

DESEMPENHO NA REMOÇÃO DE FÓSFORO EM SISTEMA DE FILTRAÇÃO LENTA

Ariston Silva Melo Júnior¹

Kleber Aristides Ribeiro²

Abrão Chiaranda Merij²

Anderson Oliveira Silva²

Johnny Mitsuo Naki Damasceno²

Patrícia Roberta Santos Faria²

Silvana Souza Campos²

RESUMO

A preservação do meio ambiente em nossos dias atuais tornou-se tão importante para preservação das espécies, em especial o homem, que o estudo de tecnologias de tratamento alternativo de esgoto vem sendo empregadas em várias pesquisas acadêmicas. Um dos sistemas atuais utilizados são os sistemas de filtração lenta. O processo consiste na utilização de recipientes dotados de camadas com materiais suportes de dimensões distintas, além do fato de adição de uma camada adicional de carvão ativado em um recipiente. Esse processo permite uma melhorar nos parâmetros de qualidade do esgoto tratado. Nesse projeto foi utilizado um sistema piloto em desenvolvimento na UNICAMP, com a participação de alunos da FMU. O projeto contou com 10 semanas de estudos para o parâmetro fosforo, em que após a coleta, preparação das amostras pelo método AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water, e posterior análise por espectrofotometria. Os dados das 10 semanas revelaram uma eficiência média de remoção de fósforo nos recipientes com e sem carvão ativado de 16,46% e 7,89%, respectivamente.

Palavras chaves: Esgoto, Tratamento, filtro, meio ambiente.

ABSTRACT

The preservation of the environment today has become so important for the preservation of species, especially man, that the study of technologies of alternative sewage treatment has been used in several academic researches. One of the current systems used are the slow filtration systems. The process consists in the use of containers with layers with materials of different dimensions, besides the addition of an additional layer of activated carbon in a container. This process allows an improvement in the quality parameters of treated sewage. In this project a pilot system was developed in UNICAMP, with the participation of FMU students. The project counted on 10 weeks of studies for the parameter phosphorus, in which after the collection, preparation of the samples by the method Official AOAC Method 973.55 - Phosphorus in water, and later analysis by spectrophotometry. Data from the 10 weeks revealed an average phosphorus removal efficiency in the containers with and without activated of 16.46% and 7.89%, respectively.

Keywords: Sewage, Treatment, filter, environment.

¹ Departamento de Engenharia Civil do Complexo Educacional FMU; Pós doutorando pelo IPEN-USP; Pesquisador colaborador da UNICAMP. E-mail: juniorariston@gmail.com

² Departamento de Engenharia Civil do Complexo Educacional FMU

INTRODUÇÃO

Há alguns séculos atrás e mesmo sem possuir grandes conhecimentos, o ser humano já sabia diferenciar água esteticamente limpa de outra que se apresenta turva, com sabor ou odor.

A filtração, como parte do tratamento de água para consumo humano, deve ter sido criada pelo homem como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, a qual era atribuída à sua passagem pelos solos naturais, tendo-se notícia do emprego da filtração para clarificação desde o século XVI (DI BERNARDO, 1993).

A filtração é um processo que se faz necessário devido à água ser notoriamente veículo de transmissões de doenças infecto-contagiosas como, por exemplo, o cólera e a febre tifóide, e a principal vítima dessas doenças é a população infantil.

Os primeiros sistemas de tratamento surgiram no século passado por intermédio de John Gibb em Paisley (Escócia) e por James Simpson em Londres (Inglaterra). Em Londres o processo se baseava principalmente na remoção de sólidos suspensos da água bruta.

Em 1850 John Snow mostrou que o cólera que era transmitido pela água (ainda não era conhecida a bactéria patogênica transmissora) e a solução encontrada para evitar essa transmissão e a presença de outros sólidos indesejáveis seriam a filtração da água ou o abandono dos mananciais contaminados (MELO JÚNIOR, 2005).

A prova mais concreta da eficiência desse tipo de filtração foi comprovada com a experiência compartilhada por duas cidades vizinhas alemãs em 1892, Hamburgo e Altona ambas retiravam água para o seu abastecimento do rio Elba, o tratamento em Hamburgo consistia apenas de sedimentação simples, enquanto que em Altona havia filtros lentos de areia (MELO JÚNIOR, 2005).

Com a contaminação do rio Elba, houve uma epidemia de cólera causando a morte de 7500 pessoas em Hamburgo, o mesmo não acontecendo em Altona.

Epidemias subseqüentes em várias partes do mundo confirmaram a importância da filtração antes do consumo da água (Di BERNARDO, 1993).

No Brasil essa tecnologia foi empregada em algumas cidades até a década de sessenta, mas nos anos subseqüentes ocorreu à degradação da qualidade do manancial, e a maioria das instalações de filtração lenta foi reformada e convertida a sistemas de tratamento completo, com coagulação química e filtração rápida (MELO JÚNIOR, 2005).

O objetivo desta pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visou avaliar um sistema de pré-filtro de pedregulho em um projeto de filtração lenta. Relacionando sua eficiência quanto à remoção do parâmetro Fosforo (P).

O projeto faz parte de uma análise temática e conta com o apoio da CAPES e da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária), de um protótipo funcional e do apoio das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU).

Funcionamento da Filtração Lenta

A filtração lenta é um processo relativamente simples de tratamento de água onde não se utiliza equipamentos com alta tecnologia nem produtos químicos, e não se necessita de mão-de-obra qualificada para o seu monitoramento. Sabe-se que o processo de filtrar fica mais barato quando se dispensam unidades como a de mistura rápida, floculação e a de decantação dentre outras, unidades essas presentes em uma estação de tratamento completa. Torna-se viável a construção desses filtros lentos principalmente no Brasil de hoje devido a grande proliferação de doenças que tem por via de transmissão a água.

A filtração lenta nada mais é que a remoção de impurezas físicas, químicas e biológicas através da passagem da água por um meio granular.

