracterização das águas foram apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Caracterização da água bruta na Lagoa de Extremoz de maio/2015 a abril/2016.

DATA DA COLETA	ALCALINIDADE TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	COR APARENTE (uH)	DUREZA TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	FERRO TOTAL (mg/L Fe^{+++})	NITRATO (mg/L N)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg/L)	pH	TURBIDEZ (uT)
mai/15	62	36	66	0,23	0,68	128	7,87	1,25
jun/15	50	33	56	0,13	0,61	116	7,29	(-)
jul/15	47	30	52	0,23	0,56	117	7,46	1,10
ago/15	54	36	49	<0,1 (*)	0,70	114	8,17	0,10
set/15	45	36	52	0,16	0,65	112	8,26	4,60
out/15	48	26	54	0,11	0,52	106	7,81	0,10
nov/15	49	28	54	<0,1 (*)	0,49	128	7,89	0,10
dez/15	57	21	61	<0,1 (*)	0,50	132	7,66	2,03
jan/16	51	24	60	0,15	0,41	111	7,26	1,37
fev/16	51	26	52	<0,1 (*)	0,47	132	8,29	3,14
mar/16	50	25	58	0,11	0,49	128	7,37	2,43
abr/16	25	23	29	<0,1 (*)	0,46	135	8,08	2,86
MÉDIA	**51,1**	**29,2**	**55,8**	**0,16**	**0,55**	**120,4**	**7,76**	**1,62**
DESVIO PADRÃO	4,9	5,6	5,1	0,05	0,09	9,6	0,38	1,47

Legendas: (*) inferior ao limite de detecção. (–) análise não realizada.
Fonte: CAERN (2016).

Tabela 2: Caracterização da água de recirculação decantada em lagoa de sedimentação na ETA Extremoz de maio/2015 a abril/2016.

DATA DA COLETA	ALCALINIDADE TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	COR APARENTE (uH)	DUREZA TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	FERRO TOTAL (mg/L Fe^{+++})	NITRATO (mg/L N)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg/L)	pH	TURBIDEZ (uT)
mai/15	46	53	48	0,47	0,60	127	8	8,77
jun/15	45	55	56	0,44	0,69	125	7,51	7,95
jul/15	39	36	44	0,21	0,70	108	7,45	3,79
ago/15	49	42	43	0,15	0,89	107	7,74	5,46
set/15	38	63	50	0,83	0,72	108	7,81	9,63
out/15	31	46	40	0,47	0,67	107	7,37	8,44
nov/15	29	55	47	0,38	0,72	126	7,3	4,94
dez/15	45	53	51	0,33	0,64	127	7,44	21,30
jan/16	43	40	56	0,26	0,71	118	6,93	9,55
fev/16	44	58	48	<0,1 (*)	0,90	130	7,85	22,85
mar/16	44	34	54	0,28	1,10	133	6,93	9,49
abr/16	44	41	58	0,63	0,73	135	9,06	15,50
MÉDIA	**41,2**	**48,7**	**48,8**	**0,38**	**0,75**	**119,4**	**7,48**	**10,20**
DESVIO PADRÃO	6,3	9,6	5,2	0,19	0,15	10,2	0,35	6,21

Legendas: (*) inferior ao limite de detecção. (–) análise não realizada.
Fonte: CAERN (2016).

Tabela 3: Caracterização da água tratada na ETA Extremoz de maio/2015 a abril/2016.

DATA DA COLETA	ALCALINIDADE TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	COR APARENTE (uH)	DUREZA TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	FERRO TOTAL (mg/L Fe^{+++})	NITRATO (mg/L N)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg/L)	pH	TURBIDEZ (uT)
mai/15	39	25	55	0,30	0,80	128	7,44	2,90
jun/15	46	26	54	0,15	0,69	119	7,16	(-)
jul/15	39	16	54	0,16	0,66	117	7,08	0,99
ago/15	58	19	52	0,24	0,86	117	7,62	0,88
set/15	39	26	50	0,19	0,84	117	7,64	4,57
out/15	42	13	52	<0,1 (*)	0,72	115	7,49	0,10
nov/15	43	15	55	<0,1 (*)	0,65	132	7,18	0,10
dez/15	51	11	59	<0,1 (*)	0,71	128	7,21	1,26
jan/16	47	15	61	0,12	0,62	119	6,95	1,03
fev/16	52	22	53	<0,1 (*)	0,70	133	8,14	3,25
mar/16	47	13	58	<0,1 (*)	0,67	119	6,93	1,64
abr/16	45	13	59	<0,1 (*)	0,70	139	7,6	1,76
MÉDIA	**45,6**	**18,2**	**54,8**	**0,19**	**0,72**	**122,1**	**7,35**	**1,67**
DESVIO PADRÃO	6,1	5,7	3,3	0,07	0,08	6,6	0,36	1,45

Legendas: (*) inferior ao limite de detecção. (–) análise não realizada.
Fonte: CAERN (2016).

Os resultados das análises da água bruta durante o período de monitoramento em todos os parâmetros, indicam que não ocorreram alterações significativas em relação à média do período para os parâmetros. A água bruta apresenta características semelhantes em todos os meses de monitoramento com cor aparente inferior a 50,0 uH e turbidez inferior a 5,0 uT.

Na água de recirculação durante o período de monitoramento não ocorreram alterações significativas em relação as médias dos parâmetros analisados (Tabela 4). Os resultados indicam que a água resultante do sistema de tratamento da água recirculação têm características semelhantes a água bruta da lagoa de Extremoz.

Os parâmetros que apresentaram média estatisticamente diferentes foram cor aparente, ferro total e turbidez, que são possíveis de serem tratados na ETA Extremoz. Os parâmetros alcalinidade total, dureza total e pH, influenciam diretamente o processo de coagulação química, os resultados indicam que as médias foram próximas, indicando semelhança. Os sólidos dissolvidos não são possíveis de serem tratados na ETA, mas permaneceram constante mesmo com a evaporação na lagoa de sedimentação.

Tabela 4: Características física e química média da água bruta da Lagoa de Extremoz e de recirculação da ALF sedimentada na lagoa de decantação.

VARIÁVEL	BRUTA	RECIRCULAÇÃO
ALCALINIDADE TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	51,1	41,2
COR APARENTE (uH)	**29,2**	**48,7**
DUREZA TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	55,8	48,8
FERRO TOTAL (mg/L Fe^{+++})	**0,16**	**0,38**
NITRATO (mg/L N)	0,55	0,75
SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg/L)	120,4	119,4
COR APARENTE (uH)	**29,2**	**48,7**
DUREZA TOTAL (mg/L $CaCO_3$)	55,8	48,8
pH	7,76	7,48
TURBIDEZ (uT)	**1,62**	**10,20**

Em relação aos resultados da água tratada, observa-se que durante o período de monitoramento não ocorreram variações significantes da qualidade em relação à

média do período. Ou seja, mesmo com a alteração da carreira de filtração em alguns meses não houve deterioração da qualidade da água.

4.1.2 Água de lavagem dos filtros

A amostragem para caracterização da ALF foi realizada em período menor devido a indisponibilidade de laboratório para realização de todas as análises nos meses subsequentes e ocorrência de semelhança dos resultados nos seis (6) primeiros meses de monitoramento.

Para apresentação dos resultados das análises da ALF foram criadas as Tabelas 5, 6, 7 e 8, a seguir, com as análises por cada filtro e cada mês separadamente com a carreira de filtração do respectivo mês.

Tabela 5: Caracterização da ALF do filtro 1.

DATA DA COLETA	COR APARENTE (uH)	SÓL. EM SUSPENSÃO (mg/L)	SÓL. TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (uT)	CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
mai/15	197	60	247	38,55	24
jun/15	106	33	265	21,80	24
jul/15	125	47	203	33,60	24
ago/15	102	50	205	21,90	24
set/15	135	27	252	38,70	24
out/15	124	14	249	27,70	24
nov/15	104	**47**	**292**	22,60	**32**
dez/15	163	**110**	**375**	40,30	**40**
MÉDIA - 24h	131,4	**38,2**	**236,7**	30,38	
DESV. PAD. - 24h	34,2	17,1	26,3	7,73	

Legendas:
Média – 24h é a média dos resultados na carreira de 24 horas.
Desv. Pad. – 24 é o desvio padrão dos resultados na carreira de 24 horas.
(*) inferior ao limite de detecção.
(–) análise não realizada.
Fonte: CAERN (2016); EMPARN (2015).

Tabela 6: Caracterização da ALF do filtro 2.

DATA DA COLETA	COR APARENTE (uH)	SÓL. EM SUSPENSÃO (mg/L)	SÓL. TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (uT)	CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
mai/15	209	29	227	31,00	24
jun/15	107	77	296	24,60	24
jul/15	138	79	222	32,10	24
ago/15	125	56	206	33,20	24
set/15	90	29	276	20,20	24
out/15	138	70	263	34,20	24
nov/15	58	**71**	**311**	9,90	**32**
dez/15	164	**167**	**522**	45,00	**40**
MÉDIA - 24h	134,5	**56,5**	**248,2**	29,22	
DESV. PAD. - 24h	41,0	22,9	35,4	5,56	

Legendas:
Média – 24h é a média dos resultados na carreira de 24 horas.
Desv. Pad. – 24 é o desvio padrão dos resultados na carreira de 24 horas.
(*) inferior ao limite de detecção.
(–) análise não realizada.
Fonte: CAERN (2016); EMPARN (2015).

