

## II-279 – SISTEMA DE FILTRAGEM DUPLA PARA O POLIMENTO FINAL DO EFLUENTE DA ETE GAMA

**Pedro Phelipe Gonçalves Porto**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental, formado em 2012, pós graduado em Perícia e Auditoria Ambiental em 2014.

**Prof. Me. Mauro Roberto Felizatto**

Engenheiro Químico

**Rosamália Otoni Pimenta Campos**

Técnico de Laboratório

**Diego Nakashoji Nascimento**

Técnico de Laboratório

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Área Especial 16 lote 4 – Taguatinga – DF - Brasil - Tel: +55 (61) 9676-3155 - e-mail: [new.petter91@gmail.com](mailto:new.petter91@gmail.com)

### RESUMO

O trabalho é uma pesquisa aplicada para o levantamento de dados primários sobre um sistema de filtragem dupla que foi utilizado para o pós-tratamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto de uma cidade-satélite de Brasília (ETE Gama), a fim de verificar o desempenho e efetividade do mesmo. O sistema piloto que foi utilizado para o pós-tratamento do efluente da ETE Gama era composto por dois filtros lentos de leito fixo com o volume máximo de 50l cada um. O primeiro filtro possui um leito de areia onde ocorre a remoção física do material de maior tamanho além da remoção biológica devido à formação de um micro ecossistema no leito onde ocorre a predação dos micro-organismos. O segundo filtro tem um leito de carvão ativado granular (CAG) que, além de adsorver as partículas que causam cheiro e cor para o efluente, acaba também adsorvendo bactérias, ajudando na remoção biológica. Nove variáveis foram analisadas a cada amostragem antes e depois de cada filtro (três pontos de coleta) para verificar o desempenho de cada etapa do sistema ao longo do tempo. As médias simples de remoção total das variáveis analisadas foram: pH -6,56%; Turbidez 26,46%; ST 23,62%; DQO 41,78%; DBO 40,90%; Fósforo Total 23,47%; TKN 33,87%; Coliformes Fecais 52,95%; Coliformes Totais 28,39%. O sistema pode ser utilizado em outros cenários com o objetivo de redução dos poluentes listados no trabalho, desde que as características do afluente do sistema não se diferenciem muito, visando sempre a redução dos impactos ambientais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pós-tratamento, Polimento final, Filtros Lentos, Carvão Ativado Granular, Adsorção.

### INTRODUÇÃO

A água potável é um bem finito e é extremamente necessário para a sobrevivência. O crescente aumento da população faz que haja um aumento na pressão sobre os recursos hídricos, tanto em relação à captação de água potável quanto ao lançamento de efluentes poluentes nos corpos receptores. Tudo isso diminui ainda mais a quantidade de água que pode ser utilizada.

No Distrito Federal (DF) esse *stress* hídrico já é uma realidade. O crescimento desordenado e a falta de controle sobre invasões de áreas públicas comprometeram e muito a situação hídrica do DF. Em 2003 esse problema já estava em evidência e professores da UnB juntamente com técnicos da EMBRAPA se reuniram pra discutir o problema. No encontro o professor Paulo Sales faz a seguinte afirmação “O DF vive situação de pré-calamidade e tem a 3ª pior relação água/habitante do país. É possível que enfrentemos racionamento em prazo curto se continuarmos a usar os recursos hídricos de maneira irresponsável como temos feito”. No mesmo encontro, Rodrigo Rollemberg disse que o principal problema é a ocupação irregular do solo e citou a doação de lotes e a ocupação irregular de condomínios do Lago Sul, Sobradinho e Planaltina (CASTRO, 2012). Um agravante para a situação, é que o DF é região alta e de nascentes, água não para por aqui. A água escoar para as áreas mais baixas e fora do DF. Hoje o DF já lidera o *ranking* com a menos disponibilidade hídrica *per capita*.

Nos últimos anos, em virtude do forte crescimento populacional e da intensificação das atividades econômicas nos setores agropecuário, industrial e de serviços no Distrito Federal, verifica-se uma forte pressão sobre os recursos naturais, colocando em risco o uso sustentável da água, dos solos, da fauna e da flora regionais (IBRAM, 2012).

O trabalho realizado foi uma pesquisa aplicada, com o levantamento de dados primários sobre a alternativa de pós-tratamento do efluente da ETE Gama através de um sistema composto por dois filtros lentos de leito fixo, um com leito de areia e outro com leito de Carvão Ativado Granulado (CAG). Tendo como fonte de afluente o próprio efluente da ETE Gama. Por ser um sistema de tratamento de fluxo contínuo, um grande volume do efluente foi utilizado de modo que melhor local para os filtros ficarem, levando em conta o transporte do efluente e a estrutura de apoio, foi o próprio Laboratório da ETE Gama. A ETE Gama se localiza no km 20 da rodovia DF290 (16°01,493'S e 48°05,815'E) ao sudeste da cidade do Gama (FELIZATTO *et al.*, 2011).

## 1 - FILTRAÇÃO LENTA

A filtração lenta é um sistema simplificado de tratamento de água, que simula a depuração que ocorre na água quando ela infiltra e percola no solo. Microrganismos, partículas e substâncias químicas são removidos nesse percurso subterrâneo. Os filtros lentos eram bastante utilizados na década de 60, a partir da década de 70, com o surgimento de novas tecnologias e a falta de preocupação com os mananciais, essa técnica passou a ser desprezada (MARRARA, 2005).

A eficiência da filtração lenta na remoção de bactérias pôde ser comprovada em 1892 nas cidades de Hamburgo e Altona na Alemanha, que captavam água do Rio Elba. O tratamento de água de Altona possuía filtros lentos de areia e o de Hamburgo não. Em Hamburgo houve uma epidemia de cólera, que é causada por uma bactéria e é transmitida principalmente pela água, com 7500 mortes e em Altona nada ocorreu (MARRARA, 2005).

A filtração lenta destaca-se por ser um sistema que não requer uso de substâncias químicas, é de simples construção, operação e manutenção, não requer mão de obra qualificada. Geralmente apresenta custo acessível a pequenas comunidades (MARRARA, 2005).

Os filtros lentos consistem em uma unidade de fluxo descendente com taxa de filtração entre 3 e 6 m/dia, meio filtrante composto de areia com curva granulométrica definida entre 0,08 mm e 1 mm, camada suporte de pedregulho com espessura total entre 0,8 e 1m e carga hidráulica entre 1,4 e 1,9m (MARRARA, 2005).

A biota presente na filtração lenta é bastante diversificada, constituída de algas, bactérias, protozoários, rotíferos e metazoários. As algas são principalmente as diatomáceas, cianofíceas, clorofíceas e euglenofíceas, e se encontram na parte superior, aderidas à superfície do leito ou a camada biológica, e no interior do leito de areia. Bactérias aeróbias oxidam a matéria orgânica e auxiliam na formação da camada biológica. Os protozoários e rotíferos são importantes na estabilização biológica do efluente, por meio da remoção de bactérias. Os metazoários compreendem os rotíferos, microcrustáceos e nematódeos. A remoção de bactérias patogênicas e vírus no filtro lento é atribuída a vários fatores, destacando-se: o decaimento natural, por ser o filtro um ambiente relativamente hostil para esses microrganismos, a predação, o efeito biocida da radiação solar e a adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante (MARRARA, 2005).

Os filtros lentos operam com taxas de filtração de 0,1 a 0,2m/h com espessura de leito de aproximadamente 0,7m e tamanho efetivo dos grãos de areia entre 0,2 e 0,3 mm. O material suspenso fica retido na superfície do leito filtrante até 40 cm de profundidade, no topo da camada de areia se desenvolve uma camada biológica. O crescimento da camada biológica aumenta a remoção de partículas menores e permite a remoção de matéria orgânica e inorgânica. A formação da camada biológica no topo da camada de areia pode levar dias e até semanas. (MARRARA, 2005).

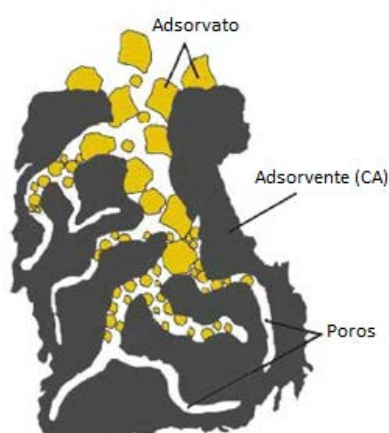
No pós-tratamento da ETE Gama, a unidade piloto operou com duas etapas, primeira etapa com um filtro lento de areia e segunda etapa com leito de carvão ativado.

## 2 - ADSORÇÃO E CARVÃO ATIVADO GRANULAR

### 2.1 - ADSORÇÃO

Adsorção é um processo de remoção de partículas de um fluido. Adsorvato é a substância que está sendo removida do fluido. Adsorvente é o meio onde o adsorvato fica retido (adsorvido). A adsorção pode ocorrer através de reações químicas entre adsorvente e adsorvato, ou por processos físicos (METCALF & EDDY, 2003).