O primeiro filtro lento para fins industriais foi construído na Escócia em 1804 por John Gibb. Nessa época acreditava-se que esses filtros eram eficazes apenas para a remoção das impurezas da água através de um processo natural de peneiramento, produzindo uma água sem cor, turbidez e gosto, não se conhecendo os mecanismos e processos envolvidos (Di BERNARDO, 1989).

A filtração lenta hoje é o resultado da combinação de três ações que são:

- (a) Transporte das partículas da suspensão para as superfícies dos grãos;
- (b) Aderência das partículas aos grãos ou matéria previamente retida;
- (c) Atividade biológica.

Mecanismo de Transporte

Ação Física de Coar

A sua atuação quase que se restringe nas camadas superficiais do leito de filtração, onde as dimensões de suas partículas são bem maiores que os vazios intergranulares, são capazes de resistir a esforços cortantes provocados pelo fluxo. A sua ação independe de taxa de filtração.

Quando a água passa pelo leito filtrante é gerado um gradiente de velocidades, esses gradientes fazem com que as partículas em suspensão entrem em contato uma com as outras ocorrendo a agregação de partículas, assim parte dos flocos criados são retidos até grandes profundidades do leito. Na filtração lenta esse processo é precedido de um período de preparação ou “amadurecimento”, também chamado de “schmutzdecke”.

Sedimentação

O efeito da gravidade sobre as partículas suspensas durante a filtração foi sugerido por Hazen no início do século quando considerou os vazios intergranulares de filtros lentos de areia como unidades de sedimentação.

Portanto a ação da gravidade irá provocar o deslocamento das partículas em suspensão em direção aos grãos do leito filtrante, aumentando o depósito dessas partículas nas camadas superiores do leito de areia, tanto na filtração descendente como na de fluxo ascendente, de modo que toda a área superficial do grão serve como tanque de sedimentação.

Para se mostrar que a sedimentação é um mecanismo de transporte importante na filtração, considera-se que as partículas poderiam estar em regiões onde a velocidade de escoamento é relativamente pequena, devido ao perfil de velocidade parabólica, que ocorre no regime laminar.

A remoção de partículas com massa específica próxima a da água, bactérias e vírus, cujas velocidades de filtração são extremamente baixas, é explicada pela sedimentação ao se considerar que a velocidade tangencial que age nas partículas se aproxima de zero na superfície dos grãos.

Impacto Inercial

Durante o escoamento, as linhas de corrente divergem nas proximidades dos grãos do meio filtrante de modo que, partículas suspensas com quantidade de movimento suficiente para manter suas trajetórias colidem com os grãos. Quanto maiores à velocidade de aproximação, o tamanho e a massa específica das partículas, e menores a viscosidade da água e o tamanho dos grãos, mais eficiente resulta esse mecanismo de transporte.

Difusão

O movimento Browniano é o responsável pelo bombardeio intenso das moléculas de água, sendo esse movimento proporcional ao aumento da energia termodinâmica da água e diminuição de sua viscosidade, permite também a difusão de partículas pequenas, desde as áreas de maior concentração, até as de menor concentração, levando-as ao contato com os grãos do leito filtrante. A difusão não depende da taxa de filtração e atua mesmo quando a água não está fluindo.

Interceptação

Em geral, o regime de escoamento na filtração resulta laminar e mesmo com o meio filtrante apresentando grau elevado de colmatação (potencial de deposição de sedimentos), as partículas movem-se ao longo das linhas de corrente.

As partículas que têm massa específica próxima à da água serão removidas da suspensão quando, em relação às superfícies dos grãos, as linhas de corrente estiverem a uma distância inferior à metade do tamanho das partículas, havendo indicações que, quanto maior o tamanho destas e menor o dos coletores, mais eficiente será esse mecanismo de transporte.

Mecanismo de Aderência

Através dos mecanismos de aderência as partículas são capturadas e aderidas, e a eficiência da aderência entre partículas transportadas e grãos depende principalmente das propriedades das superfícies de ambos.

As partículas podem tanto aderir diretamente às superfícies dos grãos como às partículas previamente retidas.

Ao mecanismo da aderência são atribuídas duas categorias de fenômenos: a interação entre as forças elétricas e a de Van der Waals, e a interação superficial de origem química.

É preciso ter-se em mente as dimensões envolvidas, como as das partículas, dos grãos, dos vazios intergranulares e das distâncias em que os organismos de aderência se tornam atuantes.

No processo de filtração lenta, HUISMAN, citado por Di BERNARDO (1989), observou que a areia quartzosa tem carga negativa e, portanto, adsorve partículas de material coloidal que tem cargas positivas, assim como cátions de ferro, manganês, alumínio, etc. Porém a matéria coloidal de origem orgânica, bactérias inclusive, possui, na sua maioria, carga negativa e, portanto, não é atraída quando o filtro de areia limpa é colocado em serviço.

Após o período de “amadurecimento”, quando as cargas positivas são adsorvidas, ocorre uma supersaturação e a carga dos grãos se torna positiva, começando então, um novo período de adsorção, no qual as partículas de origem animal ou vegetal e ânions como NO_3^- , PO_4^- , etc, são adsorvidos pelos grãos de areia.

Ocorre novamente à supersaturação e o processo de adsorção volta ao ponto inicial e assim sucessivamente.

Atividade Biológica

A atividade biológica é considerada a ação mais importante que ocorre na filtração lenta, sendo mais pronunciada no topo do meio filtrante, onde há a formação daquela camada gelatinosa, constituída, fundamentalmente, de matéria orgânica e de uma grande variedade de microorganismos, como bactérias, algas,

protozoários e metazoários, etc. Além disso, quando há a presença de ferro e manganês em estado solúvel na água bruta, pode ocorrer à formação dos precipitados desses metais, que acabam participando, também, da formação dessa camada (Di BERNARDO, 1991).

A atividade biológica apresenta processos de purificação interdependentes, que são geralmente descritos em combinação uns com outros.

Os mais importantes são a oxidação química e oxidação microbiológica, além de processos biológicos que envolvem formas de vida animal e vegetal.