Tabela 7: Caracterização da ALF do filtro 3.

DATA DA COLETA	COR APARENTE (uH)	SÓL. EM SUSPENSÃO (mg/L)	SÓL. TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (uT)	CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
mai/15	182	60	271	26,60	24
jun/15	146	+	+	28,80	24
jul/15	109	67	180	27,00	24
ago/15	108	45	174	26,10	24
set/15	122	34	267	38,90	24
out/15	108	10	248	23,10	24
nov/15	93	**63**	**314**	20,60	**32**
dez/15	147	**112**	**370**	35,70	**40**
MÉDIA - 24h	129,1	**55,9**	**227,7**	28,42	
DESV. PAD. - 24h	29,6	28,3	47,6	5,46	

Legendas:
Média – 24h é a média dos resultados na carreira de 24 horas.
Desv. Pad. – 24 é o desvio padrão dos resultados na carreira de 24 horas.
(*) inferior ao limite de detecção.
(–) análise não realizada.
(+) Amostra descartada devido a problemas de coleta.
Fonte: CAERN (2016); EMPARN (2015).

Tabela 8: Caracterização da ALF do filtro 4.

DATA DA COLETA	COR APARENTE (uH)	SÓL. EM SUSPENSÃO (mg/L)	SÓL. TOTAIS (mg/L)	TURBIDEZ (uT)	CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)
mai/15	174	30	252	25,90	24
jun/15	68	23	214	8,30	24
jul/15	96	92	208	19,70	24
ago/15	104	22	174	22,60	24
set/15	96	30	210	36,80	24
out/15	74	6	213	13,00	24
nov/15	64	**23**	**249**	11,60	**32**
dez/15	109	**64**	**356**	21,10	**40**
MÉDIA - 24h	101,9	**33,6**	**211,7**	21,05	
DESV. PAD. - 24h	38,1	29,9	24,8	10,03	

Legendas:
Média – 24h é a média dos resultados na carreira de 24 horas.
Desv. Pad. – 24 é o desvio padrão dos resultados na carreira de 24 horas.
(*) inferior ao limite de detecção.
(–) análise não realizada.
Fonte: CAERN (2016); EMPARN (2015).

Nos meses de novembro/2015, a carreira de filtração foi alterada para 32 horas, e em dezembro a carreira foi alterada para 40 horas. As concentrações dos parâmetros aumentaram em decorrência da alteração da carreira que era de 24 horas.

Constata- se que o Filtro 2 – F2, conforme Tabela 6, apresenta os resultados sólidos em suspensão (167 mg/L) e sólidos totais (522 mg/L) superiores aos resultados dos outros filtros. Por esse fato o F2 foi escolhido para instalação do medidor de nível de água.

O equipamento também poderia ter sido instalado em qualquer um dos outros filtros, pois segundo Di Bernardo (1986) e Machado et al. (2002), os níveis de água nos filtros operando em taxa declinante praticamente são iguais, exceto para o filtro que em algum instante se encontrar em operação de lavagem.

Nas Figuras 13 e 14, observa-se que o F2 se destaca quando é alterada a carreira de filtração de 24 horas para 32 horas e 40 horas. Ressalta-se que o comportamento de aumento é comum também aos outros.

Figura 13: Concentração de sólidos em suspensão, em função da carreira de filtração.

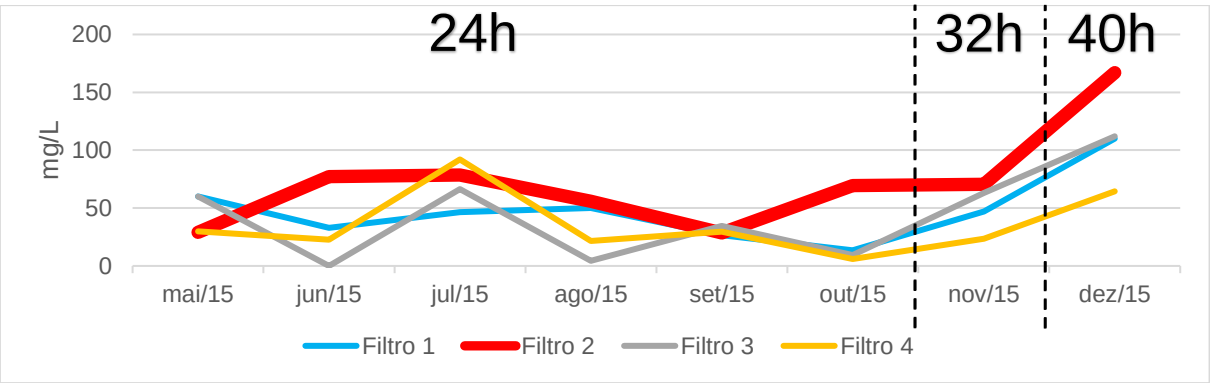
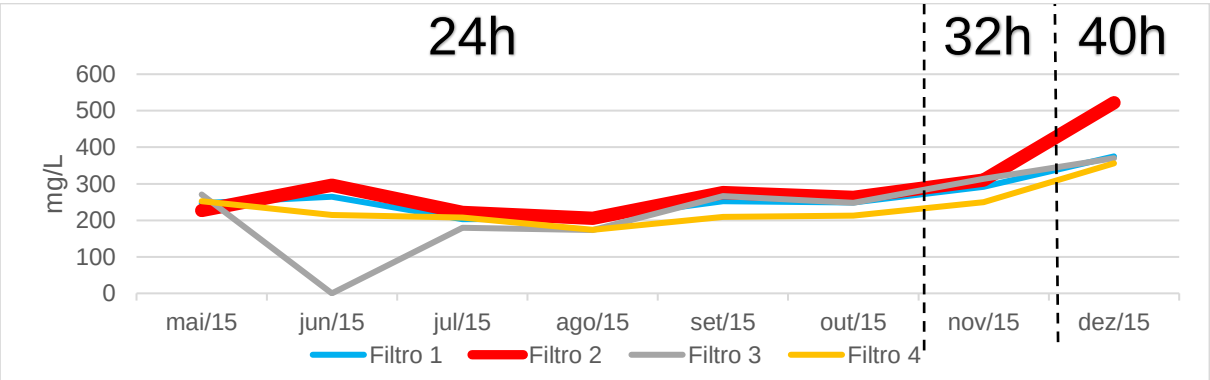
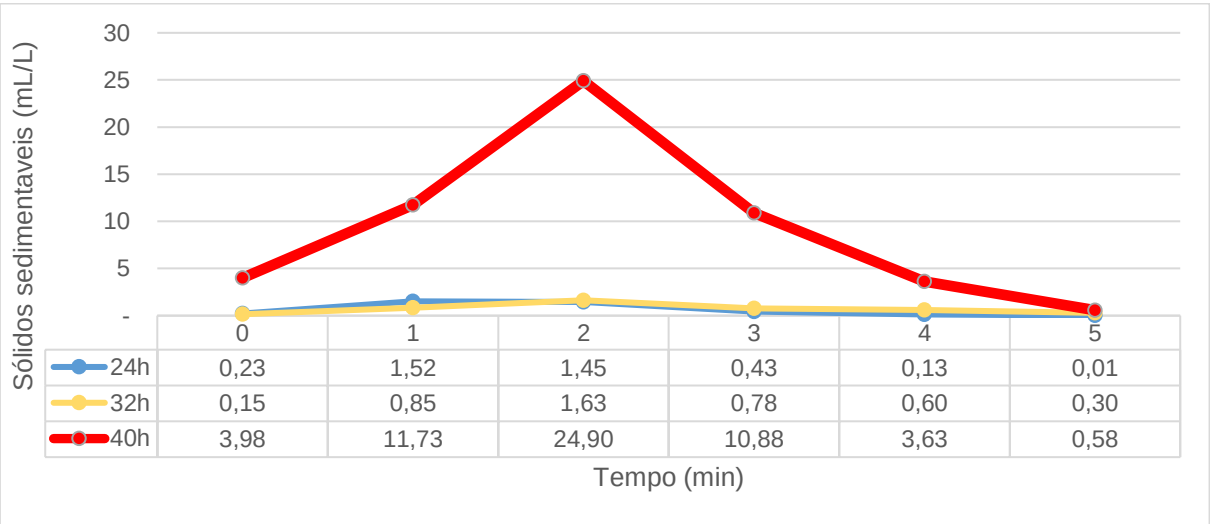


Figura 14: Concentração de sólidos totais, em função da carreira de filtração.



Para apresentação dos resultados da média dos resultados das análises de sólidos sedimentáveis de cada minuto analisado de todos os 4 filtros, para a carreira de filtração de 24 horas, 32 horas, e 40 horas, foi criada a Figura 15.

Figura 15: Variação temporal dos sólidos sedimentáveis na lavagem para carreiras de 24h, 32h e 40h.