O adsorvato fica retido nos poros do adsorvente e, devido à sua grande porosidade, o Carvão ativado (CA) é o principal adsorvente usado hoje em dia. A matéria-prima e o método de produção de CA influenciam diretamente na sua qualidade e na capacidade de adsorção. O mecanismo de adsorção pode ser visto na Figura 1.

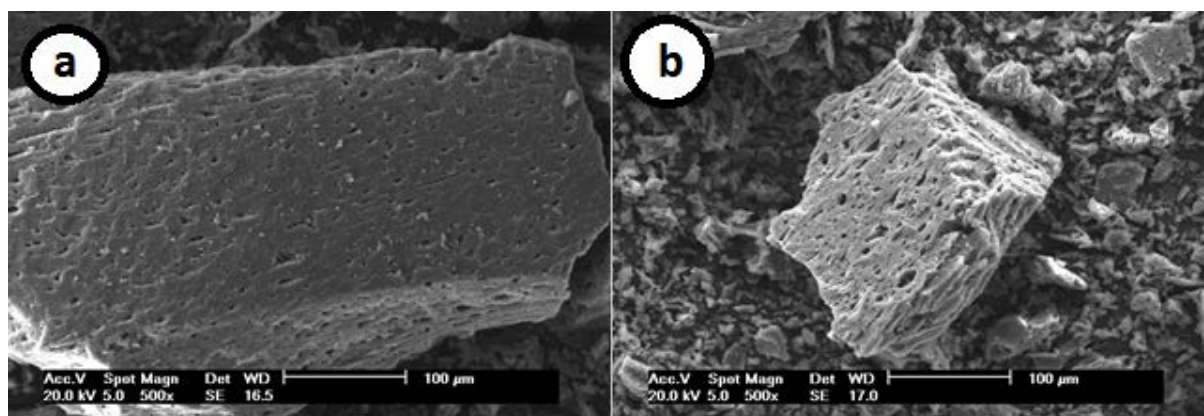


**Figura 1 – Desenho esquemático do mecanismo de Adsorção**

### 2.2 - CARVÃO ATIVADO GRANULAR (CAG)

O CA é preparado a partir de carvão feito de matéria orgânica como amêndoas, cocos, e nozes. Materiais como ossos e madeira também podem ser usados. O processo de pirólise –queima sem a presença de oxigênio– transforma essa matéria orgânica em carvão. Em seguida, o carvão passa por gases oxidantes como vapor e CO<sub>2</sub> em altas temperaturas (800°C a 900°C), e assim ele é ativado (METCALF & EDDY, 2003).

A ativação visa à ampliação da área superficial do carvão, aumentando sua quantidade de poros (porosidade), que é onde o adsorvato fica retido. A área superficial do carvão varia de 10 a 15 m<sup>2</sup>/g. Após a ativação a área superficial pode chegar a mais de 800 m<sup>2</sup>/g (FERNANDES, 2010).



**Figura 2 – Fotografia por microscopia eletrônica de varredura 500x. a: Carvão antes da ativação; b: Carvão ativado**

Fonte: FERNANDES (2010)

Comercialmente, o CA pode ser encontrado granulado (CAG) ou em pó (CAP). CA com granulometria menor que 0,17mm é considerado pó e acima desse tamanho é considerado granulado.

Devido à sua alta capacidade de adsorção, o CA se apresenta como uma ótima alternativa para a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no efluente. Substâncias como metil-isoborneol (MIB), geosmina, agrotóxicos e cianotoxinas, que causam cor, gosto, odor e podem ser tóxicas, podem ser removidas através da adsorção com carvão ativado (FERNANDES, 2010).

No tratamento de água, o CAP é aplicado na etapa de captação de água bruta, na entrada da estação de tratamento de água (ETA), juntamente com o coagulante na unidade de mistura rápida e na entrada dos filtros. Quanto mais tempo o CAP passa em contato com a água, mais impurezas serão adsorvidas. Posteriormente o CAP cheio de impurezas é removido pelos filtros. Já o CAG é aplicado ao tratamento como meio filtrante (FERNANDES, 2010).

O carvão ativado tem sido empregado quando o manancial para abastecimento apresenta contaminação com concentrações muito baixas ( $\mu\text{g/L}$ ) e é necessário uma redução dos contaminantes para se adequar aos padrões de potabilidade. Devido às características do carvão ativado, mais especificamente a alta porosidade, a área superficial e a rugosidade, ele tem elevada capacidade de servir como meio de suporte para uma grande densidade de microrganismos se comparada a outros meios filtrantes como areia e antracito (MARRARA 2005).

Uma camada de CAG (espessura entre 8 e 15 cm) tem sido utilizada no leito de areia nos filtros lentos para adequar a filtração lenta na remoção de orgânicos. A sub-camada de CAG não influencia na perda de carga, a redução da matéria orgânica natural é maior no filtro com camada intermediária de CAG, mas com o tempo essa redução diminui, evidenciando que a adsorção é o mecanismo de retenção nesse período; a redução do maior nível de biomassa ocorre na camada biológica (MARRARA, 2005).

Em filtros de CAG, o adsorvato pode ser removido por adsorção física e por processo biológico (biorreação). A biodegradação de compostos orgânicos adsorvidos é chamada de biorregeneração, e pode estender à vida útil do carvão ativado. A capacidade de adsorção do CAG serve para concentrar nutrientes e oxigênio na superfície do carbono e favorece a rápida colonização e a degradação que acontece pelo maior tempo de contato entre microrganismo e substrato. Isto acarreta em menor tempo de adaptação dos microrganismos e a maior remoção no começo da operação. Quando existe presença de microrganismos, o processo é identificado como carvão ativado biológico, CAB. A literatura não apresenta referência a uma metodologia capaz de determinar e quantificar a contribuição da adsorção física e do processo biológico na diminuição da matéria orgânica, visto que os processos não são bem entendidos. Tem sido aceitado que atividade biológica no leito de CAG proporcione um aumento na adsorção da matéria orgânica, pela reabertura de novos poros de adsorção pela biodegradação da matéria orgânica, reduzindo a frequência de regeneração, logo reduzindo o custo de manutenção (MARRARA, 2005).

O processo de remoção é influenciado pelas características químicas do adsorvato, dos microrganismos presentes, das características do CAG (tamanho dos poros e processo de fabricação) e da temperatura. Além da adsorção física e da degradação biológica, alguns autores incluem os processos de oxidação química e catalítica em CAG. A presença de oxigênio molecular pode iniciar reações químicas com o adsorvato e acarretar polimerização ou degradação de moléculas e aumentar a capacidade de adsorção de alguns compostos orgânicos (MARRARA, 2005).

Levando em conta essas características do Carvão ativado, ele foi escolhido para formar o segundo leito do sistema de pós-tratamento, visando à adsorção das impurezas que passassem pelo leito de areia.

### **3 - FILTRAÇÃO EM MULTIPLAS ETAPAS**

A filtração lenta é um processo capaz de melhorar a qualidade física, química e bacteriológica da água, mas sua utilização é limitada pela qualidade do afluente do filtro, que tem que possuir valores de cor verdadeira, turbidez e teor de sólidos suspensos relativamente baixos. Devido às características do efluente da ETE Gama, a utilização dos filtros lentos foi viabilizada para o pós-tratamento. Outras limitações da filtração lenta que podem ser apontadas são: remoção baixa de minerais complexados, matéria orgânica (substâncias húmicas) e micropoluentes (MARRARA, 2005).

A utilização de filtros duplos constituídos de areia-antracito ou de diferentes materiais foi um dos grandes avanços efetuado no processo de tratamento de água. Ao mesmo tempo, a definição das características granulométricas de ambos os materiais constitui uma das questões técnicas de mais difícil solução. Ainda hoje, a escolha das características granulométricas dos materiais filtrantes em filtros duplos é baseada, ou no empirismo ou na experiência profissional do projetista (MARRARA, 2005).

Segundo Filho (1996), diversos pesquisadores têm opiniões contrárias no que diz respeito aos efeitos positivos ou negativos do maior ou menor grau de mistura entre a areia e o antracito. Enquanto alguns postulam ser a mistura importante, outros negligenciam este fato.

Embora algumas pesquisas tenham sido realizadas com o intuito de esclarecer melhor o assunto, a análise do meio filtrante, em geral, tem sido efetuada como um todo não analisando o comportamento da interface. No entanto, a grande dificuldade para a realização de pesquisas que objetivem estudar a significância do grau de mistura na interface em meios filtrantes duplos reside no fato de se ter que escolher materiais de idêntica granulometria, para que não seja prejudicado o processo de filtração, e ao mesmo tempo em que possibilitem uma maior ou menor mistura na interface (FILHO, 1996).

O efluente da ETE Gama atende com folga aos padrões de remoção do PRODES/ANA, um programa que estimula a operação adequada de ETES através do pagamento pelo esgoto tratado ao prestador de serviço de saneamento, contanto que as condições contratuais sejam cumpridas. A ETE Gama consegue reduzir em mais de 80% variáveis como DBO, DQO, SST, Pt e NTK., essa qualidade certificada pelo PRODES, permitiu a utilização de um filtro lento tendo em vista que o filtro lento tem suas limitações quanto ao seu afluente.