Essa atividade é mais pronunciada na parte superior do leito, pois, na superfície da camada de areia, forma-se uma película gelatinosa constituída principalmente de matéria orgânica, conhecida como “schmutzdecke”, através da qual a água bruta deverá passar antes de atingir a camada de areia (HESPANHOL,1987).

Além das partículas retidas pelos processos de mecanismos de transporte e aderência a “schmutzdecke” capta também em sua estrutura gelatinosa matéria orgânica e microorganismos como as bactérias, algas, plâncton, rotíferos e protozoários.

As algas são um desses microorganismos impregnados no “schmutzdecke” que se utilizam nutrientes disponíveis no meio, que combinado com a ação solar absorve gás carbônico (CO_2), nitratos (NO_3^-) e fosfatos (PO_4^{3-}), liberando assim oxigênio (O_2) que por sua vez reage com as impurezas orgânicas formando sais inorgânicos simples.

Simultaneamente, os compostos nitrogenados são oxidados dando origem a nitratos facilmente assimilados pelas algas, a cor da água bruta pode sofrer significativa redução quando esses compostos dissolvidos, que no caso são os ácidos húmicos são absorvidos.

A matéria orgânica que é depositada no filtro é utilizada como alimento pelos microorganismos formando um verdadeiro ecossistema que foi desenvolvido com o amadurecimento da carreira de filtração.

Através da oxidação microbiana, parte desse alimento proporciona material celular para o seu próprio crescimento e parte é utilizada como energia para o seu

metabolismo, permitindo que a matéria orgânica morta seja convertida em organismos vivos.

Quando esses organismos morrem, os produtos de sua decomposição são utilizados por outros organismos situados pouco abaixo no leito filtrante. Assim, toda a matéria orgânica biodegradável presente na água bruta é gradualmente convertida em água, gás carbônico e sais inorgânicos, tais como sulfatos, nitratos e fosfatos.

Para que ocorra uma boa oxidação da matéria orgânica, são necessárias duas condições básicas: suficiente tempo de detenção na camada filtrante e oxigênio dissolvido (OD) para manter o meio aeróbio.

A primeira condição é obtida através das taxas de filtração relativamente baixas, com as quais são projetados os filtros lentos. Se o OD da água filtrada cair abaixo de 3 mg/l, é possível ocorrerem condições anaeróbias no meio filtrante.

Assim, pode ocorrer a formação de gás sulfídrico, amônia, substâncias odoríferas, ferro e manganês dissolvidos, tornando a água imprópria para consumo humano e para diversos outros usos.

Seria necessário, então, proceder-se a aeração prévia para aumentar a concentração de OD, ou ao pré-tratamento para reduzir a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da água bruta (HESPANHOL, 1987).

O meio filtrante não apresenta condições favoráveis para proliferação de microorganismos existentes como as bactérias do tipo *Escherichia coli* na água bruta.

A sua multiplicação não se efetua em temperaturas inferiores a 30°C, além de não se dispor de matéria orgânica de origem animal suficiente para as suas necessidades metabólicas.

Outro fator determinante para a sustentação desse tipo de bactéria ser ainda mais desfavorável é a predação existente por parte dos protozoários que estão na parte superior do leito filtrante.

O conjunto de condições extremamente desfavoráveis explica a elevadíssima redução de coliformes e de organismos patogênicos possibilitada pelos filtros lentos de areia (HESPANHOL, 1987).

Podemos citar agora alguns indicadores que sinalizam a possibilidade da não qualidade da água em termos biológicos, um desses indicadores é os coliformes que podem ser definidos como organismos não necessariamente patogênicos, mas que podem indicar a presença desses organismos patogênicos, são provenientes de contaminação fecal e se encontrados acima do limite de tolerância, causam problemas à saúde da população, podem ser classificados como organismos aeróbios e anaeróbios, sendo sua origem os despejos domésticos (urbano e rural).

Dinâmica funcional dos filtros de areia

A figura 1 apresenta um sistema simplificado de funcionamento de um filtro lento de modo a permitir a compreensão dos assuntos já tratados e relatados anteriormente.

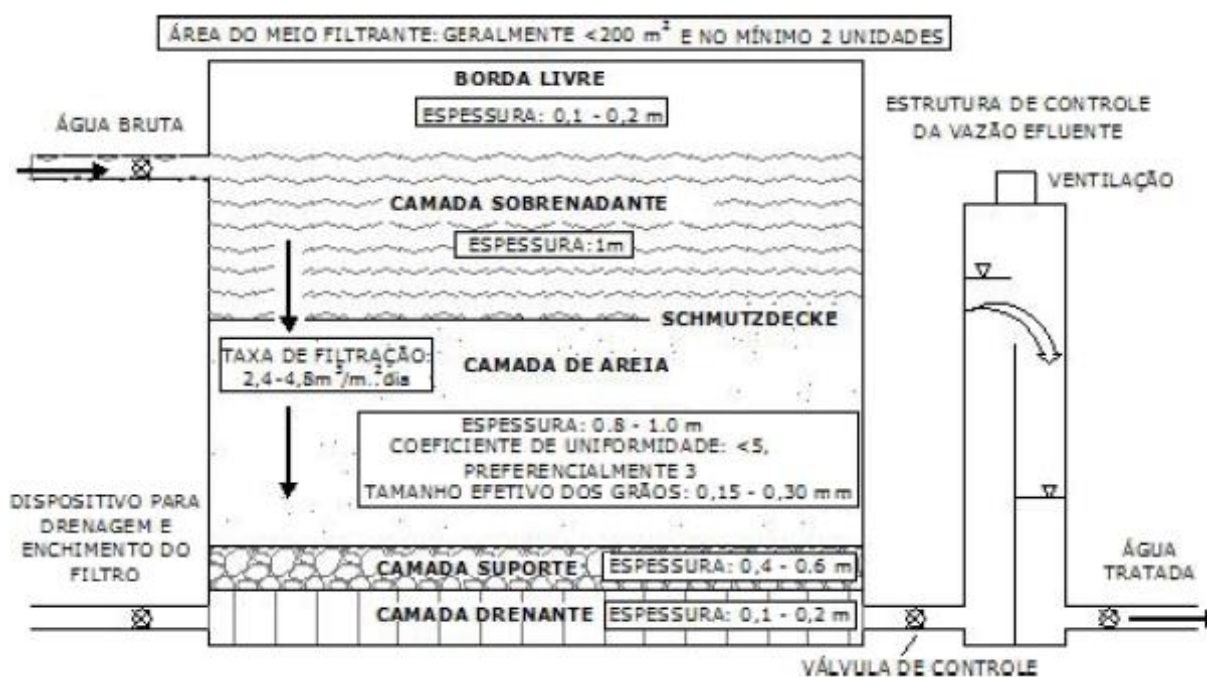


Figura 1: Esquema de pré tratamento residual pelo processo de filtração lenta. (FARIAS, 2011)