	0	1	2	3	4	5
24h	0,23	1,52	1,45	0,43	0,13	0,01
32h	0,15	0,85	1,63	0,78	0,60	0,30
40h	3,98	11,73	24,90	10,88	3,63	0,58

Percebe-se que a média dos sólidos sedimentáveis na carreira de 40 horas é maior do que a de 24 horas e do que a de 32 horas. O resultado já era esperado, em vistas, que o aumento da carreira de filtração, aumenta o tempo de retenção de sólidos suspensos em meio granular dos filtros.

Vale salientar que mesmo com o aumento da carreira de filtração para 40 horas, o resultado médio do último minuto de lavagem foi de 0,58 mL/L de sólidos sedimentáveis que pode ser considerado razoável para lavagem de filtros, no qual é esperado resultados inferiores a 1,00 mL/L para o último minuto, conforme a EPA (1995).

4.2 NÍVEL DA ÁGUA NO FILTRO

Os resultados das análises do monitoramento do nível da água no F2 foram apresentados conforme alteração da carreira de filtração de 24 horas, 32 horas e 40 horas. Durante o período de monitoramento a dosagem do coagulante foi constante de 1,00mg/L.

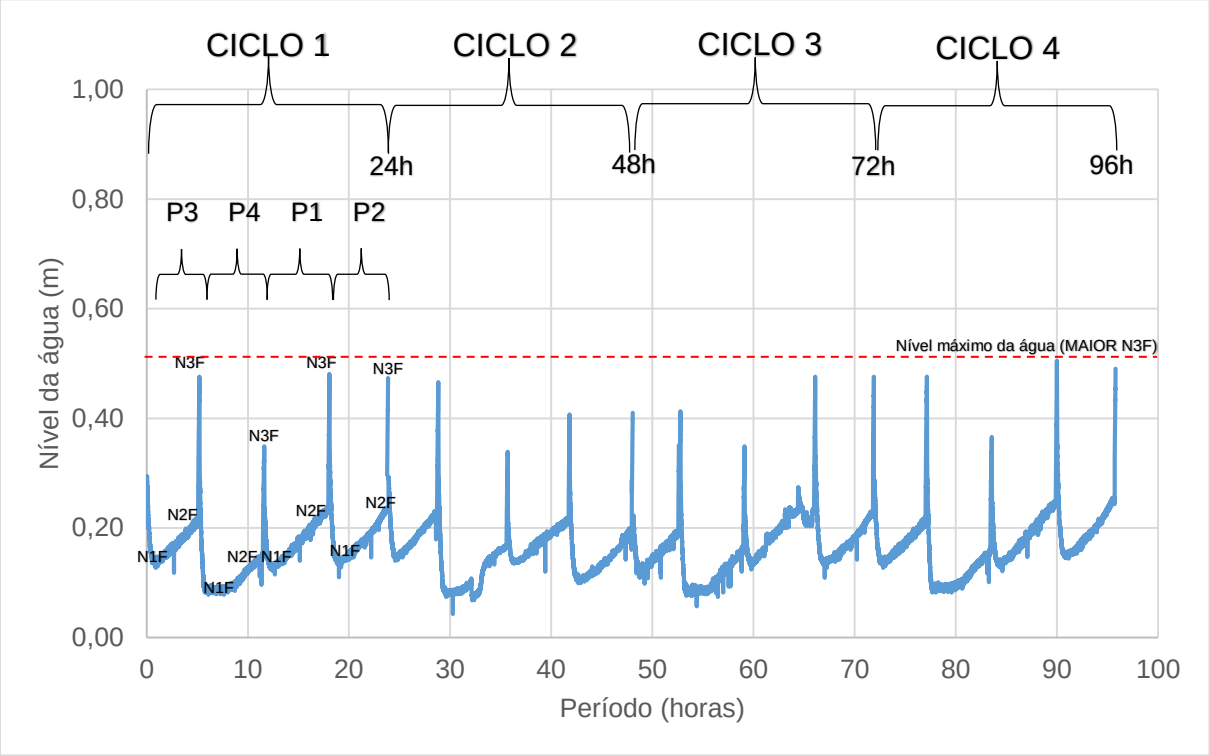
Os monitoramentos foram realizados durante 4 carreiras de filtração seguidas para cada variação de carreiras a ser estudada, para análise e estudo de comportamento do aumento do nível da água no filtro e aumento da carreira de filtração.

Todos as figuras apresentam 4 períodos de monitoramento dentro de cada carreira (indicados pelos picos nas figuras), cada período representa a perda de carga entre a lavagem dos 4 filtros da ETA Extremoz P1 corresponde ao período de operação após a lavagem de F4 até a lavagem de F1; P2 corresponde ao período de operação após a lavagem de F1 até a lavagem de F2; P3 corresponde ao período de operação após a lavagem de F2 até a lavagem de F3; P4 corresponde ao período de operação após a lavagem de F3 até a lavagem de F4.

4.2.1 Carreira de Filtração – 24 horas

O monitoramento do nível da água do filtro na carreira de 24 horas, durante as 96 horas de monitoramento é observado na Figura 16.

Figura 16: Variação temporal do nível da água no filtro em carreiras de 24 horas na ETA Extremoz.



Observa-se que ocorreram vários picos do nível da água. Esses picos se referem ao momento de lavagem de algum filtro, a cada 4 picos de NF3 representa o ciclo de 24 horas. Os espaçamentos entre os picos indicam período de aproximadamente de 6 horas cada.

Para realizar as análises da variação do nível da água nos mesmos períodos, em ciclos diferentes para análise gráfica e estatística, foram criadas as figuras de 17 a 20, os quais foram obtidos através da média no P1 do N1F ao N2F do ciclo 1, 2, 3 e 4, para os outros períodos foram seguidos os mesmos critérios.

Figura 17: Variação temporal do nível da água no P1 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz.

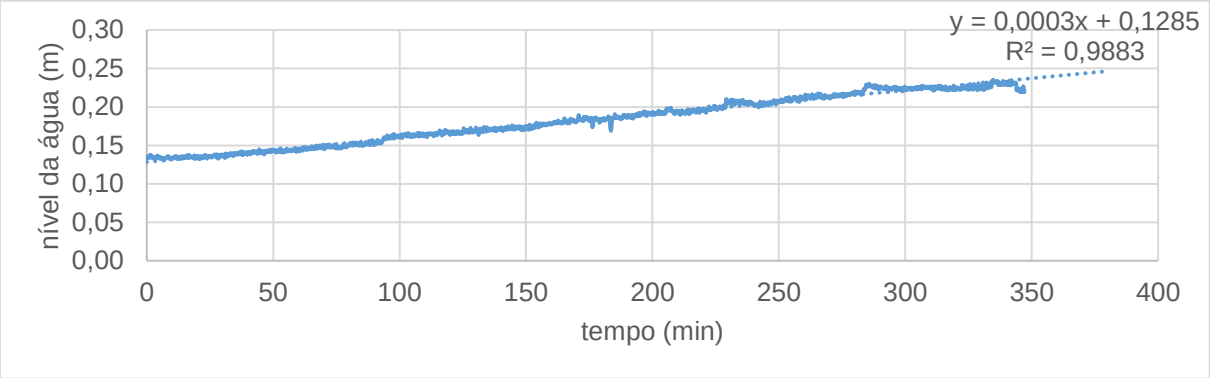


Figura 18: Variação temporal do nível da água no P2 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz.

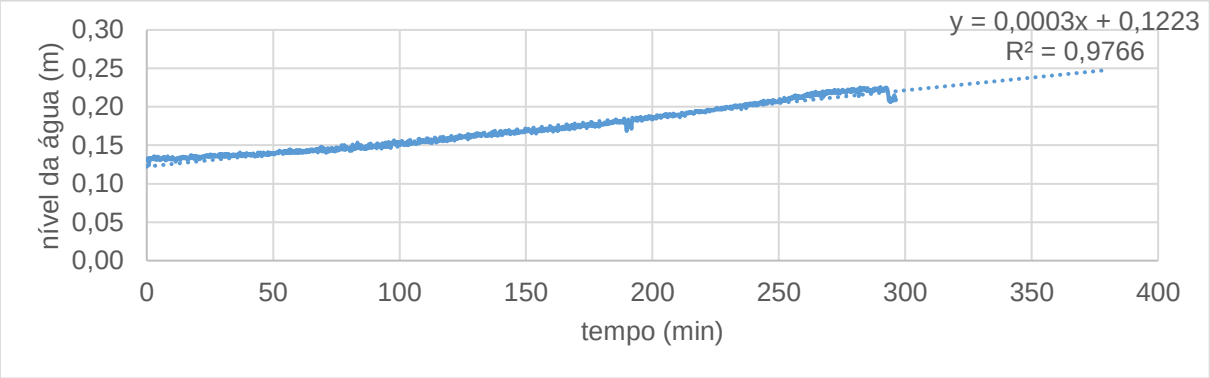


Figura 19: Variação temporal do nível da água no P3 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz.