O pós-tratamento do efluente da ETE Gama foi concebido como um sistema de filtração de duas etapas. A primeira etapa é composta de um filtro lento de areia, e a segunda etapa é composta por um filtro com leito de CAG.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **1 - MATERIAIS**

Para a construção dos filtros, foram utilizadas 3 bombonas de 50L (dimensões 40x40x20cm), tubos e conexões de diâmetro de 1/2". Seixo foi utilizado para sustentar o tubo coletor no fundo dos filtros. Para evitar que o leito vazasse, foi utilizada uma camada de tecido não-tecido (TNT) sobre a camada de seixo. Uma bomba peristáltica de vazão máxima de aproximadamente 10,2 l/mim foi utilizada para bombear o efluente para os filtros.

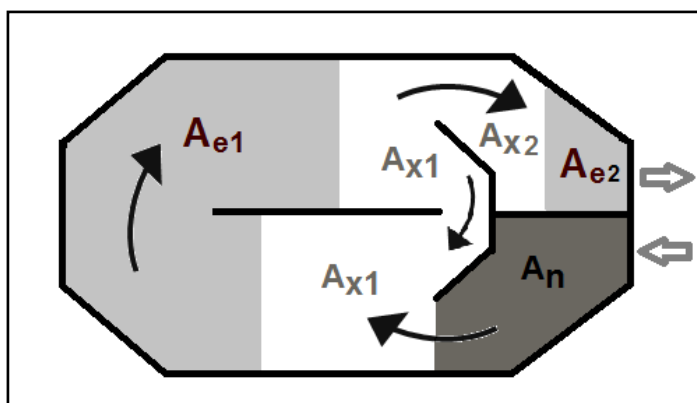


Foi utilizado na confecção do leito filtrante da primeira etapa 15kg de areia “fina” para filtros de piscina e resultou em uma camada de aproximadamente 13cm.

Foi utilizado na confecção do leito filtrante da segunda etapa aproximadamente 12kg carvão ativado granular de babaçu e resultou em uma camada de aproximadamente 10cm. Com as seguintes características: número de Iodo do CAG é igual a 974 mg I<sub>2</sub>/g Ca e a umidade é 3,5% (TOBASA BIOINDUSTRIAL, 2012).

O efluente tratado foi o efluente da ETE Gama. A ETE Gama foi projetada para uma vazão média de 328 l/s e carga orgânica de 9867 Kg.DBO/dia. Essa unidade de depuração traz uma nova configuração, que associa sequencialmente os processos anaeróbio e aeróbio. A ETE Gama lança seu efluente final no Ribeirão Ponte Alta, pertencente à Bacia hidrográfica do Rio Corumbá fica, que a montante da represa Corumbá IV. (FELIZATTO *et al.*, 2011).

O reator aeróbio da ETE Gama é classificado como processo PHOREDOR ou BARDENPHO<sup>®</sup> Modificado de cinco Estágios, com aeração prolongada e co-precipitação. Como podemos perceber na Figura 3, não existe compartimentação das fases que compõe o processo (FELIZATTO *et al.*, 2011).



**Figura 3 - Desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama (sem escala).**

**Legenda:** Na: Zona Anaeróbia, A<sub>x1</sub>: Zona Anóxica (Primeira), A<sub>e1</sub>: Zona Aeróbia (Primeira), A<sub>x2</sub>: Zona Anóxica (Segunda), A<sub>e2</sub>: Zona Aeróbia (Segunda).

Fonte: FELIZATTO *et al.* (2011)

A Figura 4 apresenta o fluxograma de todo o processo de tratamento da ETE Gama, fases líquida e sólida.

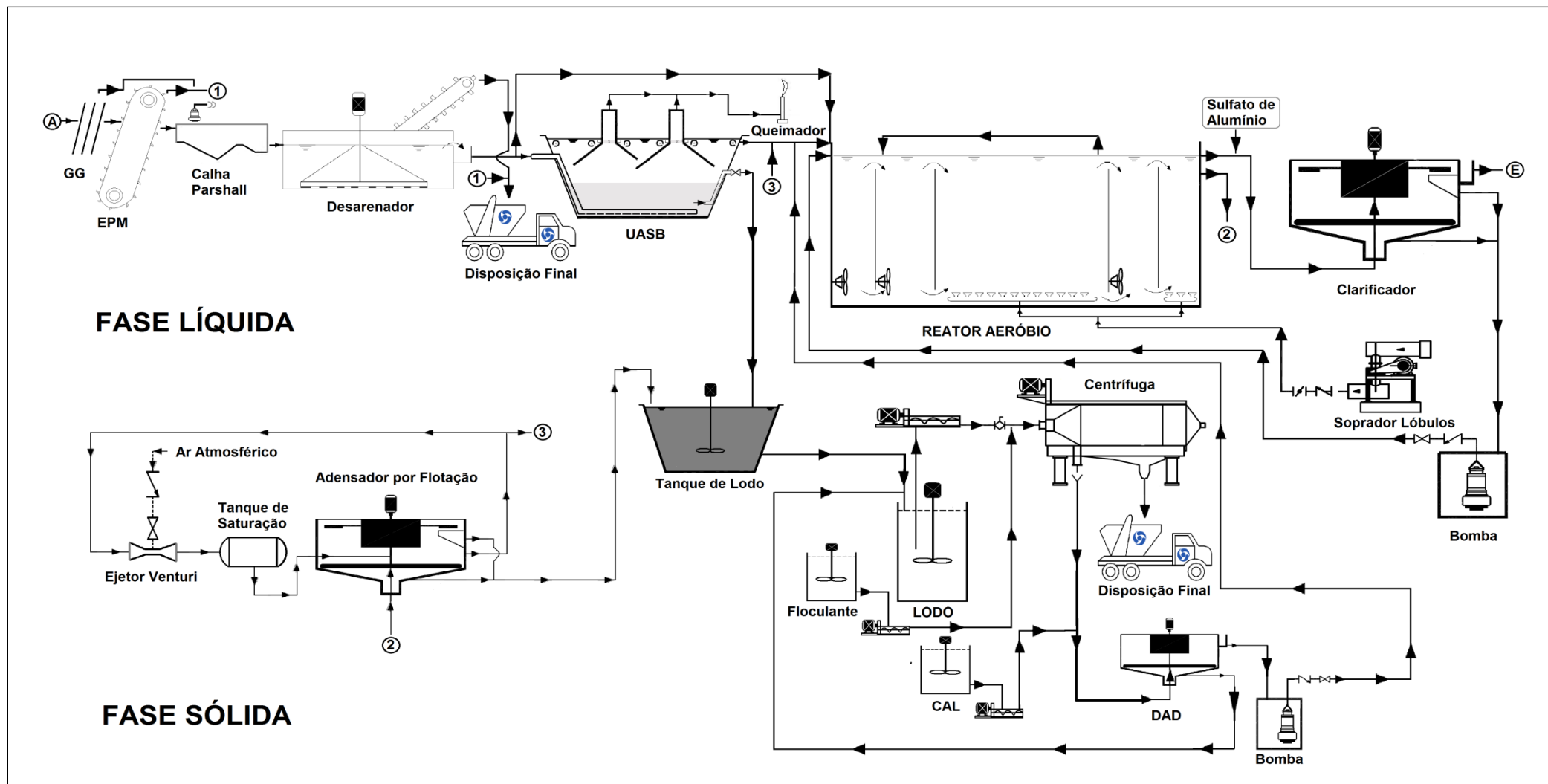


Figura 4 - Fluxograma da Estação de Tratamento de Esgotos do Gama

Legenda: A: Afluente, E: Efluente, GG: Grade Grosseira, EPM: Esteira Peneiramento Mecânico, UAS: .Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, DAD: Decantador e Adensador de Lodo não capturado.

Fonte: FELIZATTO *et al.*(2011)

Como demonstrado no fluxograma de processo da Figura 4, a configuração das unidades de tratamento da ETE Gama é a seguinte: Tratamento Preliminar (Grade Grosseira de limpeza manual de abertura de 2", três Esteiras de Peneiramento Mecânico de abertura 3 mm), quatro reatores UASB e dois reatores aerados com dois clarificadores por reator..