Conforme FARIAS (2011) no processo de filtração lenta, os mecanismos físicos e biológicos responsáveis pelo tratamento atuam em conjunto para promover a retenção de impurezas.

O processo físico é responsável pelo início do tratamento, enquanto que o passo seguinte que é o tratamento biológico ocorre após algum tempo de operação. Isso parece razoável, uma vez que há necessidade de formação do sistema de bactérias aeróbicas que irá realizar essa etapa. O processo de crescimento de geométrico, mas o ponto de partida tem algum tempo para resposta.

Segundo FARIAS (2011) a ação física de coar é responsável pela retenção das partículas de tamanho superior aos interstícios entre os grãos, o que faz com que o topo do meio filtrante funcione como uma peneira. Nesse contexto existem 3 fase de tratamento no filtro, sendo elas: interceptação, sedimentação e difusão.

Para FARIAS (2011) a interceptação um dos processos importantes da filtração lenta é observada quando a partícula vai ao encontro do grão, já a sedimentação, outra fase, está relacionada à velocidade de sedimentação das partículas influenciada pela força gravitacional. Enquanto a fase de difusão ocorre devido ao movimento desordenado das menores partículas junto com a água.

Dinâmica do Fósforo em Filtros

Segundo MELO JÚNIOR (2003) a ocorrência de fósforo em águas naturais e em águas residuárias se dá quase que exclusivamente na forma de fosfato (PO_4)³⁻.

Conforme mencionado por MELO JÚNIOR (2003) os fosfatos são classificados como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, e outros polifosfatos), e fosfatos ligados a compostos orgânicos.

Para MELO JÚNIOR (2003) os compostos fosfatados são encontrados em solução, em partículas ou detritos, ou em tecidos de organismos aquáticos (bactérias, fungos e algas); fosfatos também estão presentes em sedimentos no fundo de corpos de água e em lodos biológicos, tanto sob forma inorgânica precipitada como incorporados a compostos orgânicos, formando complexos organofosforados refratários.

Para MITCHELL *et al.* (1995) todas as formas de obtenção de fósforo se interconvertem através de um complicado ciclo bioquímico que envolve muitas rotas o que ocasiona uma preocupação a mais no estudo desse elaborado ciclo.

Para MELO JÚNIOR (2003) o fosfato pode também ser absorvido nos sedimentos, e neste caso as formas de fósforo precipitadas e insolúveis podem ser redissolvidas com a alteração das condições ambientais; a mineralização do fósforo é muito complexa, porém apresenta as seguintes tendências:

- Em meio suporte ácido, fósforo pode ser fixado por alumínio ou ferro;
- Em meio suporte alcalino, fósforo pode ser fixado por cálcio ou magnésio;
- Condições redutivas conduzem à solubilização de minerais de ferro e liberam fósforo.

Nos sistemas de filtração lenta a eliminação do fosforo é obtida pelo processo de adsorção e deposição entre camadas dos meios granulometricos de tamanhos distintos, sendo possível contribuir com a melhora da potabilidade final do residuo pré tratado.

MATERIAL E MÉTODO

Estudo de Caso

O protótipo de filtro lento com apoio técnico da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária) foi instalado e está em operação no campus experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Campinas, SP, latitude S22°53'20" e longitude W47°04'40", na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) . O clima local da região é tropical de altitude com inverno seco e verão úmido, de acordo com a classificação Köppen (MELO JÚNIOR, 2003).

Protótipo operacional de filtro

Nesse projeto de instalação de filtro lento conta com o apoio e participação direta do Prof. Dr. José Paternianni e de sua equipe da FEAGRI.

Trata-se de uma parceria com as Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU), na qual parte das amostras afluente (entrada) e efluente (saída) foram removidas para análise de suas composições.

Dessa forma, pode-se dizer que foi gerado um projeto temático no qual as análises foram divididas em grupos específicos: fosforo; nitrato; pH e condutividade e metais pesados presentes. Isso possibilitou a participação de **4 grupos de Trabalho de pesquisa** que utilizaram seus dados em seus respectivos trabalhos de conclusão de curso na FMU.

O sistema é alimentado pelo esgoto proveniente da própria instituição de ensino, sendo apresentado na figura 2 abaixo.



Figura 2: Vista da estação de filtro lento da FEAGRI.

O sistema possui três câmaras de tratamento, sendo uma da entrada (afluente) do esgoto sem o tratamento e duas câmaras de pós-tratamento (efluente) da água residuária, estas possuem brita de granulométrica distinta.

O que diferenciam elas está no fato de uma possuir inclusive carvão ativado para complementação do tratamento, enquanto a outra não possui esse composto.

As câmaras que formam o sistema de filtro lento são em formato cilíndrico e tem como constituição polietileno com diâmetro (**D**) de base 60 cm e altura útil (**h**) individual de 120 cm (figura 2). Isso gera, convertendo para escala metros, um

volume efetivo individual interno de 0,34 m³. A equação 1 apresenta o dimensionamento (PORTO, 1999).