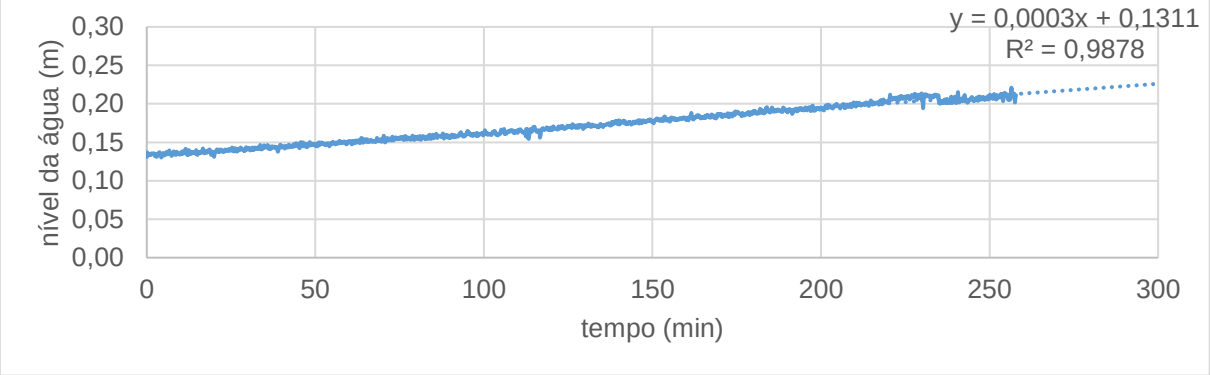
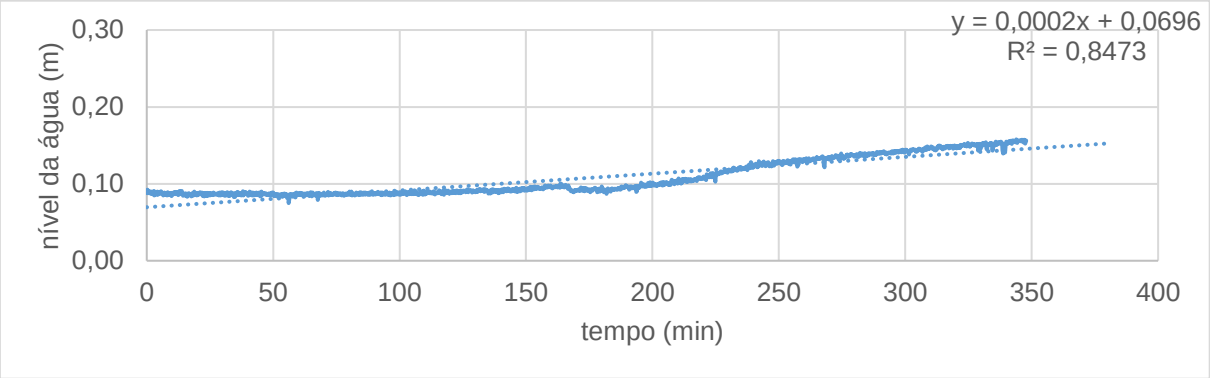


Figura 20: Variação temporal do nível da água no P4 do N1F até N2F, em carreira de 24 horas na ETA Extremoz.



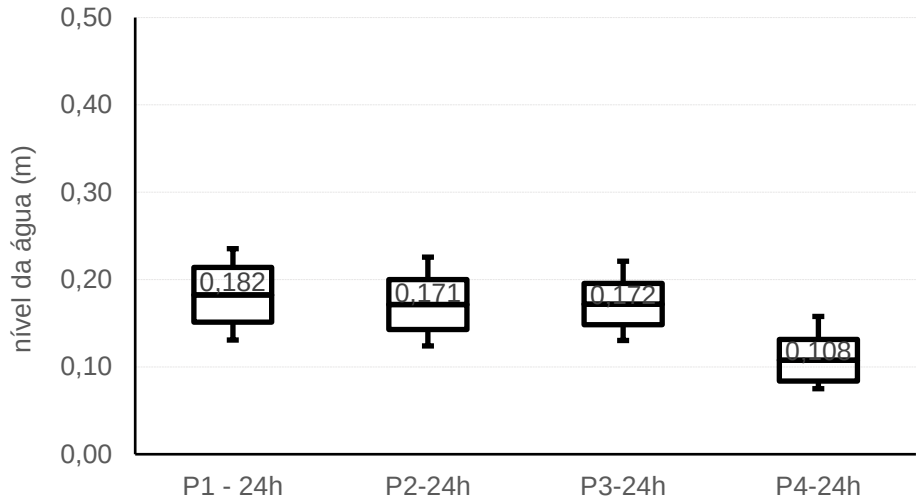
Ao analisar os gráficos nota-se que todos possuem forte correlação dos dados entre sí, ou seja, quanto mais próximo o R^2 for de 1,00 é melhor. As equações das linhas de tendências também foram semelhantes o que indica que os aumentos do nível da água nos diferentes períodos foram análogos.

Ao analisar os N3F que foram os maiores níveis de água dentro do filtro o maior valor é 0,505m, ao somar o nível da água com a perda de carga de 0,073m no pior cenário no qual a taxa de filtração sobe para 495m³/m².dia, a carga hidráulica necessária será de 0,578m, que é atendida pelo nível da água existente de 1,60m.

4.2.2 Análises Estatística – Carreira de 24 horas

Para as análises de média e desvio padrão do nível da água, nos quatro períodos monitorados foi criada a Figura 21 para a carreira de 24 horas.

Figura 21: Média, desvio padrão e faixa de variação do nível da água na carreira de 24 horas na ETA Extremoz.

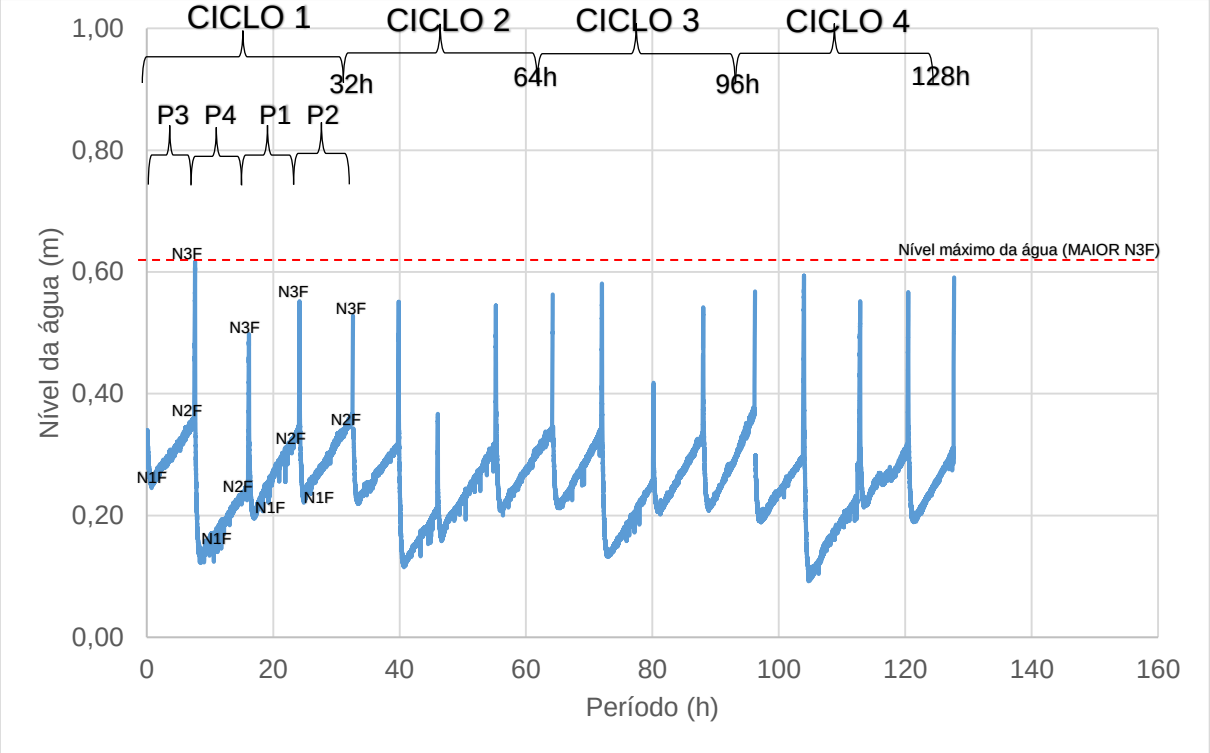


O gráfico apresenta a média do nível da água em cada período, a média de P1, P2 e P3 estão muito próximas como também seus desvios padrões. O P4 apresenta valor médio inferior aos demais, que pode ser explicado pela equação de tendência que possui o coeficiente fixo menor de apenas 0,0696, em relação as demais que foram de 0,1285, 0,1223 e 0,1311.

4.2.3 Carreira de Filtração – 32 horas

O monitoramento do nível da água do filtro na carreira de 32 horas durante as 128 horas de monitoramento é observado na Figura 22.

Figura 22: Variação temporal do nível da água no filtro em carreiras de 32 horas na ETA Extremoz.



Nota-se que ocorreram vários picos de nível de água. Esses picos se referem ao momento de lavagem de algum filtro, a cada 4 picos foram representados os ciclos de 32 horas. Os espaçamentos entre os picos indicam período de aproximadamente de 8 horas cada.