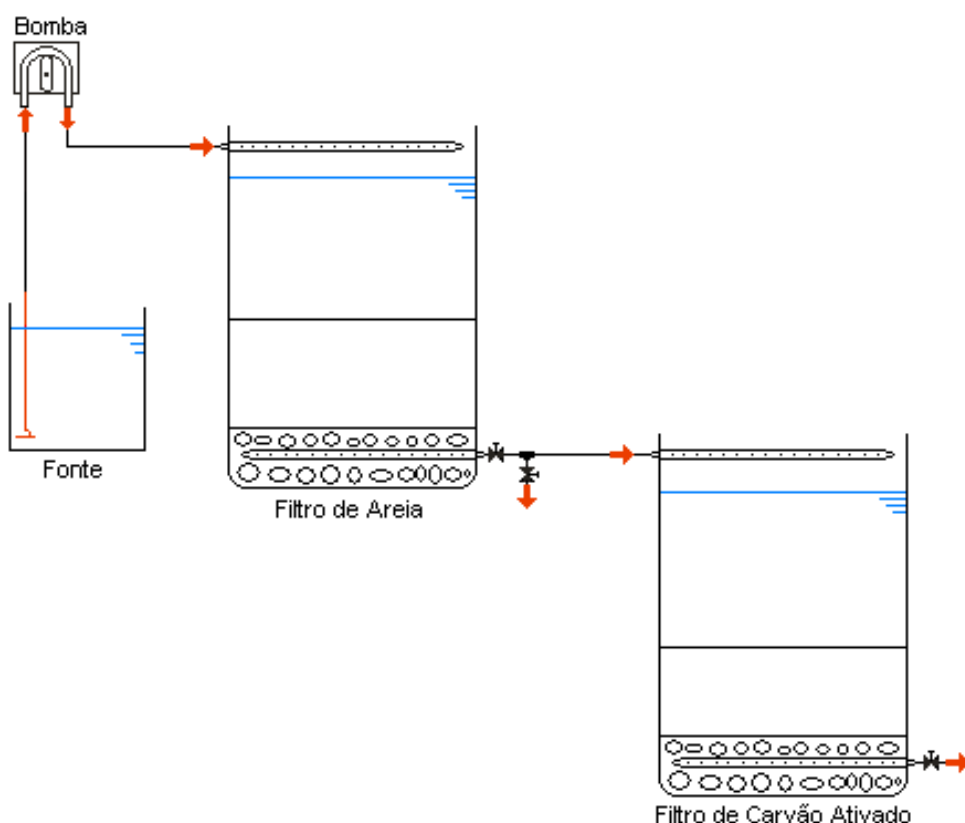
Em geral, o efluente da ETE Gama tem como limites máximos: DBO 25mg/l, DQO 64mg/l, SST 26mg/l, P<sub>T</sub> 1,5mg/l e N<sub>T</sub> 13,6mg/l (FELIZATTO *et al.*, 2011).

Também foi utilizado material laboratorial e reagentes para a caracterização das amostras de acordo com os métodos indicados no Standards Methods, para se medir as variáveis como pH, ST, DQO, DBO, Fósforo total (P<sub>T</sub>), NTK, Turbidez e coliformes termotolerantes.

## 2 - MÉTODOS

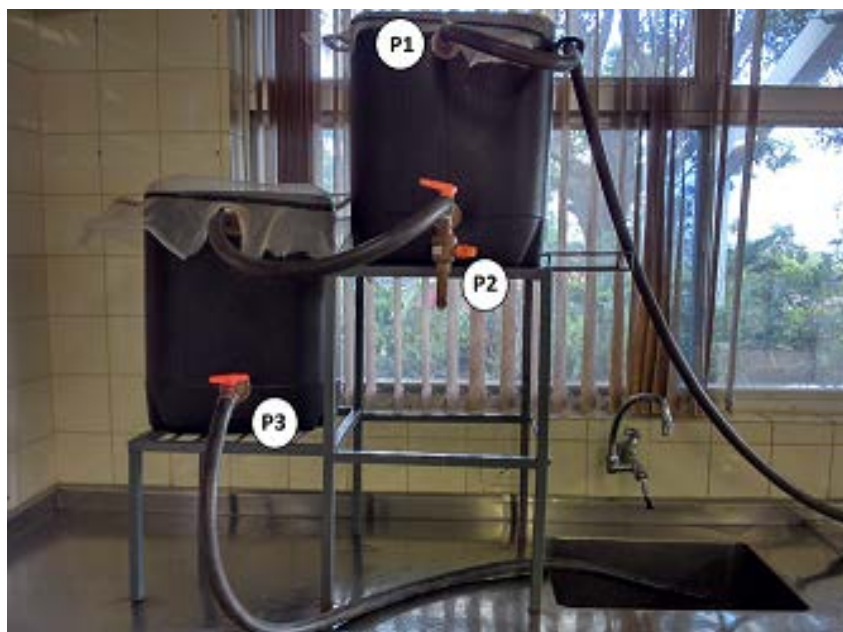
Os filtros ficaram localizados no laboratório da ETE Gama. Uma das bombonas serviu como fonte de afluente, duas foram utilizadas para montar os filtros. O efluente deve permanecer aproximadamente 20mm no filtro de areia e 20mm no filtro de carvão ativado para que ocorram com maior efetividade os processos de filtração, adsorção e remoção biológica. A vazão foi de 10,2 l/min e dobrou após a retirada da bomba do sistema.

O efluente é bombeado da fonte para o filtro de areia, onde foi distribuído uniformemente pelo gotejador no leito de areia. O efluente resultante do processo foi distribuído uniformemente, pelo mesmo método, no filtro de carvão ativado. Existia uma válvula depois de cada filtro que foi usada para coletar as amostras e controlar a vazão. O Desenho esquemático da configuração inicial pode ser visto na Figura 5.



**Figura 5- Desenho esquemático da configuração inicial da Unidade Piloto, fluxo contínuo e descendente.** No período de 63 dias foram realizadas 11 amostragens, a fim de captar a capacidade de remoção de cada etapa da filtração. Foram coletadas amostras em três pontos diferentes (P1, P2, P3). P1 fonte do efluente (afluente), P2 efluente do filtro de areia, P3 efluente do filtro de CAG (efluente final). Os pontos de coletas podem ser observados (P1, P2 e P3) na Figura 6





**Figura 6 – Fotografia da Unidade Piloto demonstrando os pontos de coletas: Afluente (P1); Efluente Filtro de Areia (P2); e Efluente Final ou Efluente Filtro de Carvão Ativado (P3).**

A bomba não aparece na Figura 6, visto que a foto foi tirada no dia da última coleta e após a terceira coleta a bomba não resistiu e danificou. Então o efluente começou a vir direto da rede de reuso do efluente da CAESB com a vazão mínima possível. O recipiente “fonte” também foi dispensado. A partir da quarta coleta, a vazão foi aproximadamente o dobro da inicial.

As amostras foram coletadas em recipientes devidamente higienizados e esterilizados (quando necessário), e transportados para a UCB, as amostras foram analisadas no mesmo dia da coleta no Laboratório de Caracterização de Resíduos e no Laboratório de Águas da UCB. Nos laboratórios, nove variáveis das amostras foram analisadas em cada ponto de amostragem.

## 2.1 - VARIÁVEIS FÍSICAS

### SÓLIDOS TOTAIS (ST)

Pode ser encontrada uma grande variedade de materiais sólidos nas águas residuais, desde “trapos” até material coloidal (METCALF & EDDY, 2003). O material mais grosseiro deve ser removido na amostragem. O material mais grosseiro encontrado no efluente ETE Gama foram alguns resquícios de lodo. ST, como o próprio nome já diz, representa a quantidade total de sólidos existentes em um volume de amostra, podendo relacionar a quantidade de sólidos com o potencial poluidor. Foi utilizado o método gravimétrico para calcular o ST. De acordo com esse método, 100ml da amostra são colocados em uma cápsula a qual é levada para a estufa onde a amostra fica durante 24 horas na temperatura de 105°C, a água evapora e o que resta na capsula é a massa total dos sólidos, o resultado é dado em mg/l (APHA/AWWA/WPCF, 2000).

### TURBIDEZ

Turbidez se refere às propriedades de transmissão de luz da amostra, e também indica a qualidade das amostras com respeito ao material coloidal e o material residual suspenso. O Teste é feito no turbidímetro, que incide luz de um lado da amostra e capta a quantidade de luz passante do outro lado. Quanto mais limpa a amostra, menos luz vai se dispersar e mais luz vai chegar ao captador do turbidímetro. O resultado encontrado é dado em *Nephelometric Turbidity Units* (NTU) e em português é unidades nefelométricas de Turbidez (unT) (METCALF & EDDY, 2003). Para medir a Turbidez, foi utilizado o método nefelométrico, segundo APHA/AWWA/WPCF( 2000).

## **2.2 - VARIÁVEIS QUÍMICAS**

### **pH**

A concentração do íon hidrogênio (pH) é importante para qualificar tanto água residuária quanto água natural. O pH pode variar de 0 a 14, tendo 7 como o valor neutro. Quanto mais próximo de 0, mais ácido o meio e quanto mais próximo de 14, mais alcalino. A maioria da vida biológica vive entre os pHs de 6 e 9. Uma grande alteração nesse número pode causar perdas nas atividades biológicas, e pode gerar um empecilho para o tratamento biológico ou para o corpo receptor (METCALF & EDDY, 2003). O pH é medido pelo peagâmetro e o resultado não possui unidade.

### **FÓSFORO TOTAL**

O Fósforo (P) também é extremamente necessário para o crescimento das algas e de outros organismos. Devido à afloração de algas nocivas na superfície da água e os efeitos negativos que elas podem causar ao meio ambiente, é necessário um controle da emissão de P (METCALF & EDDY, 2003). A quantidade de P total das amostras foi medida nos laboratórios, pelo método do cloreto estanoso (APHA/AWWA/WPCF, 2000).