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4} \quad \text{Equação 1}$$

A vazão afluyente (**Q**) foi regulada para um valor de 5.10⁻⁵ m³.s⁻¹, tal valor propiciou com o auxílio da equação 2 (PORTO, 1999), num tempo de detenção hidráulico (**θ_h**) de 7,87.10⁻² d.

$$\theta_h = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação 2}$$

Tal valor ao normalizamos para um padrão de tempo compreensível resulta pelo processo de análise dimensional em aproximadamente 2 horas para estabilização do líquido residual no interior da câmara.

Deve-se salientar que para o sistema piloto há presença de um sistema adicional à montante já em operação no qual realiza um pré tratamento inicial do esgoto bruto da Instituição. Tal sistema de tratamento alternativo utilizado é o sistema de wetlands (ou leitos cultivados) no qual contribui consideravelmente na depuração do esgoto cloacal. A distância entre os sistemas de tratamento wetlands e filtro lento é de cerca de 50 metros.

Nas figuras 3 e 4 pode-se observar o sistema de coleta de esgoto bruto e em seguida o sistema de wetlands, respetivamente.



Figura 3: Vista frontal da caixa de areia com as mangueiras coletoras de água residuária.

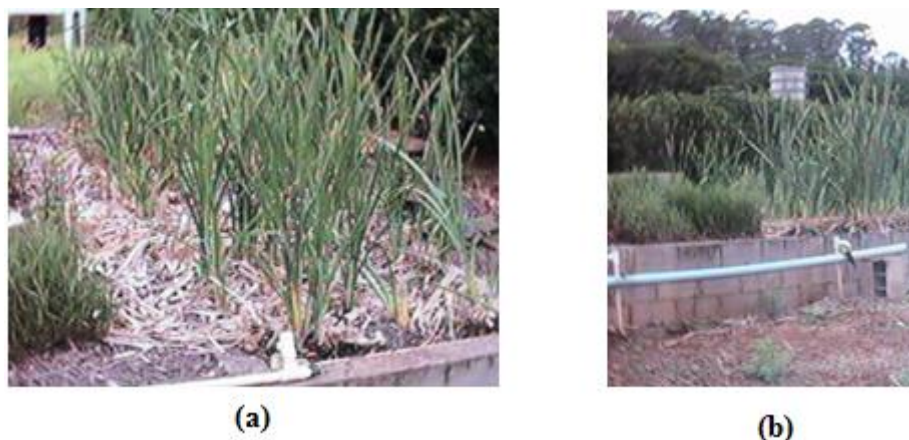


Figura 4: Câmara da wetlands, em 4a entrada do sistema e 4b vista geral do sistema de tratamento.

Na figura 5 é apresentado o sistema antes da fase de pintura, onde possui um fundo em formato cônico onde se apoia com o uso de uma base metálica de sustentação as câmaras individuais (figura 5a). Nessa figura pode-se observar os dois filtros de tratamento residual à jusante e o pré-filtro à montante.

Na figura 5b observa-se a separação entre camadas no interior das câmaras.



Figura 5: Vista do sistema antes da pintura (5a) e um esboço das separações de camadas internas.

A fase de pintura é necessária para garantir que o reservatório internamente tenha um aumento na temperatura para uma fase de pré desinfecção com a eliminação de parte dos agentes patogênicos anaeróbicos.

Em cada câmara foi realizado uma distribuição em camadas internas de 4 divisões internas (conforme figura 5b). A tabela 1 apresenta as divisões de cada câmara, deve-se notar que a descrição de 3 camadas de material suporte e uma camada de distribuição da água bruta.

Tabela 1: Descrição do meio filtrante do pré-filtro.

	Material Granular (mm)	Espessura (cm)
Camada superior	3,2 a 6,4	25 cm
Camada intermediária	6,4 a 19,0	25 cm
Camada Inferior	19,0 a 31,0	25 cm

Filtros lentos à Montante

O sistema de filtros lentos adotado nesse projeto tem como ponto de partida os parâmetros recomendados por FERRAZ & PATERNIANI (2002), sendo que as características são de:

- 1 camada de areia de 40 cm de espessura;
- 1 camada de brita 1 (granulometria 5 mm) de 20 cm de espessura;
- 1 camada de brita 2 (granulometria 31,5 mm) de 20 cm de espessura.

Para o filtro com carvão ativado tem-se ainda uma quarta distribuição, com a presença de uma camada de 10 cm de espessura com granulometria de carvão de 8,5 mm. A figura 6 tem-se uma visão da válvula de entrada do pré-filtro, onde foi instalada uma torneira para coleta amostral.



Figura 6: Vista detalhada da câmara de entrada do esgoto.

A figura 7 apresenta uma visão geral do sistema de filtro lento instalado e operacional da FEAGRI.



Figura 7: Detalhe do conjunto de filtro lento.

A figura 8 apresenta uma visão das torneiras instaladas para retirada de amostras do esgoto tratado pelo sistema de filtração lenta.



Figura 8: Detalhe do conjunto de filtros lentos.

Fase de Coleta

O estudo teve início em 08 de janeiro de 2018 com **retiradas semanais** de um volume de 250 ml de amostras afluente e efluente, sendo uma amostra antes do pré-filtro e duas amostras dos filtros com e sem carvão ativado. Totalizando 10 semanas de coletas, com 30 amostras, que se encerraram em 05 de março de 2018. As amostras foram retiradas no horário das 14 horas por ser um horário hipoteticamente de maior pico de concentração.

As amostras foram coletadas e armazenadas em garrafas de PET e congeladas à 5°C negativos para posterior análise da quantidade de fósforo total presente.

O método utilizado para análise de fosforo o método AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water (a ser descrito posteriormente).

Análise de fósforo

O processo adotado para avaliação de fósforo presente na água efluente foi o método AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water.

Tal método torna-se interessante por permitir a determinação do fósforo independente de sua forma química, ou seja, totalizar todo fósforo constituído no efluente, a partir do método da digestão de persulfato.

Em sua metodologia laboratorial, consiste utilizado para a determinação de fósforo foi o AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water. Este método permite a identificação de todo fósforo presente independente da forma, medido por digestão de persulfato.