As indicações de níveis de água seguem a mesma explicação da carreira anterior. Para realizar as análises do nível da água nos mesmos períodos, em ciclos diferentes para análise gráfica e estatística, foram criadas as Figuras de 23 ao 26.

Figura 23: Variação do nível da água no P1 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz.

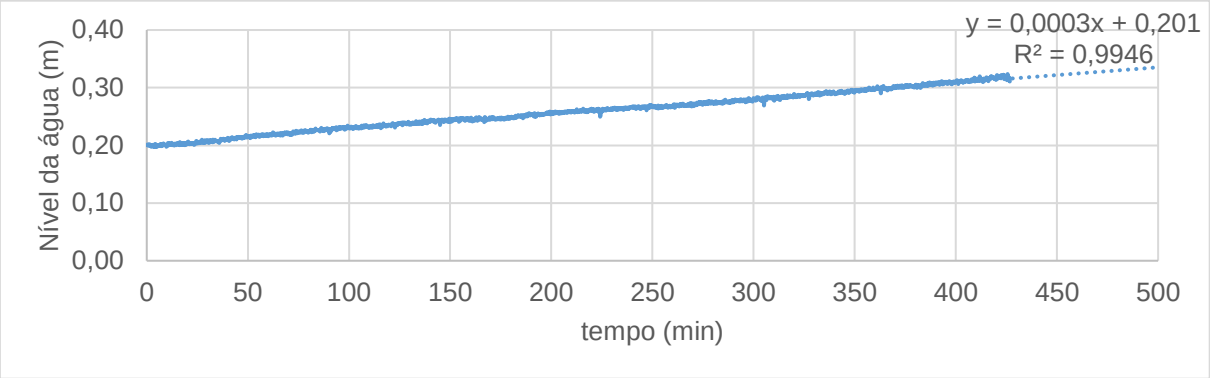


Figura 24: Variação do nível da água no P2 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz.

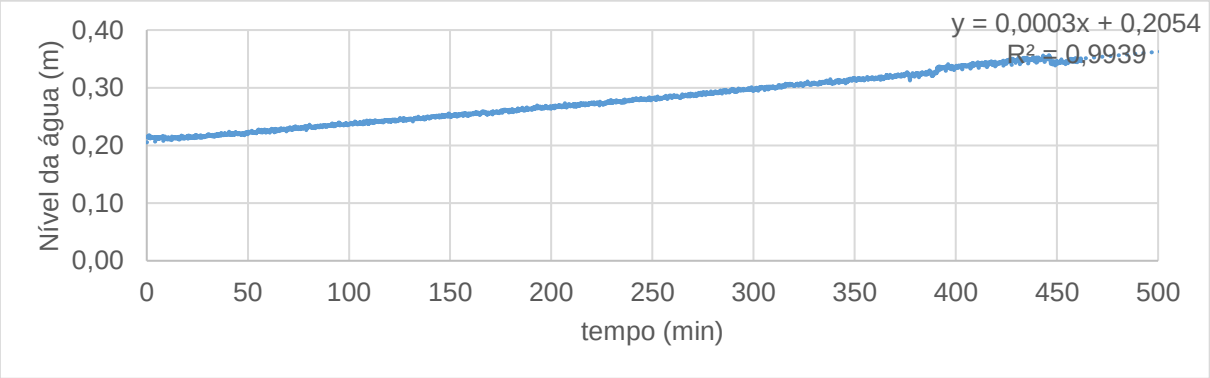


Figura 25: Variação do nível da água no P3 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz.

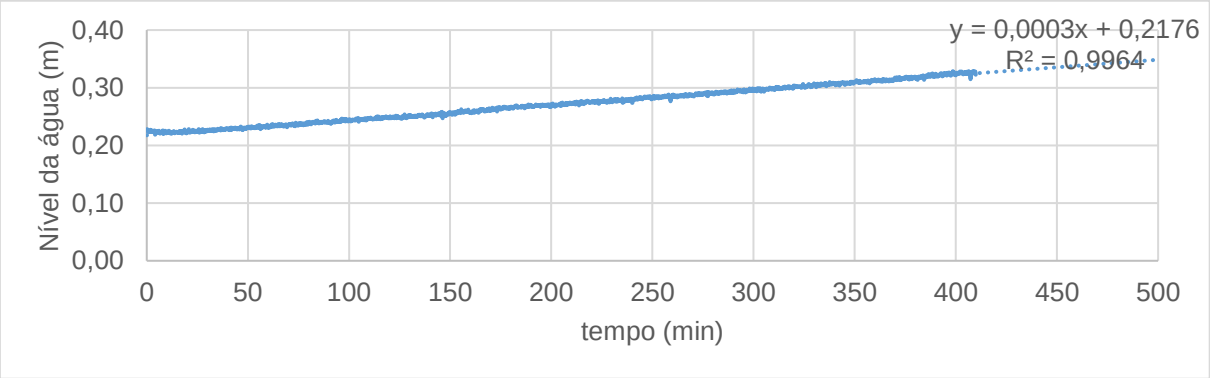
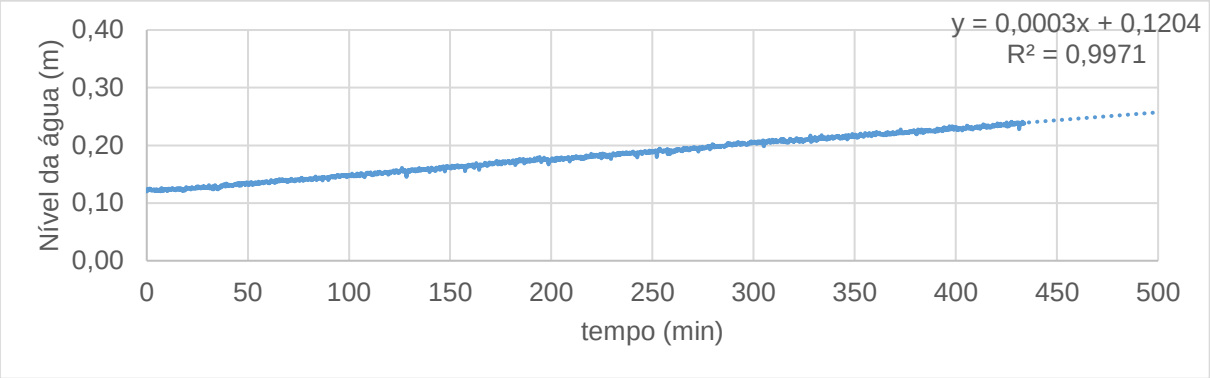


Figura 26: Variação do nível da água no P4 do N1F até N2F, em carreira de 32 horas na ETA Extremoz.



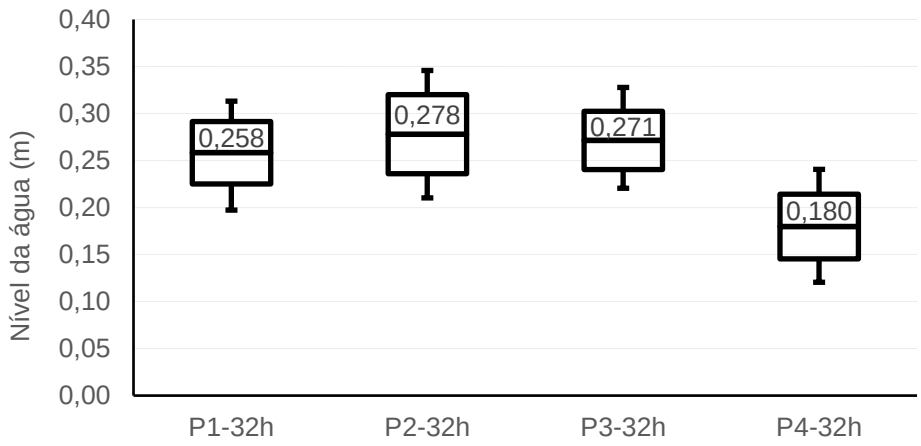
Ao analisar os gráficos nota-se que todos possuem forte correlação dos dados entre sí, quanto mais próximo de 1,00 melhor. Todo aumento do nível de água nos filtros da ETA Extremoz com carreira de filtração de 32 horas, pode ser previsto em funções de 1 grau. Os níveis de água nas carreiras de 32 horas foram maiores do que em 24 horas, em decorrência do aumento da perda de carga.

Ao analisar os N3F que foram os maiores níveis de água dentro do filtro o maior valor é 0,617m, ao somar o nível da água com a perda de carga de 0,073m no pior cenário no qual a taxa de filtração sobe para 495m³/m².dia, a carga hidráulica necessária será de 0,690m, o qual é atendida pelo nível da água existente de 1,60m.

4.2.4 Análises Estatística – Carreira de 32 horas

Para as análises de média e desvio padrão do nível da água, nos quatro períodos, foi criada a Figura 27 para a carreira de 32 horas.

Figura 27: Média, desvio padrão e faixa de variação do nível da água na carreira de 32 horas – ETA Extremoz.