### **NITROGÊNIO TOTAL DE KJELDÄHL (NTK)**

Os elementos nitrogênio (N) e fósforo (P) são essenciais para o crescimento dos micro-organismos. Outros elementos, como o ferro (Fe), também são importantes, mas na maioria dos casos o N e P são mais relevantes. Isso porque o N é fundamental para a síntese de proteína (METCALF & EDDY, 2003). Um efluente com altos níveis de N e P pode causar eutrofização do corpo receptor. Para verificar a quantidade de amônia e nitrogênio orgânico, foram realizados os testes de NTK. O resultado final é dado em mg/L (APHA/AWWA/WPCF, 2000). O NTK representa uma fração do nitrogênio total.

### **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)**

A variável mais utilizado para a determinação de poluição orgânica tanto em água residual quanto em água superficial, é a DBO de 5 dias. Esse teste mede a quantidade de oxigênio dissolvido que os microrganismos necessitam para degradar a matéria orgânica na amostra (METCALF & EDDY, 2003). Aproximadamente 400ml da amostra são colocados em um recipiente com nutrientes para 5 dias de metabolismo dos micro-organismos, após os 5 dias têm-se o resultado da DBO em mg/l (APHA/AWWA/WPCF, 2000).

### **DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)**

A DQO é usada para medir a quantidade de matéria orgânica na amostra que é suscetível à oxidação química. O resultado é dado em mg/L. A DQO foi feita pelo método de refluxo fechado, onde a amostra é digerida com o reagente e depois é feita a leitura da amostra digerida no espectrofotômetro (APHA/AWWA/WPCF, 2000).

## **2.3 - VARIÁVEIS MICROBIOLÓGICAS**

### **COLIFORMES TERMOTOLERANTES**

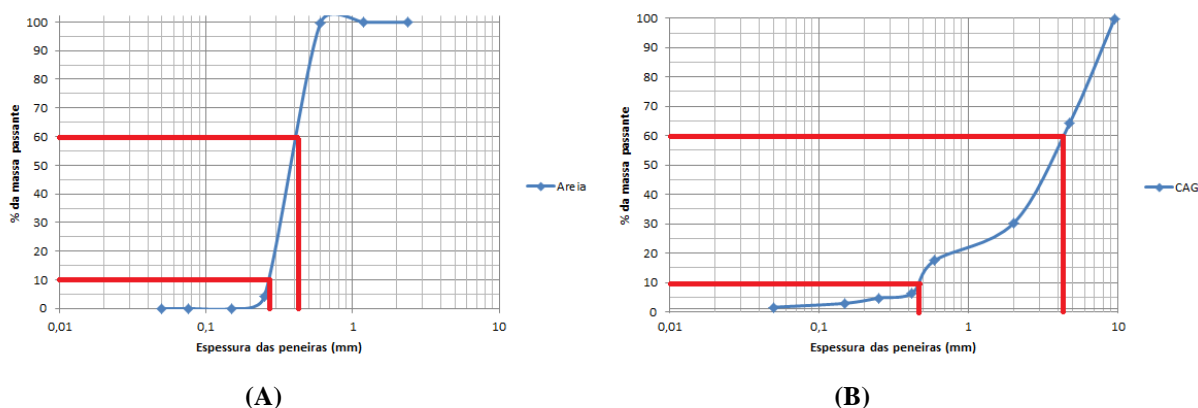
Os Coliformes Termotolerantes são um grupo de bactérias que tem origem no trato intestinal dos animais de sangue quente. Podem ser divididos em dois grupos, Coliformes Totais, que são expelidos por todos os animais de sangue quente, e os Coliformes Fecais, que só são expelidos pelo homem e alguns outros primatas desenvolvidos. Tendo em vista essas origens, a quantidade de coliformes é utilizada para verificar a relação com a o esgoto de origem doméstica e subsequente ao risco de transmissão de doenças que tem como veículo a água. O método utilizado para medir o número de coliformes (fecais e totais) foi o Sistema Cromogênico (APHA/AWWA/WPCF, 2000).

No período 63 dias, houve 11 dias de coleta para amostragem de 3 pontos diferentes para serem analisados, nove variáveis foram analisadas em cada amostra e deram origem a mais de 600 dados para a caracterização do sistema de pós-tratamento. Foi montada a Tabela 1 e a Tabela 2 com os resultados obtidos e para uma

melhor visualização dos dados do sistema, gráficos foram feitos com os resultados das tabelas, os gráficos podem ser visualizados em anexo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a melhor caracterização do meio filtrante, foi feita a curva de distribuição granulométrica de cada um. A Figura 7 apresenta a distribuição granulométrica.



**Figura 7 - Curvas Granulométricas: (A) Areia e (B) CAG. Em vermelho os valores de  $d_{10}$  e  $d_{60}$ , respectivamente.**

Para a análise granulométrica da areia verificou-se que  $d_{10} = 0,7\text{mm}$  e  $d_{60} = 0,9\text{mm}$ , o que gerou um coeficiente de uniformidade de 1,28 (coeficiente de uniformidade =  $d_{60}/d_{10}$ ). Considerando que amostras com o coeficientes de uniformidade menores que 3 são uniformes, pode-se dizer que a areia tem uma granulometria uniforme. A distribuição granulométrica do CAG apresentou  $d_{10} = 1\text{mm}$  e  $d_{60} = 8\text{mm}$  e resultou em um coeficiente de uniformidade de 8. Nesse caso, a distribuição dos grânulos de carvão ativado não é uniforme.

A Taxa de Aplicação Superficial (TAS) inicial foi de no máximo,  $0,125\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Durante o experimento essa taxa alterou devido ao aumento da vazão, o novo valor de TAS encontrado foi de aproximadamente  $0,25\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Sem a bomba a vazão variava bastante, mas era em média o dobro da vazão inicial. Os dados obtidos pelas análises das amostras foram organizados na Tabela 1.

A falta de precisão das válvulas utilizadas para controlar a vazão de um filtro para o outro dificultou o balanço hídrico do sistema. Essa dificuldade fazia que a lâmina d'água aumentasse até derramar do filtro, ou abaixasse até ficar praticamente inexistente. Depois que a bomba foi danificada o sistema foi ligado diretamente no sistema de reuso da ETE Gama e vazão foi dobrada e isso acabou acrescentando um grau a mais de dificuldade no balanço hídrico.

Nos últimos dias de análise, não foi possível analisar DQO e DBO devido a problemas de horário com os laboratórios, tendo em vista que são análises demoradas e os laboratórios iriam encerrar suas atividades. A Turbidez foi medida em NTU, os Coliformes em NMP/100ml e o Fósforo Total em mg/l. Todos os resultados das análises são apresentados na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1 - Resultados das análises encontradas durante todo o experimento.**

19/10/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	7,28	4,28	0,40	88	26	0,73	0,48	29800	241900
P2	7,29	6,11	0,46	24	13	0,49	0,37	51700	241900
P3	8,80	4,37	0,268	20	11	0,51	0,33	22800	241900
25/10/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	7,61	1,54	0,37	117	49	0,95	0,63	54700	241900
P2	7,55	2,19	0,36	42	19	0,52	0,44	20600	241900
P3	7,98	1,72	0,36	28	17	0,54	0,57	13900	241900
31/10/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	7,85	1,98	0,36	27	17	0,41	0,56	2600	54700
P2	7,44	2,03	0,34	54	27	0,29	0,41	2300	54700
P3	7,96	1,75	0,34	22	16	0,20	0,31	900	38700
8/11/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	7,32	1,50	0,46	19	19	0,47	0,21	7710	2419,20
P2	7,41	1,72	0,36	68	16	0,41	0,17	7940	1119,85
P3	7,72	1,14	0,36	16	14	0,40	0,19	6200	1119,85
13/11/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	7,22	1,33	0,30	22	5	0,45	0,44	2490	32550
P2	6,90	0,83	0,25	21	6	0,57	0,40	1200	241917
P3	7,13	0,73	0,34	12	2	0,42	0,23	740	26130
3/12/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	6,78	45,70	0,43	77	49	1,41	0,57	9050	2419,20
P2	6,50	17,50	0,40	338	47	0,01	0,34	2419,20	2419,20
P3	6,40	4,85	0,19	31	10	0,27	0,29	141360	2419,20
6/12/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	6,32	10,60	0,62	24	5	0,82	0,43	3590	141360
P2	7,06	0,12	0,25	16	5	0,70	0,39	970	20980
P3	7,13	0,11	0,23	20	3	0,55	0,22	840	14210
11/12/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	6,30	0,91	0,44	—	3	0,78	0,32	1100	18600
P2	6,46	0,87	0,12	—	3	0,87	0,28	410	6500
P3	6,87	1,43	0,33	—	2	0,75	0,15	630	5200
13/12/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	6,27	0,39	0,35	—	3	0,43	0,34	2110	36540
P2	6,43	0,12	0,39	—	4	0,48	0,36	200	26130
P3	6,88	0,10	0,38	—	3	0,46	0,29	630	8800
17/12/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	6,30	1,49	0,31	14	—	0,64	0,29	410	81640
P2	6,38	0,80	0,21	16	—	0,65	0,33	200	198628
P3	6,76	0,73	0,22	9	—	0,57	0,19	100	155307
20/12/2012	ph	Turbidez	ST (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Fósforo Total	NTK (mg/l)	Colif. Fecais	Colif. Totais
P1	6,49	0,40	0,37	13	—	0,42	0,27	1080	41060
P2	6,67	0,76	0,33	13	—	0,45	0,29	1100	34480
P3	6,98	0,53	0,20	9	—	0,46	0,19	960	15650

Foi percebido que algumas variáveis como NTK, Fósforo total, Coliformes fecais e totais, DBO e DQO, sempre apresentaram uma remoção gradual, com exceção de alguns dias em que o P2 apresentou mais concentrações maiores que a entrada (P1). Tendo em vista que essas remoções ocorrem pelos microrganismos, o micro ecossistema formado nos leitos conseguiu reter concentrações consideráveis de impurezas. Quanto ao pH percebe-se que há um aumento do seu valor assim que passa pelo leito de CAG, isso evidencia que há adsorção dos íons que deixam o pH do meio ácido e isso gerou remoções negativas.