No procedimento, utiliza-se um alíquota de 50 ml de amostra de água adicionada a 1 ml de uma solução de hidrólise ácida que após a mistura é distribuída em um erlenmeyer de 125 ml. Importante destacar que a solução de hidrólise ácida é produzida pela adição de 310 ml de ácido sulfúrico a 600 ml de água destilada.

A solução obtida no erlenmeyer teve como etapa subsequente a adição de 400 mg de persulfato de amônio e o produto final passou pelo processo de aquecimento em chapa aquecedora por 30 minutos. Após o processo de aquecimento a amostra resultante passou pelo processo de resfriamento a temperatura ambiente e sofreu a adição de 10 gotas de solução fenolftaleína e posterior ajuste do pH com a adição de solução hidróxido de sódio NaOH, agitando-se o frasco com a solução até obter uma coloração “rosada”.

Após esses procedimentos, ainda tem-se o ajuste final tirando a cor rosada pela adição de 1 gota da solução de hidrólise ácida utilizada no início do processo.

O produto final é diluído quantitativamente a 50 ml e transferido para o erlenmeyer de 125 ml.

Análise Espectrofotométrica

O produto final obtido na fase de preparação sofre a adição de 50 ml de ácido sulfúrico de 5N e uma solução de 5 ml de tartarato de antimônio e potássio e ainda mais 15 ml de solução de molibdato de amônia e 30 ml de ácido ascórbico.

Após as etapas finais descritas anteriormente, espera-se um intervalo de 10 a 30 minutos onde foi revelada a cor “azulada”, tal cor permite visivelmente identificar o grau de fósforo presente. Contudo, para ter-se um resultado mais exato da concentração de fósforo, a solução amostrada passa pelo processo de espectrofotometria onde é revelado o grau de concentração de fósforo.

A metodologia consiste em utilizar um espectrofotômetro de massa, onde se utiliza duas cubetas de cristal. As cubetas tem volume de 5 ml e em uma coloca-se a amostra produzida e em outra uma amostra de água deionizada. No processo de absorvância de luz, as duas cubetas permitem avaliar o grau de fósforo na amostra em relação ao padrão branco (água deionizada).

Calibração

Importante destacar que no processo de espectrofotometria de massa, o processo de absorvância levantado tem que gerar uma curva de calibração que permite avaliar o grau de concentração de fósforo. Tal processo de calibração foi obtido com a utilização de um comprimento de onda de 880 nm no equipamento (figura 9) do laboratório da FEAGRI.



Figura 9: Vista do espectrofotômetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme foi comentado no início do capítulo 4, a vazão afluente foi ajustada em $5.10^{-5} \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, sendo que com as dimensões gerais das câmaras resultou num tempo de detenção hidráulico (θ_h) de $7,87.10^{-2} \text{ d}$, ou seja, num valor de aproximadamente 2 horas.

Sendo assim, retiraram-se as amostras semanais e levantou-se com os dados obtidos em laboratório um conjunto de 10 semanas de análises.

A figura 10 apresenta o perfil das concentrações ao longo do período de estudo.

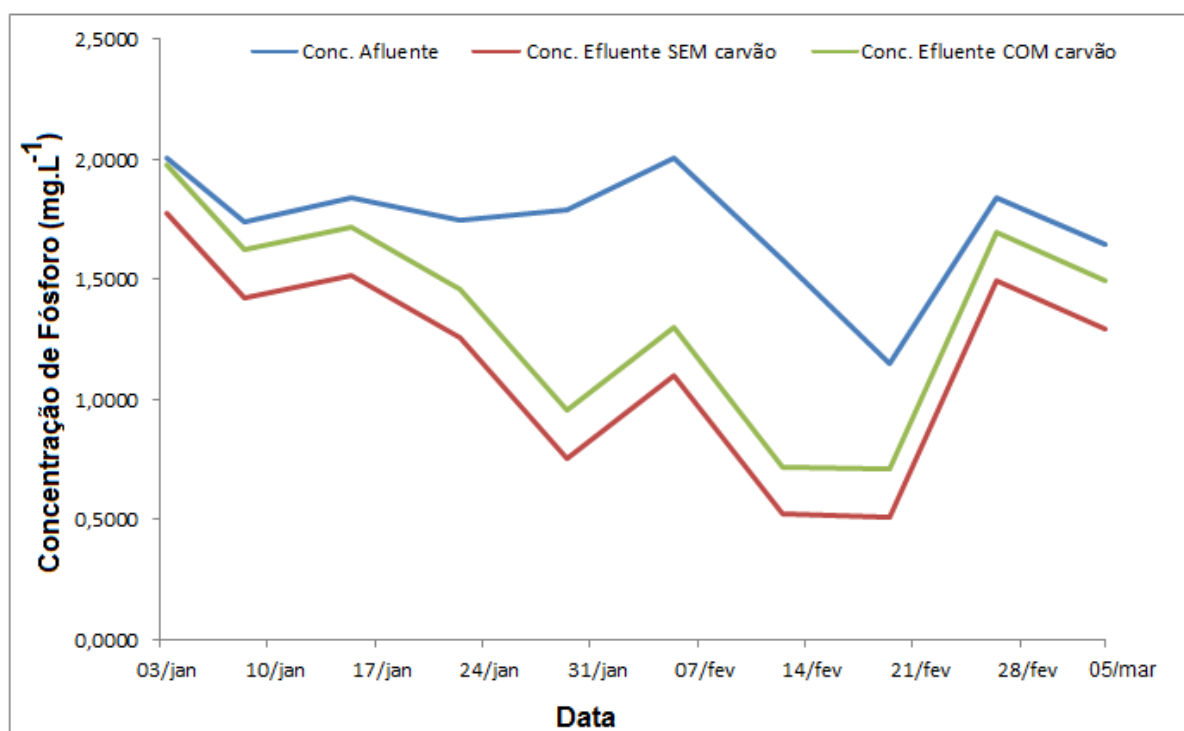


Figura 10: Perfil das concentrações de Fósforo no período de estudo.

A partir da figura 10 pode-se notar que o comportamento do gráfico teve uma redução leve entre as concentrações de saída (efluente) das câmaras com e sem carvão ativado.