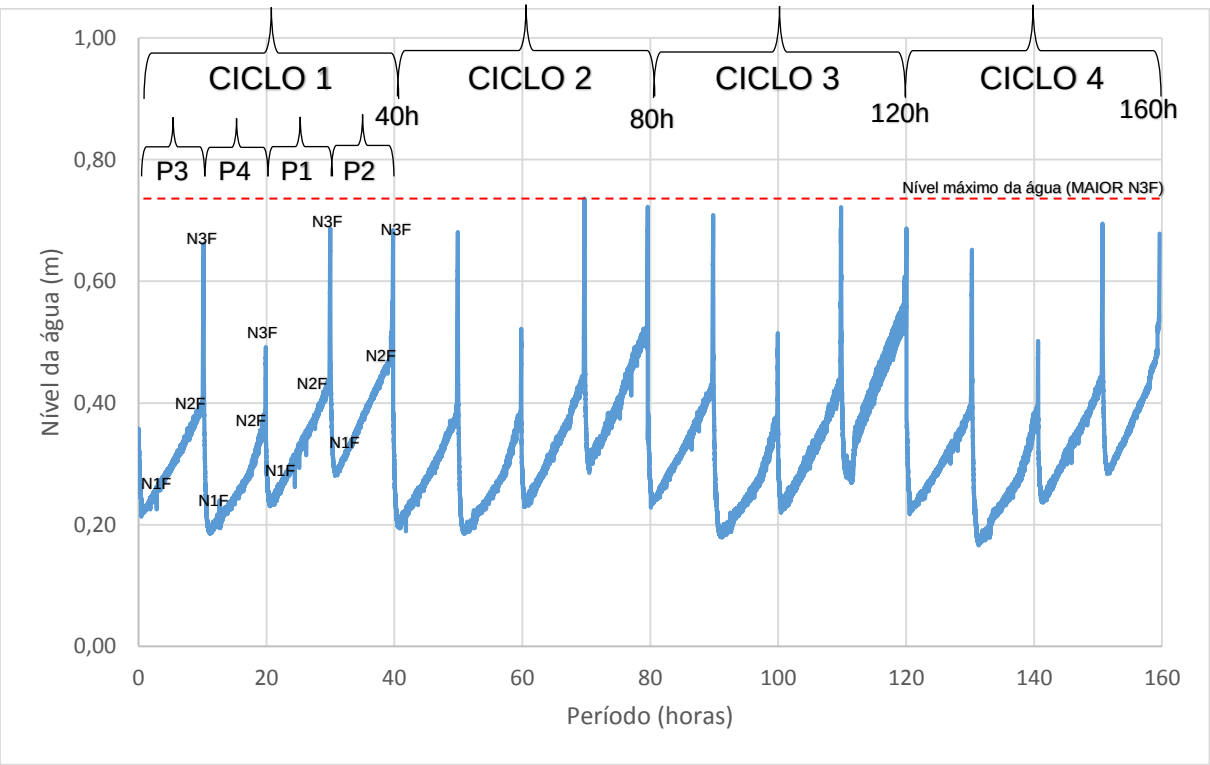


O nível médio da água dos P1, P2 e P3 estão dentro da faixa de desvio padrão entre eles, exceto o P4 que está apresentando comportamento anômalo, com o valor na equação de 0,1204, enquanto que os outros foram de 0,2010, 0,2054 e 0,2176.

4.2.5 Carreira de Filtração – 40 horas

O monitoramento do nível da água do filtro na carreira de 40 horas durante as 160 horas de monitoramento é observado na Figura 28.

Figura 28: Variação temporal do nível da água no filtro em carreiras de 40 horas na ETA Extremoz.



Observa-se que ocorreram vários picos de perda de carga. Esses picos se referem ao momento de lavagem de algum filtro, os mais altos se referem ao momento de lavagem do filtro 2, que presenta os ciclos de 40 horas. Os espaçamentos entre os picos indicam período de aproximadamente de 10 horas cada.

As indicações de níveis de água seguem a mesma explicação da carreira anterior. Para realizar as análises do nível da água nos mesmos períodos, em ciclos diferentes para análise gráfica e estatística, foram criadas as Figuras de 29 a 32.

Figura 29: Variação do nível da água no P1 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz.

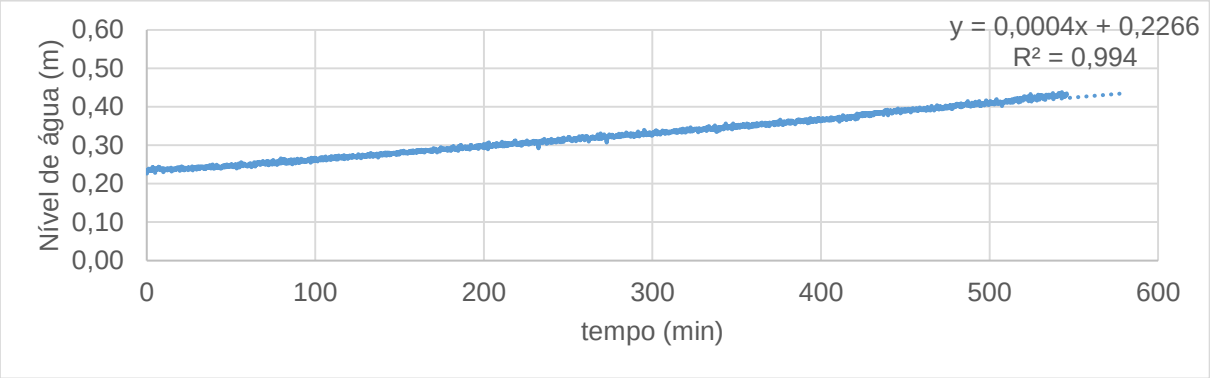


Figura 30: Variação do nível da água no P2 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz.

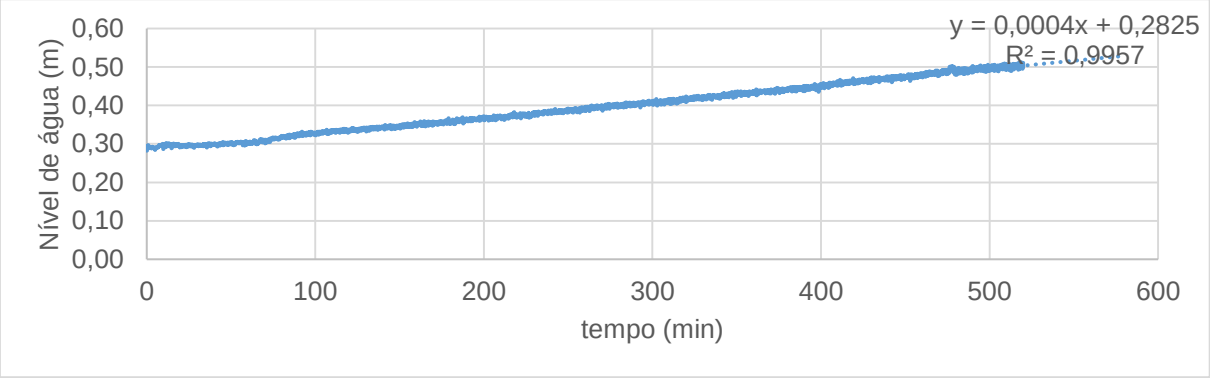


Figura 31: Variação do nível da água no P3 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz.

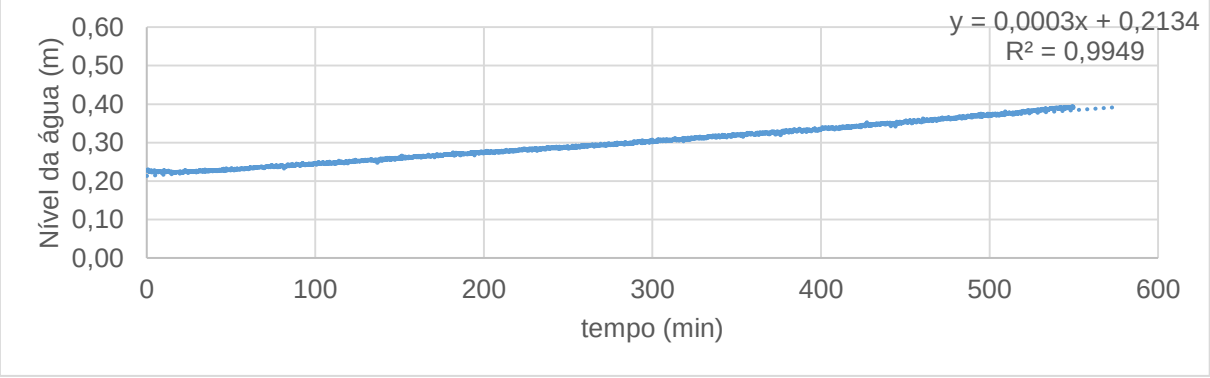
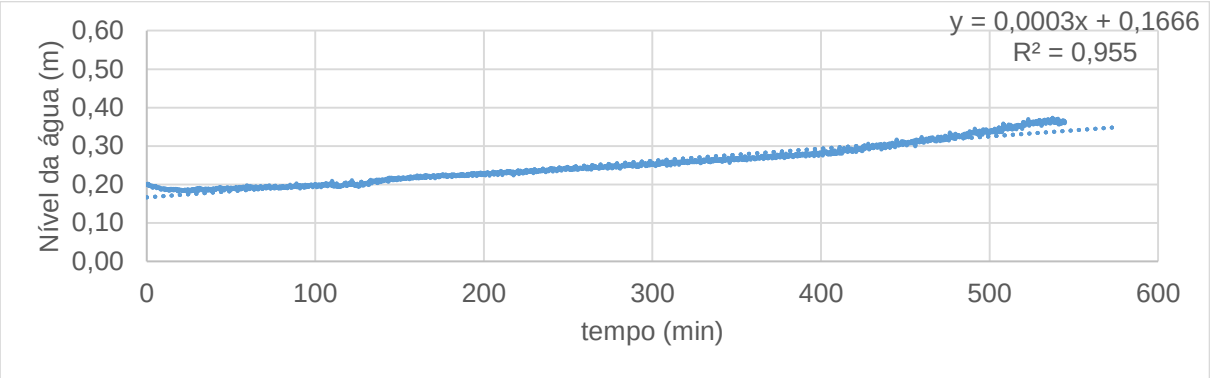


Figura 32: Variação do nível da água no P4 do N1F até N2F, em carreira de 40 horas na ETA Extremoz.