Quanto a Turbidez, por três vezes o P2 apresentou o valor maior que o da entrada, ou o mesmo, isso pode indicar que ocorreu um vazamento do leito de areia para o sistema. Com exceção dos dois primeiros dias, o leito de CAG conseguiu reter as impurezas e a Turbidez final (P3) saiu mais baixa que a entrada.

Com relação aos sólidos totais, Podemos perceber que ele é removido principalmente no primeiro filtro, e podemos perceber uma pequena tendência do filtro 2 em não interferir e algumas vezes atrapalhar a remoção nessa variável. Os resultados também podem ser visualizados nos Gráficos com valores e concentrações em anexo.

Os percentuais de remoção de P1 para P2, P2 para P3 e P1 para P3 podem ser visualizados na Tabela 2. Os percentuais negativos indicam que ao invés de ocorrer a remoção, houve o acréscimo. Como pode ser observado, sempre houve remoções nas variáveis químicas e microbiológicas chegando picos de 53% de

remoção em NTK, 80% de Fósforo total, 89% em Coliformes totais, 76% em Coliformes fecais, 79% em DBO e 77% em DQO.

**Tabela 2 - Percentual de Remoção em cada etapa de filtragem.**

19/10/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-0,14%	-42,76%	-15,00%	72,73%	50,00%	32,88%	22,92%	-73,49%	0,00%
P2 -> P3	-20,71%	28,48%	41,74%	16,67%	15,38%	-4,08%	10,81%	55,90%	0,00%
P1 -> P3	-20,88%	-2,10%	33,00%	77,27%	57,69%	30,14%	31,25%	23,49%	0,00%
19/10/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	0,79%	-42,21%	2,70%	64,10%	61,22%	45,26%	30,16%	62,34%	0,00%
P2 -> P3	-5,70%	21,46%	0,00%	33,33%	10,53%	-3,85%	-29,55%	32,52%	0,00%
P1 -> P3	-4,86%	-11,69%	2,70%	76,07%	65,31%	43,16%	9,52%	74,59%	0,00%
31/10/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	5,22%	-2,53%	5,56%	-100,00%	-58,82%	29,27%	26,79%	11,54%	0,00%
P2 -> P3	-6,99%	13,79%	0,00%	59,26%	40,74%	31,03%	24,39%	60,87%	29,25%
P1 -> P3	-1,40%	11,62%	5,56%	18,52%	5,88%	51,22%	44,64%	65,38%	29,25%
08/11/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-1,23%	-14,67%	21,74%	-257,89%	15,79%	12,77%	19,05%	-2,98%	53,71%
P2 -> P3	-4,18%	33,72%	0,00%	76,47%	12,50%	2,44%	-11,76%	21,91%	0,00%
P1 -> P3	-5,46%	24,00%	21,74%	15,79%	26,32%	14,89%	9,52%	19,58%	53,71%
13/11/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	4,43%	37,59%	16,67%	4,55%	-20,00%	-26,67%	9,09%	51,81%	-643,22%
P2 -> P3	-3,33%	12,05%	-36,00%	42,86%	66,67%	26,32%	42,50%	38,33%	89,20%
P1 -> P3	1,25%	45,11%	-13,33%	45,45%	60,00%	6,67%	47,73%	70,28%	19,72%
03/12/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	4,13%	61,71%	6,98%	-338,96%	4,08%	99,29%	40,35%	73,27%	0,00%
P2 -> P3	1,54%	72,29%	52,50%	90,83%	78,72%	-2600,00%	14,71%	-5743,25%	0,00%
P1 -> P3	5,60%	89,39%	55,81%	59,74%	79,59%	80,85%	49,12%	-1461,99%	0,00%
06/12/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-11,71%	98,87%	59,68%	33,33%	0,00%	14,63%	9,30%	72,98%	85,16%
P2 -> P3	-0,99%	8,33%	8,00%	-25,00%	40,00%	21,43%	43,59%	13,40%	32,27%
P1 -> P3	-12,82%	98,96%	62,90%	16,67%	40,00%	32,93%	48,84%	76,60%	89,95%
11/12/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-2,54%	4,40%	72,73%	—	0,00%	-11,54%	12,50%	62,73%	65,05%
P2 -> P3	-6,35%	-64,37%	-175,00%	—	33,33%	13,79%	46,43%	-53,66%	20,00%
P1 -> P3	-9,05%	-57,14%	25,00%	—	33,33%	3,85%	53,13%	42,73%	72,04%
13/12/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-2,55%	69,23%	-11,43%	—	-33,33%	-11,63%	-5,88%	90,52%	28,49%
P2 -> P3	-7,00%	16,67%	2,56%	—	25,00%	4,17%	19,44%	-215,00%	66,32%
P1 -> P3	-9,73%	74,36%	-8,57%	—	0,00%	-6,98%	14,71%	70,14%	75,92%
17/12/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-1,27%	46,31%	32,26%	-14,29%	—	-1,56%	-13,79%	51,22%	-143,30%
P2 -> P3	-5,96%	8,75%	-4,76%	43,75%	—	12,31%	42,42%	50,00%	21,81%
P1 -> P3	-7,30%	51,01%	29,03%	35,71%	—	10,94%	34,48%	75,61%	-90,23%
20/12/2012	ph	Turbidez	ST	DQO	DBO	Fósforo Total	NTK	Colif. fecais	Colif. totais
P1 -> P2	-2,77%	-90,00%	10,81%	0,00%	—	-7,14%	-7,41%	-1,85%	16,03%
P2 -> P3	-4,65%	30,26%	39,39%	30,77%	—	-2,22%	34,48%	12,73%	54,61%
P1 -> P3	-7,55%	-32,50%	45,95%	30,77%	—	-9,52%	29,63%	11,11%	61,89%

Calculando uma média simples das remoções totais do sistema, podemos chegar aos seguintes números: pH - 6,56%; Turbidez 26,46%; ST 23,62%; DQO 41,78%; DBO 40,90%; Fósforo Total 23,47%; TKN 33,87%; Coliformes Fecais 52,95% (O P1->P3 do dia 03/12/12 não foi levado em consideração para o cálculo da média); Coliformes Totais 28,39%. Em anexo, pode-se visualizar o Gráfico de Remoção final (P1->P3) que mostra a remoção máxima, mínima e a média.

## CONCLUSÕES

A grande dificuldade para o trabalho foi à questão da vazão, para não ocorrer mais esse problema é necessário utilizar válvulas mais precisas, as válvulas utilizadas foram válvulas de esfera de PVC e elas não foram satisfatórias, talvez as de aço sejam melhores alternativas para esse tipo de trabalho. Outro problema foi a danificação da bomba, é aconselhável ter uma bomba reserva e com características semelhantes a que está



sendo usada, considerando que a bomba vai funcionar 24 horas durante mais de um mês é plausível que ocorra algo com ela.

Apesar dos problemas enfrentados como, a danificação da bomba no meio do processo de filtração e a dificuldade de manter um balanço hídrico devido à falta de precisão das válvulas, o pós-tratamento apresentou resultados relevantes nas variáveis de Coliformes fecais e totais, NTK, Fósforo total, DQO e DBO. O ST era principalmente retido no leito de areia e o pH era aumentado no leito de CAG devido a adsorção dos íons que deixavam o efluente ácido. Com médias de remoção acima dos 20% e levando em conta a simplicidade do sistema, pode-se considerar que o sistema tenha uma boa eficiência.

O sistema apresentou picos de remoção bastante altos e uma média de remoção considerável, com certeza ajudou no aprimoramento do efluente final da ETE Gama. O sistema pode ser usado em diversos cenários em que o objetivo seja diminuir a concentração de alguns poluentes no efluente, devendo sempre se respeitar as limitações do sistema apresentado nesse trabalho.

Esse sistema não foi projetado para ser o tratamento principal do efluente, foi projetado para dar um polimento final no efluente de um sistema maior, o que não impede de em determinados casos ele seja usado como único tratamento. Visando sempre chegar ao menor impacto possível.