No período de 5 de fevereiro houve uma melhor eficiência no sistema, haja visto que já operava a algum tempo e o tempo de detenção hidráulico ao longo acumulativo propiciou numa melhor eficiência da remoção.

Para o último dia de coletas (05/03) os valores ficaram numa faixa bem próxima haja vista uma possível diminuição das concentrações de fósforo, isso deve sempre ser lembrado que um possível fator de influência seja o sistema de wetlands que funciona a 50 metros à montante.

Se analisarmos a relação de vazão mássica do composto fósforo para o período de medidas, com a regulagem constante da vazão, teremos um comportamento particular para o composto, mostrado na figura 11, a seguir.

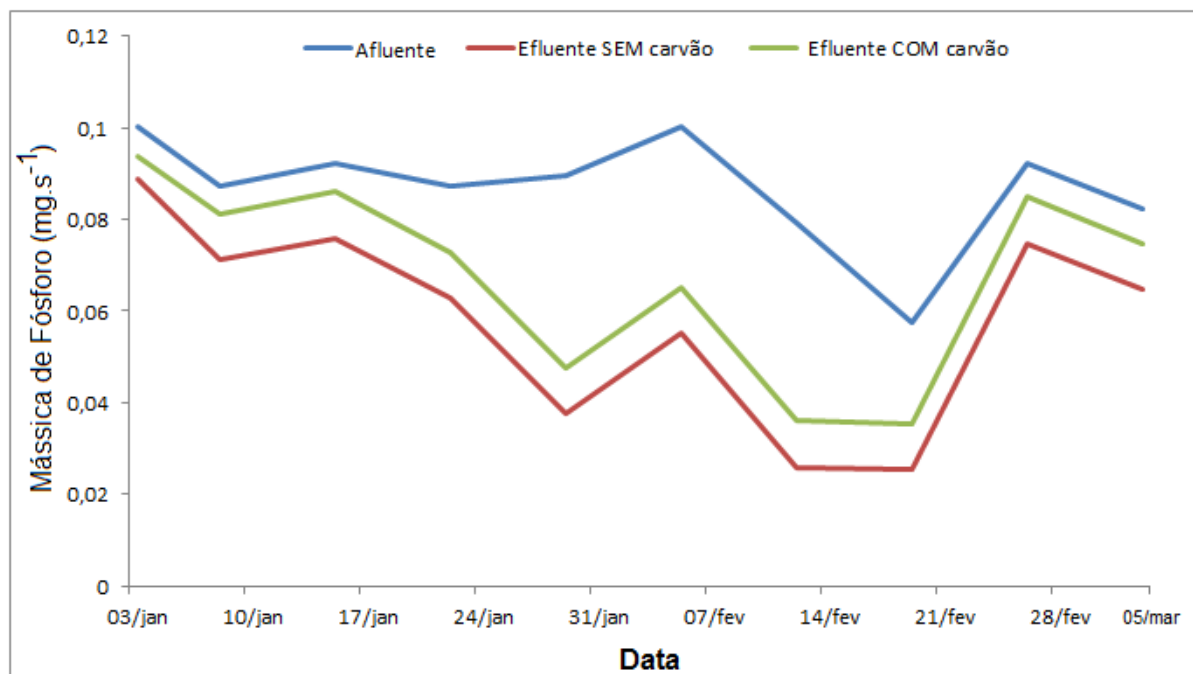


Figura 11: Perfil das Vazões Mássicas de Fósforo no período de estudo.

Ao se tratar da massa de composto por tempo observa-se um perfil de similaridade ao da figura 10. Isso ocorre devido à manutenção das vazões, o que mostra mais uma vez a importância do controle das vazões de alimentação do sistema, pois, quanto maior as vazões, ocasionalmente as vazões mássicas serão aumentadas de forma diretamente proporcional.

Ao se levantar os valores de eficiência de remoção de fósforo pelo sistema, pode-se observar na figura 12 a seguir a evolução do processo.