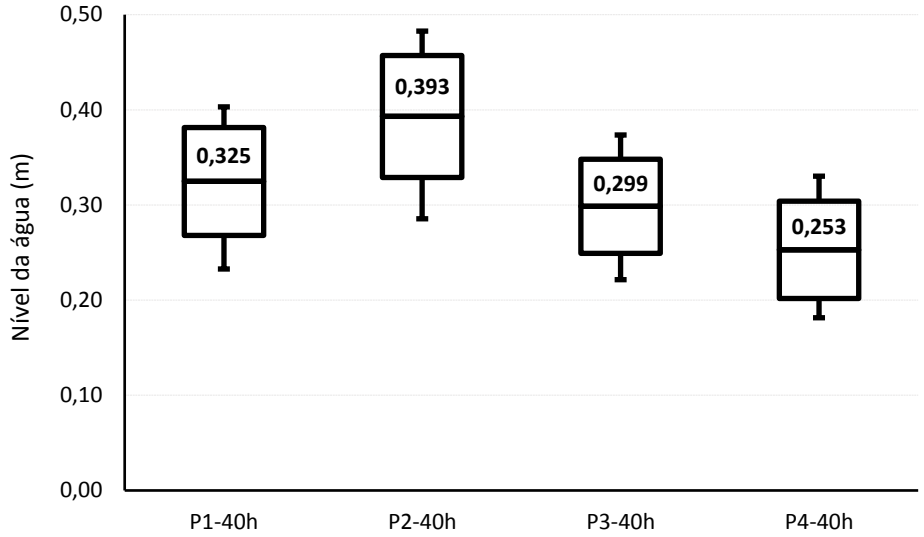
Ao analisar os gráficos nota-se que todos possuem forte correlação dos dados entre sí, quanto mais próximo de 1,00 melhor. Todo aumento do nível de água nos filtros da ETA Extremoz com carreira de filtração de 40 horas, pode ser previsto em funções de 1 grau. Os níveis de água nas carreiras de 40 horas foram maiores do que em 32 e 24 horas, em decorrência do aumento da perda de carga do meio granular e tempo de monitoramento.

Ao analisar os N3F que foram os maiores níveis de água dentro do filtro o maior valor é 0,735m, ao somar o nível da água com a perda de carga de 0,073m no pior cenário no qual a taxa de filtração sobe para 495m³/m².dia, a carga hidráulica no canal de água decantada necessária será de 0,808m, o qual é atendida pelo nível da água existente de 1,60m.

4.2.6 Análises Estatística – Carreira de 40 horas

Para as análises de média e desvio padrão do nível da água, nos quatro períodos, foi criada a Figura 33 para a carreira de 40 horas.

Figura 33: Média, desvio padrão e faixa de variação do nível da água na carreira de 40 horas – ETA Extremoz.



O nível médio da água dos P1, P3 e P4 estão dentro da faixa de desvio padrão entre eles, exceto o P2 que está apresentando média acima dos outros, o que pode estar relacionado aos sólidos suspensos.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS CARREIRAS DE FILTRAÇÃO

Com objetivo de comparar os mesmos períodos de filtração entre as diferentes carreiras foram realizadas ANOVA e teste Tukey, para verificar quais períodos foram diferentes entre sí.

Os resultados em todas as ANOVA apresentam que F > F crítico, ou seja, há correlação linear significativa entre as variáveis e recusa da hipótese nula. O resultado valor-P tendendo a zero, indica que há variância entre os grupos.

Em todos os testes Tukey indicam que os conjuntos de períodos diferem entre sí, ou seja, há diferença estatística entre as perdas de carga em decorrência do aumento da carreira de filtração que consequentemente há aumento da perda de carga em todos os períodos. Os resultados complementares das análises estatísticas podem ser observados no Anexo 1.

Portanto afirma-se que com a comparação das carreiras de filtração de 24 horas, 32 horas e 40 horas, há diferença entre os níveis de água e que o aumento está relacionado diretamente com o aumento do tempo.

4.4 AFERIÇÃO DO VOLUME GASTO NAS LAVAGENS

Na lavagem dos filtros da ETA o consumo médio informado pela CAERN é de 200m³ (200.000L) por lavagem, independente da carreira de filtração, em vistas que não há alterações do tempo e vazão da lavagem dos filtros durante o monitoramento.

Em vistas a verificar o volume real consumido nas lavagens dos filtros da ETA com o volume informado (200m³) e o teórico (178,43m³) foi realizado a medição com uso de medidor ultrassônico de vazão. Os resultados podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados da medição de consumo de água na lavagem dos filtros.

DATA	HORA	CONSUMO (L)	DATA	HORA	CONSUMO (L)
22/10/2016	12:00	203.307	23/10/2016	00:00	199.581
22/10/2016	18:00	201.587	23/10/2016	06:00	204.330
MÉDIA GERAL		**202.201**	**DESVIO PADRÃO**		**2.081**

Os resultados da medição de consumo de água nos filtros apresentam consumo médio de 202.201 litros por lavagem, ou seja, 2.201 litros a mais na média de lavagem por filtro.

Contudo se analisar que a metodologia que a CAERN utilizou para realizar a medição é diferente da utilizada e que o medidor ultrassônico possuí margem de erro de ± 1%, considera-se que a média de consumo de água na lavagem dos filtros de 200.000 litros é aceitável.

4.5 ANÁLISE VOLUMETRICA DO AJUSTE OPERACIONAL

A água utilizada na lavagem dos filtros é água tratada que é distribuída para a população. Com a alteração da carreira de filtração ocorreu diminuição do consumo de água de lavagem de filtros, conforme Tabela 10.

Tabela 10: Análise volumétrica decorrente da alteração da carreira de filtração

CARREIRA DE FILTRAÇÃO (h)	**24**	**32**	**40**
CONSUMO DE ÁGUA PARA LAVAGEM DOS FILTROS (m^3/mês)	24.000	18.000	14.400
REDUÇÃO (%) EM RELAÇÃO A 24H	-	25%	40%
REDUÇÃO (m^3/mês) EM RELAÇÃO A 24H	-	6.000	9.600

A redução de consumo de água na lavagem dos filtros proporcionou o aumento da produção de água, em vistas que a água tratada utilizada para lavagem dos filtros foi reduzida; A economia direta de energia, produtos químicos e mão de obra, necessários para o tratamento da ALF; E a melhoria no desempenho da ETA que reduz parte do seu percentual de perdas no sistema de tratamento.

5 CONCLUSÃO

Após as análises físicas e químicas da água bruta, da água de recirculação, da água tratada, da água de lavagem dos filtros, conclui-se que:

A qualidade da água bruta, da água de recirculação e da água tratada não tiveram alteração significativa em relação à média durante o período de monitoramento de 12 meses consecutivos;

A concentração de sólidos em suspenção e sólidos totais aumentou na ALF em decorrência do aumento da carreira de filtração;

A média de sólidos sedimentáveis de cada minuto de lavagem dos filtros, indicam que a lavagem de 5 minutos é satisfatória, mesmo para carreira de 40 horas, em decorrência da baixa quantidade média de sólidos sedimentáveis, menor que 1 mL/L, nos últimos minutos de lavagem.

Em relação às análises do monitoramento do nível da água nos filtros em diferentes carreiras de filtração conclui-se que:

O aumento da carreira de filtração contribuiu diretamente para o aumento linear do nível da água no filtro. No entanto não foi observado alteração significativa da qualidade da água tratada.

Na carreira de 40 horas o nível máximo da água foi de 0,808m o que é possível de ser atendido pela carga existente de 1,60m. Portanto, pode-se adotar o nível de água de 1,00m nos filtros que corresponde aproximadamente de 2/3 da carga disponível, para que haja carga hidráulica disponível, em caso de ocorrência de alguma eventualidade operacional.