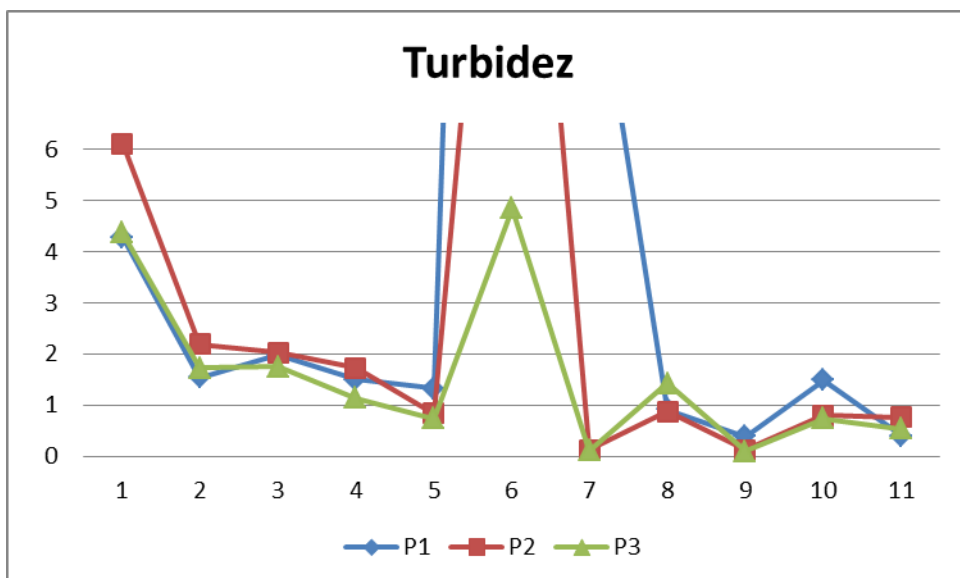
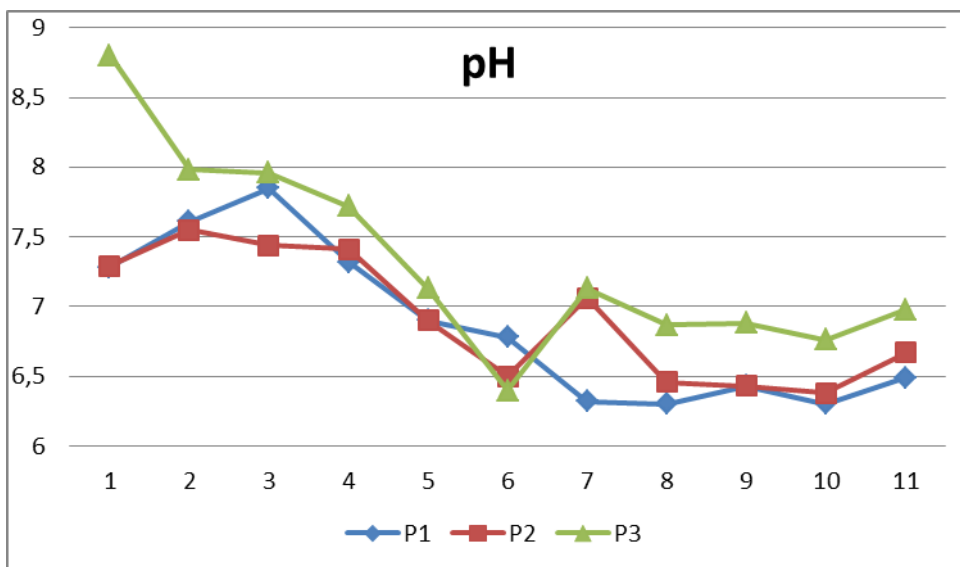
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

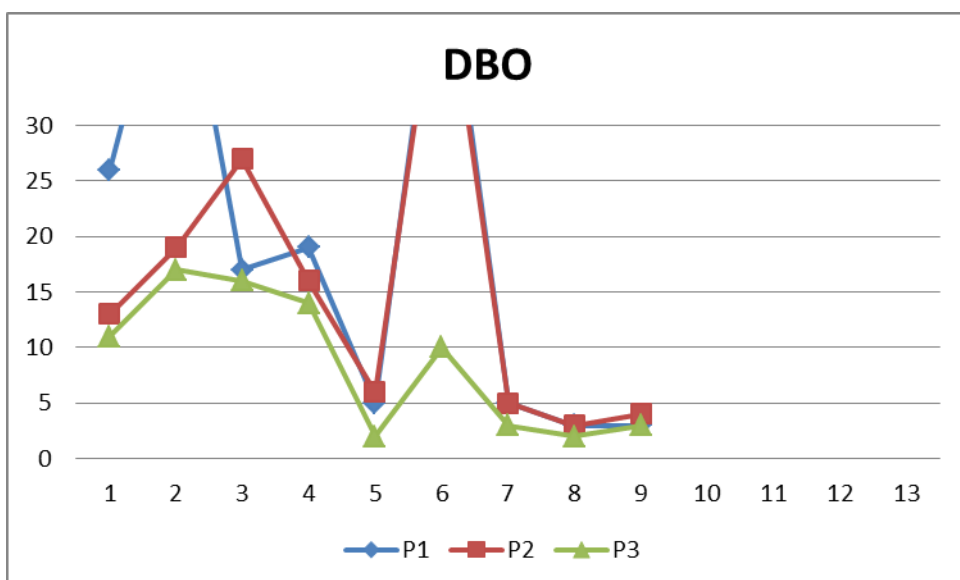
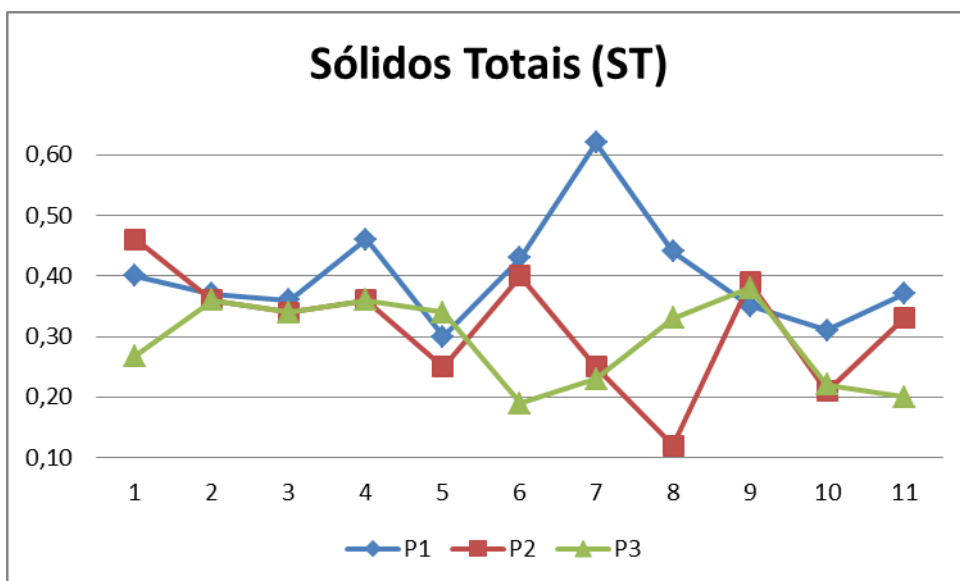
1. APHA/AWWA/WPCF. **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition**. American Public Health Association, Washington DC, 2000.
2. Ibram. **Bacias do DF**. Disponível em <<http://www.ibram.df.gov.br/informacoes/recursos-hidricos.html>> Acesso em 16 nov. 12
3. Castro, André Augusto. **Problemas da água no DF UnB**. Disponível em <<http://www.secom.unb.br/unbagencia/ag0303-18.htm>> Acesso :em 16 nov. 2012
4. Felizatto, Mauro Roberto; Filho, Antônio Carlos Teixeira Pinto; Soares, Edson da Silva; Santos, Carlos Alexandre Batista dos; Catino, Rosvaldo. **Remoção biológica de nutrientes precedido de reator UASB: O caso da ETE Gama (DF)**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26., 2011, Porto Alegre.
5. Fernandes, Kendra D'Abreu Neto. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Porto Alegre, 2010 - PUC-RS.
6. Filho, Sidney Seckler Ferreira. **Significância do grau de mistura na interface de filtros duplos no comportamento dinâmico da evolução da perda de carga, retenção de impurezas e qualidade da água filtrada**. São Paulo, 1996 – USP, Escola Politécnica da USP, Departamento de engenharia Hidráulica e Sanitária.
7. Marrara, Danilo Aparecido Faveri. **Filtração Lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso**. Campinas, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Sanitária) – Unicamp.
8. Metcalf & Eddy, Inc. **Wastewater engineering: Treatment and reuse**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
9. Tobasa Bioindustrial. **Laudo CAG Lote 126/11. Mensagem recebida por <[maurofelizatto@caesb.df.gov.br](mailto:maurofelizatto@caesb.df.gov.br)> em 20 de setembro de 2012.**