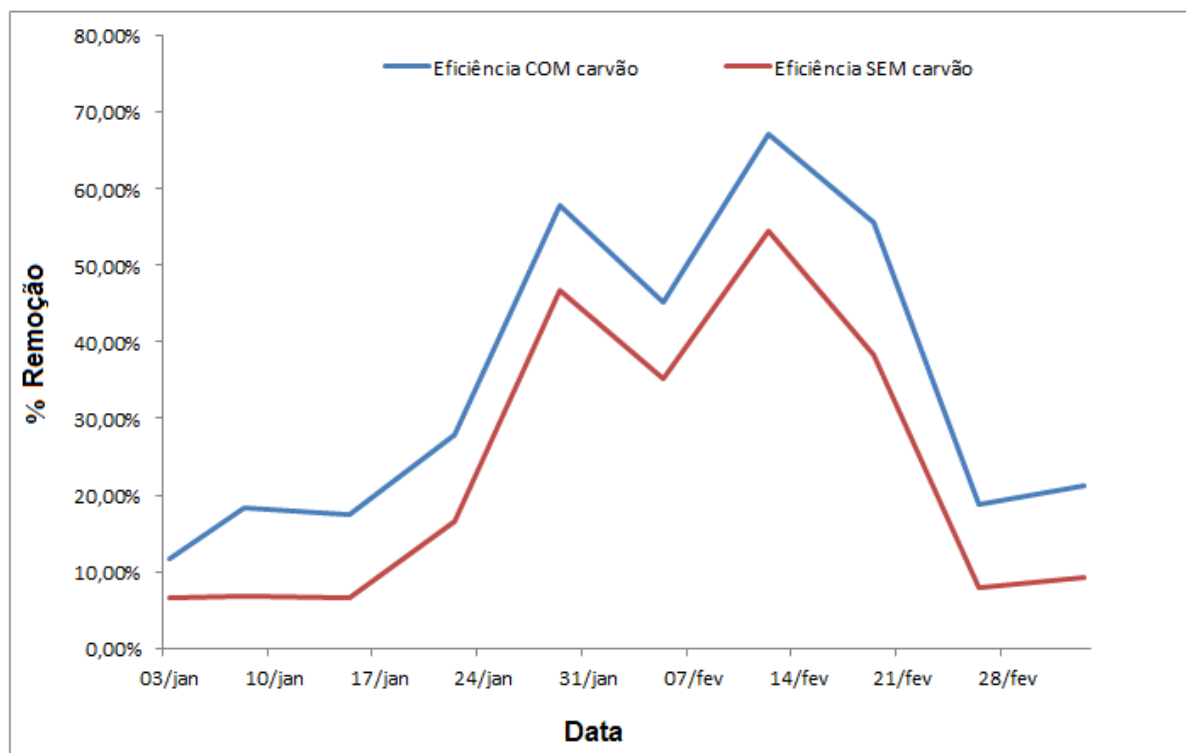


Figura 12: Desempenho percentual de remoção em cada câmara.

Como ponto inicial a observar, tem-se que o início do processo o sistema tem um desempenho pequeno, ficando ao redor da faixa de 10%, contudo ao passar das semanas, a evolução tem um recrudescimento enorme, chegando à faixa de 67% de desempenho em cada câmara.

Um ponto importante é a faixa após 21 de fevereiro, a diminuição do desempenho tem como ponto de estudo a diminuição das concentrações de fosforo que provavelmente tiveram uma piora nos valores devido à diminuição de fosforo presente no esgoto, bem como uma possível maior participação do sistema de wetlands à montante. Uma vez que esse sistema tem como ponto de partida a utilização de nutrientes como fosforo no processo ecofisiológico.

Pode-se notar que sem dúvida a câmara com carvão ativado propiciou uma melhor eficiência na remoção, mas também o sistema mostra que mesmo sem adoção do carvão ativado, por questões financeiras, não reduz um desempenho considerável do sistema.

A tabela 2 apresenta os valores de eficiência percentual de remoção em cada câmara que forma o sistema de filtro lento.

Tabela 2: Eficiências percentuais de remoção entre câmaras.

DATA	Eficiência COM carvão	Eficiência SEM carvão
03/01	11,62%	6,65%
08/01	18,24%	6,76%
15/01	17,49%	6,63%
22/01	27,98%	16,51%
29/01	57,91%	46,73%
05/02	45,16%	35,21%
12/02	67,13%	54,48%
19/02	55,65%	38,26%
26/02	18,79%	7,94%
05/03	21,30%	9,13%

Além da figura 12, a tabela 2 apresenta o período de evolução nos graus de remoção de fósforo, chegando ao clímax no dia 12/02 com remoções de 67,13% e 54,46% nas câmaras com carvão ativado e sem carvão ativado, respectivamente.

Para o período de estudo de 10 semanas, se analisarem de forma absoluta a eficiência de cada tipo de câmara, controlando a vazão afluente, tem-se uma média de 16,46% de remoção para a câmara com carvão ativado e de 7,89% de remoção para câmara sem carvão ativado, respectivamente.

Sem dúvida o carvão ativado aumenta a eficiência do sistema em média num percentual de 50% se compararem-se os números absolutos entre câmaras.

CONCLUSÃO

O intuito da pesquisa foi analisar a importância na remoção de fósforo do sistema de filtração lenta. Os testes iniciais mostraram que o sistema tem uma grande função ambiental na remoção desse composto.

O tratamento alternativo e remoção de fósforo se torna importante visto que ao se procurar minimizar sua dispersão no ambiente, tem-se uma melhora na qualidade da água.

O sistema por si apenas não garante uma água potável, mas a diminuição dos níveis de fósforo acaba por diminuir a reprodução de agentes patogênicos como as bactérias aeróbicas, bem como garante uma água com qualidade para reuso em atividades industriais como lavagem de equipamentos ou de piso, por exemplo.

Toda forma de eliminação e preservação do meio ambiente deve ser procurada pela engenharia, uma vez que essa ciência tem um papel fundamental na preservação do bioma terrestre e garantir um desenvolvimento ecologicamente autossustentável.

Como ponto importante para projetos futuros, além da utilização de dados mais “robustos”, como tempos de análises e períodos maiores, existe o fato de utilização de mantas sintéticas para aumentar a eficiência no processo de filtração. O que gera projetos futuros a serem procurados.

BIBLIOGRAFIA

AOAC Official Method 973.55 – **Phosphorus in water**. Official Methods of Analysis of AOAC International. 2000.

DI BERNARDO , L. **Filtração lenta e pré-filtração de águas de abastecimento**. Apostila, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1989.

DI BERNARDO , L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Vol. 2 Rio de Janeiro: ABES, 1993.

FARIAS, N. J. V. **Desempenho de filtros, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de águas contendo células tóxicas de *Microcystis aeruginosa***. Dissertação de Mestrado. UNB. 2011.

FERRAZ, F.C., PATERNIANI, J.E.S., Redução da Espessura da Camada Suporte através da Substituição por Mantas Sintéticas Não Tecidas na Filtração Lenta de Água de Abastecimento **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**, Vol 7, nº 6 e 7, pg 8 – 15, Jan/Jun 2002

- HESPANHOL, I. Filtração lenta. **In: Técnicas de abastecimento e tratamento de água**, vol. 2. 3ª ed. São Paulo, CETESB, 1987.
- HUISMAN, L & WOOD, W.E. **Slow sand filtration**. Geneva, World Health Organization, 1974.
- MABWETTE, T.S.A. & GRAHAM, N.J.D. Improving the efficiency of slow sand filtration and separation with non-woven synthetic fabrics. **In: Filtration and separation**, vol. 24.1987.
- MELO JÚNIOR, A. S. **Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha sp.*** Dissertação de Mestrado. UNICAMP. 2003.
- PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. Tese de doutoramento, EESC - USP, 1991.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, 2 edição, EESC – USP, 1999.
- TATE, C.H. et al. Health and aesthetic of water quality. **In: Water quality treatment**, 4th ed., AWWA, McGraw-Hill Book Co. 1990.