O critério para o encerramento da carreira de filtração deverá ser alterado, para quando alcançar o nível de água máximo adotado de 1,00m acima da calha, ou quando a carreira atingir 40 horas, o que ocorrer primeiro.

REFERENCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12216: **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro/RJ, 1992.

ABREU; S. B. **Comportamento de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento mediante emprego de polímeros como auxiliares de filtração**. Tese de doutorado. São Paulo/SP: USP, 2009. Disponível em:<www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09092009141154/publico/Tese_Doutorado_Final.pdf>. Acessado em: 15 fev. 2017.

APHA et al. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed.** E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, and L.S. Clesceri. New York: American Public Health Association. 2012.

AWWA - American Water Works Association. **Water Treatment Plant Residual Management, Water Quality & Treatment, a Handbook of Community Water Supply**. New York: McGraw-Hill, 1999.

BASTOS, R.K.X.; VARGAS, L. C.; MOISÉS, S. S.; SILVA, H. C.A. **Avaliação de desempenho de estações de tratamento de água. Desvendando o real**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVII. Porto Alegre-RS, 2000. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-047.pdf>. Acessado em 20 abr. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União nº 053, de 18/03/2005.

CAMPOS, H. L. **Caracterização de resíduos líquidos gerados em estações de tratamento de água**. Dissertação de mestrado. Natal/RN: UFRN-PPGES. 2015.

CAMPOS; M. C. D. M; **Influência da recirculação de água de lavagem de filtros na qualidade da água tratada para consumo humano**. Dissertação de mestrado. Campinas/SP: UNICAMP. 2014. Disponível em: < http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000927015>. Acessado em 10 fev. 2017.

CLEASBY, J. L.; WILLIAMSON, M. M.; BAUMANN, E. R.; HUDSON JR, H. E. **Effect of Filtration Rate Changes on Quality**. Journal - American Water Works Association, 1963. Disponível em: <http://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/29324318.aspx>. Acessado em 02 fev. 2016.

CORNWELL, D. A.; TOBIASON, J.; BROWN, R. **Innovative Applications of Treatment Processes for Spent Filter Backwash - Subject Area: Water Resources and Environmental Sustainability**. AwwaR, 2010. Disponível em: <www.waterrf.org/PublicReportLibrary/3114.pdf>. Acessado em 02 fev. 2016.

CORNWELL, D. A.; BISHOP, M.M.; BISHOP, T. R.; MCTIGUE, N. E. **Full Scale Evaluation of Declining and Constant Rate Filtration**. AWWA Research Foundation, 1991. Disponível em: <www.waterrf.org/PublicReportLibrary/RFR90579_1992_202.pdf>. Acessado em 02 fev. 2016.

DI BERNARDO, L. **Hidráulica da filtração com taxa declinante**. Revista DAE, 1986. Disponível em: <revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_146_n_184.pdf>. Acessado em: 22 fev. 2016.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Ed. LDIBE LTDA, 2008.

DUARTE, M. A. C. **Adequação do sistema de filtração e drenagem da ETA Extremoz**. Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

EPA - Environmental Protection Agency. **WATER TREATMENT MANUALS FILTRATION**. Irlanda, 1995. Disponível em: < https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/EPA_water_treatment_manual_%20filtration1.pdf>. Acessado em 08 ago. 2015.

HAN, S.; FITZPATRICKA, C. S. B.; WETHERILLB, A.; **The impact of flow surges on rapid gravity filtration**. Water Research, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408006052>. Acessado em 02 fev. 2016.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Ed. Átomo, 2010.

LOGSDON, G. S.; HESS, A. F.; CHIPPS, M. J.; RACHWAL, A. J. **Filter Maintenance and Operations Guidance Manual**. Awwa Research Foundation and American Water Works Association, 2002. Disponível em:

<www.waterrf.org/PublicReportLibrary/RFR90908_2002_2511.pdf>. Acessado em 02 fev. 2016.

PEREIRA, I. L. S.; ARAÚJO, A. L. C. **Caracterização do efluente de lavagem dos filtros da estação de tratamento de água da lagoa do Jiqui/RN**. Natal/RN: Revista Holos, 2014.

MACHADO, R; DI BERNARDO, L.; TANGERINO, E; **Critérios de dimensionamento de filtros rápidos por gravidade com taxa declinante variável**. In.: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Cancún, México: 2002.

MENDES, C. G. N; GABRIEL, J. C.; **Hidráulica da filtração com taxa declinante: nova solução gráfica iterative para determinação de níveis e taxa de filtração operacionais**. In.: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Porto Alegre - RS: 2000.

PIRI, I.; HOMAYOONNEZHAD, I.; AMIRIAN, P. **Investigation on optimization of conventional drinking water treatment plant.** 2010. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5652523&isnumber=5648795>. Acessado em 27 jan. 2017.

PIZZI, N; **Optimizing your plant's filter performance**. 2000. Disponível em: <http://faculty.washington.edu/markbenj/CEE483/Opflow_2000-06%20filtration.pdf>. Acessado em 28 jan. 2017.

REIS, J. R. B; **Estudo de reuso e reciclagem de água de lavagem de filtro rápido de estação de tratamento de água, em sistema de ciclo fechado, independente**. Dissertação de mestrado. Campinas/SP: UNICAMP. 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000470532&fd=y>. Acessado em 31 jan. 2017.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. DE. **Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1991.

SALDANHA, J. R. **Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água com sistema de dupla filtração, em escala real**. Dissertação de mestrado. São Carlos/SP: USP. 2002. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-24012017-52630/publico/Dissert_Saldanha_JoaoR.pdf>. Acessado em 12 fev. 2017.

SCALIZE, P. S.; DI BERNARDO, L. **Caracterização da água de lavagem dos filtros rápidos de estações de tratamento, de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico**. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais Eletrônicos II-023. Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD ROM

SPELLMAN, F. R. **Handbook of Water and Wastewater treatment Plant Operations**. Flórida: CRC Press, 2014.

SCHUTTE, F. **HANDBOOK FOR THE OPERATION OF WATER TREATMENT WORKS**. The Water Research Commission - The Water Institute of Southern Africa, 2006. Disponível em: <http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHUTTE%202007%20Handbook%20for%20the%20Operation%20of%20Water%20Treatment%20Works.pdf>. Acessado em 02 fev. 2016.

OLIVEIRA, D. C.; BASTOS, R. K. X.; BORGES, N. B.; PIMENTA, J. F. P.; NASCIMENTO, L. E. **Avaliação de desempenho de filtros rápidos de fluxo descendente: a importância da adequada operação**. Montevideo, AIDIS, 2006. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR02257_Oliveira.pdf>. Acessado em 10 abr. 2016.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions**. 1999. Disponível em: <http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/200021OB.PDF?Dockey=200021OB.PDF >. Acessado em 02 fev. 2016.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report**. 2011. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/guide/treatment/upload/residuals_management_report.pdf>. Acessado em 17 dez. 2015.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for Drinking-water Quality**. Fourth edition. 2011. Disponível em Disponível em: <whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf>. Acessado em 17 dez. 2015.

ANEXO 1 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS COMPLEMENTARES

Resultados de ANOVA por período em diferentes carreiras.

ANOVA F1 CARREIRAS de 24h, 32h e 40h

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	25,99227	2	12,99613	6668,6562	0	2,99687
Dentro dos grupos	15,42506	7915	0,00195			
Total	41,41733	7917				

ANOVA F2 CARREIRAS de 24h, 32h e 40h

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	57,82377	2	28,91189	11605,663	0	2,9969
Dentro dos grupos	19,10741	7670	0,00249			
Total	76,93118	7672				

ANOVA F3 CARREIRAS de 24h, 32h e 40h

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	17,22699	2	8,61349	5563,1772	0	2,99696
Dentro dos grupos	11,31037	7305	0,00155			
Total	28,53736	7307				

ANOVA F4 CARREIRAS de 24h, 32h e 40h

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	27,38702	2	13,69351	8542,5225	0	2,99686
Dentro dos grupos	12,75813	7959	0,0016			
Total	40,14515	7961				

LEGENDA: SQ.: Soma dos quadrados dos desvios; gl: Grau de liberdade para a distribuição F; MQ: Média dos quadrados dos desvios (SQ/gl), com MQ da regressão referente a variância explicada, com MQ dos resíduos referente a variação não explicada; F: MQ da regressão / MQ dos Resíduos; Valor-P: menor nível de significância que pode ser assumido para rejeitar a hipótese nula; F crítico: valor de referência para o teste F para correlação linear significativa.

Resultados do teste Tukey, por período em diferentes carreiras.

Teste Tukey P1			
	24h	32h	40h
24h	-	0,00002	0,00002
32h	-	-	0,00002
40h	-	-	-
Teste Tukey P2			
	24h	32h	40h
24h	-	0,00002	0,00002
32h	-	-	0,00002
40h	-	-	-
Teste Tukey P3			
	24h	32h	40h
24h	-	0,00002	0,00002
32h	-	-	0,00002
40h	-	-	-
Teste Tukey P4			
	24h	32h	40h
24h	-	0,00002	0,00002
32h	-	-	0,00002
40h	-	-	-