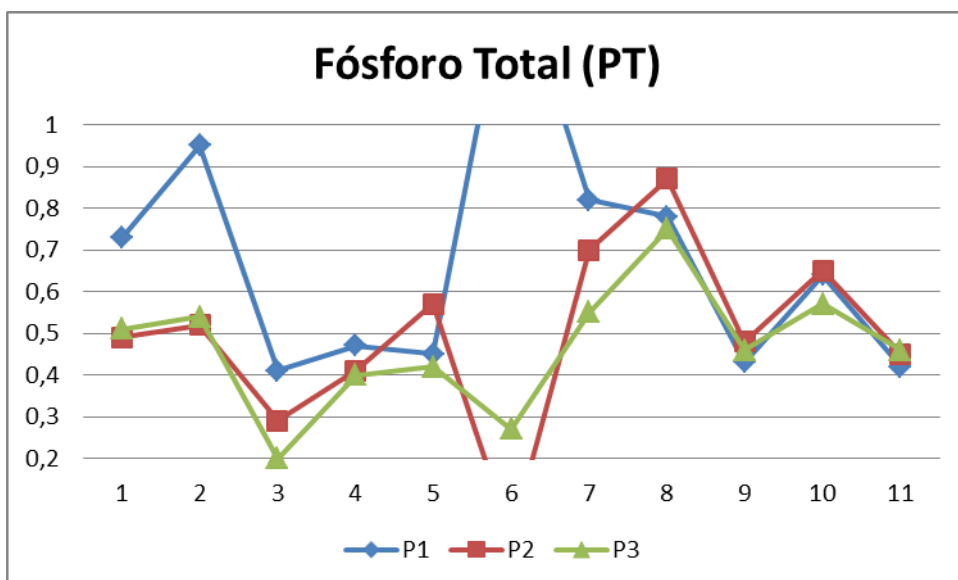
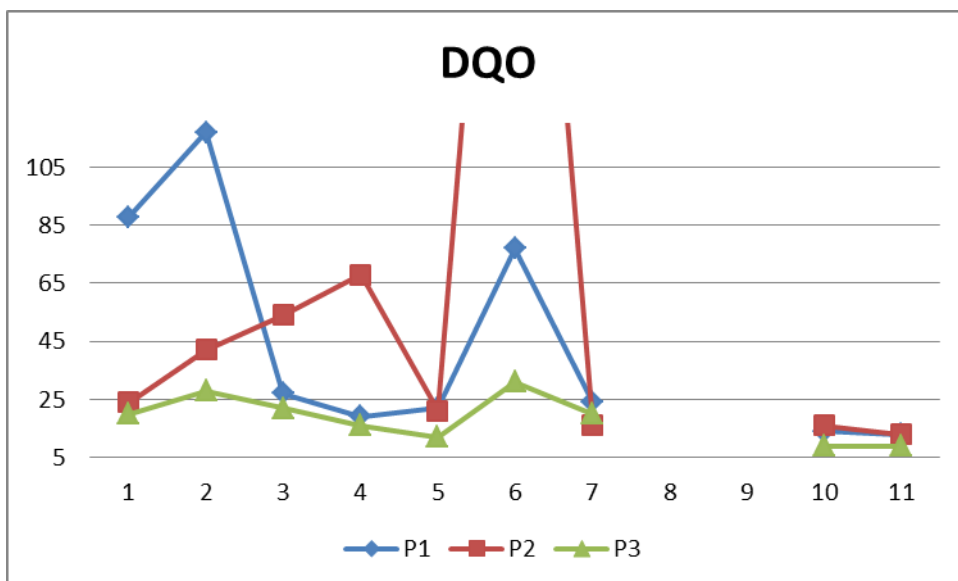


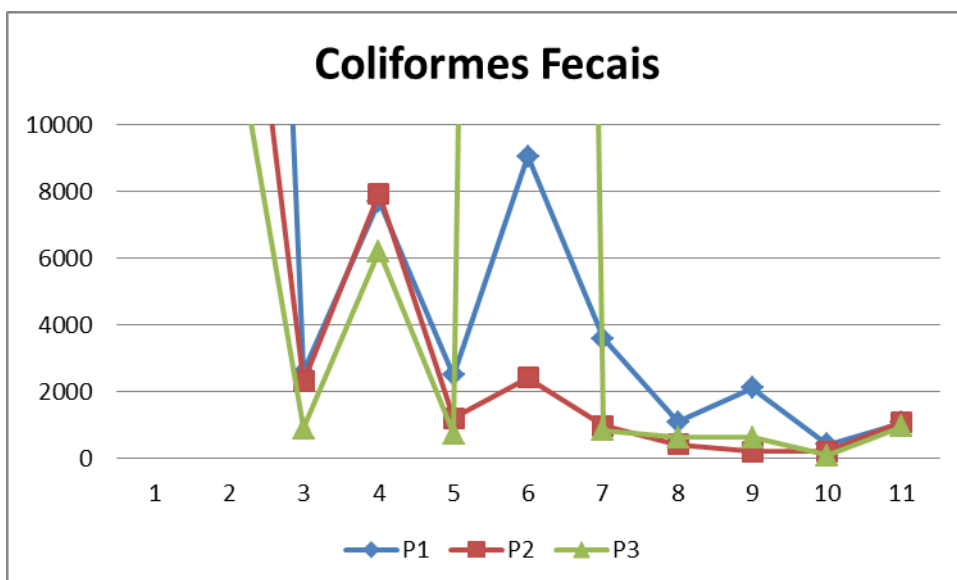
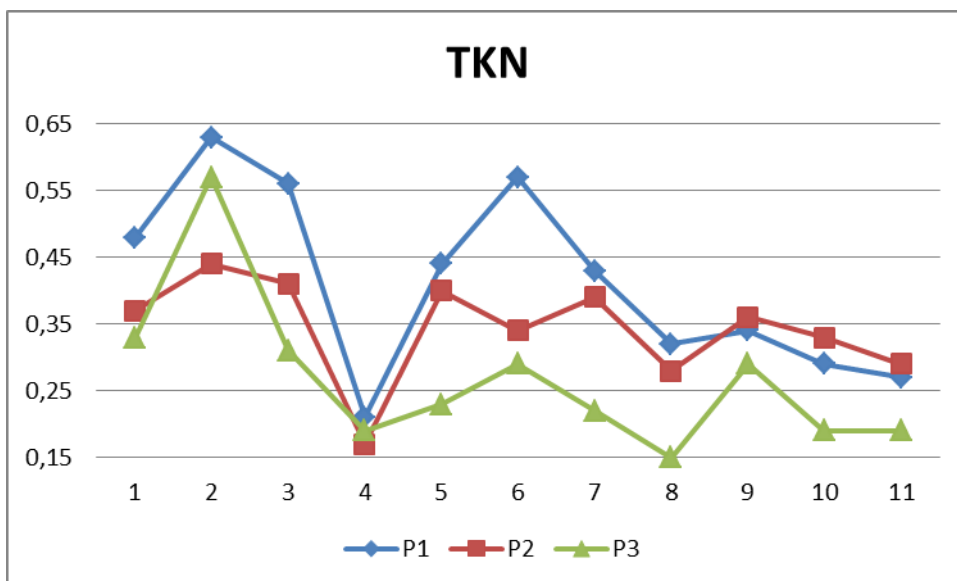
## ANEXO

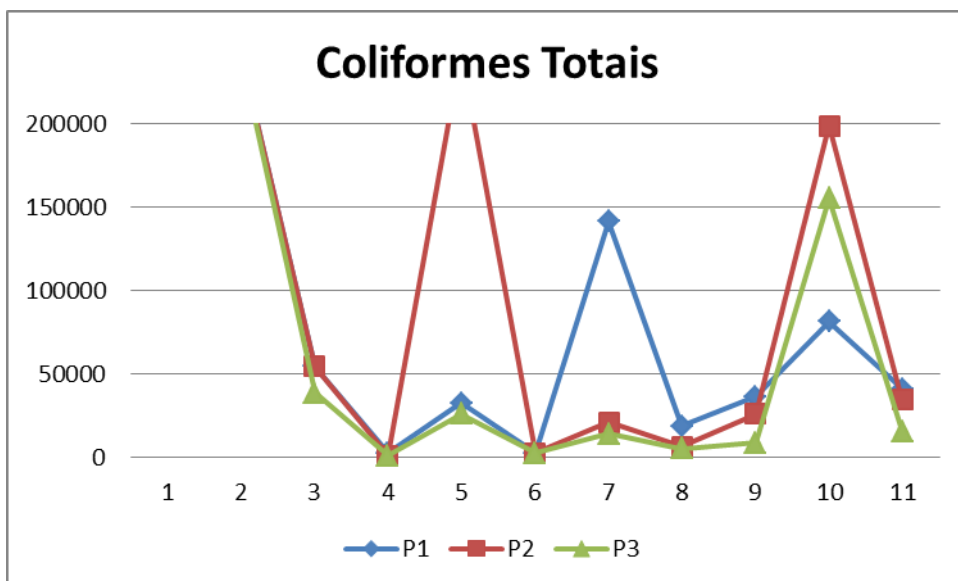
### 1. GRÁFICOS COM VALORES E CONCENTRAÇÕES











## 2. GRÁFICO DE REMOÇÃO FINAL (P1->P3)

