

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE FÓSFORO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR PROCESSOS DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA

Paloma Caetano Freitas¹
Joãozito Cabral Amorim Júnior²

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo verificar o processo de funcionamento da estação de tratamento de esgoto (ETE) da faculdade Multivix Serra, do tipo RAC, FBAS e DEC, localizada em Colina de Laranjeiras. Que foi projetada para uma vazão nominal de 1,75 L/s com capacidade para atender um número médio de 3000 contribuintes. Foram colhidas três amostras na montante e na jusante da ETE para se fazer uma análise da DBO e através do ensaio de "jar-test" se estimou a carga orgânica dos efluentes. Aplicou-se o método para a quantificação da matéria orgânica e determinou a eficiência da medição de consumo de oxigênio e a de fósforo dos coagulantes cloreto férrico e o sulfato de alumínio, para a remoção de fósforo no tratamento de esgoto. Os resultados obtidos demonstram que a remoção de fósforo total situou-se em torno de 89% a 94% para o sulfato de alumínio, enquanto para o coagulante cloreto férrico foi de 84% a 85%, valor este que também se comportou de forma relativamente independente em relação à dosagem e tipo de coagulante.

Palavras-chave: DBO. Jar-test. Eficiência. Remoção de fósforo. Tratamento de esgoto. Coagulante.

ABSTRACT

This study aimed to verify the operation process of the sewage treatment plant (STP) college Multivix Serra, the RAC type, FBAS and DEC, located in Orange Hill. Which was designed for a nominal flow rate of 1.75 L / s with capacity for an average number of 3000 taxpayers. Three samples were collected in the upstream and downstream of the WWTP to do an analysis of the BOD and by testing "jar-test" was estimated the organic content of the effluents. We applied the method for quantification of organic matter and determined the oxygen uptake of measuring efficiency and the phosphorus coagulant ferric chloride and aluminum sulfate, for phosphorus removal in wastewater treatment. The results demonstrate that the total phosphorus removal amounted to around 89% to 94% for the coagulant aluminum sulphate, whereas for the coagulant ferric chloride was 84% to 85%, a value which also behave in a manner relatively independent of dose and type of coagulant.

¹ Graduanda do curso de Engenharia da Faculdade Capixaba da Serra – MULTIVIX.

² Orientador. Docente da Faculdade Capixaba da Serra – MULTIVIX.

Keywords: BOD. Jar-test. Efficiency. Phosphorus removal. Sewage treatment. Coagulant.

1 INTRODUÇÃO

Nas décadas de 40 a 60, a maior preocupação quando do projeto e construção de estações de tratamento de esgotos (ETE's), especialmente nos Estados Unidos da América e Europa, era a garantia de eficiência na remoção de compostos orgânicos biodegradáveis e sólidos em suspensão totais (SST), sendo que os parâmetros balizadores para tanto eram tão somente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e SST.

Em uma estação de tratamento de esgoto, a autodepuração é um processo que permite que um corpo d'água se recupere sem que haja intervenção antrópica, após o lançamento de despejos. Somado a tecnologia, a ETE reproduz a ação da natureza de maneira mais rápida e eficiente, para que possa devolver ao ambiente o efluente final tratado, que atenda aos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

A remoção físico-química de fósforo (P) em uma ETE, pode ser alcançada por meio da adição de agentes coagulantes (íons metálicos) ou alcalinizantes - precipitação do fósforo solúvel. Os coagulantes mais usados são o cloreto férrico ou o sulfato de alumínio.

Segundo VonSperling (1996) para a remoção biológica de fósforo, é essencial a existência de zonas anaeróbias e zonas aeróbias na linha de tratamento. A zona anaeróbia é considerada um seletor para os microrganismos acumuladores de fósforo no sistema. Ao se remover o lodo biológico excedente, contendo também os organismos acumuladores de fósforo, ricos deste elemento, está se removendo o fósforo.

A zona anaeróbia é descrita como seletor biológico microrganismos armazenadores de fósforo. Ou seja, essa zona permite o desenvolvimento ou a seleção de uma população de organismos armazenadores de fósforo no sistema, onde os níveis de fósforos são significativamente elevados (SEDLAK, 1991).

Durante os processos de tratamento de esgotos sanitários anaeróbios e aeróbios, a tendência é que a fração orgânica e os polifosfatos de alto peso molecular sejam hidrolisados e posteriormente transformados a ortofosfatos, sendo este fenômeno de importância significativa quando se considera a opção de sua remoção por processos físico-químicos. Deste modo, em função do estágio do processo de tratamento de esgotos, as espécies fosforadas poderão encontrar-se na forma de polifosfatos condensados e ortofosfatose, eventualmente, uma pequena fração na forma de fósforo orgânico, sendo que a maior parte destes deverá estar na forma solúvel.

As técnicas convencionais de remoção de P, tais como a decantação primária associadas a lodos ativados ou filtros biológicos, não são suficientes para assegurar baixas concentrações de fósforo total no efluente tratado. Neste caso a precipitação físico-química (desfosfatação), permanece sendo a melhor opção.

Do ponto de vista termodinâmico, o comportamento do ferro como coagulante em meio aquoso é relativamente complexo, envolvendo a sua participação em reações de hidrólise e precipitação química na forma de hidróxidos e na forma de fosfato férrico.

Os coagulantes podem ser utilizados em diferentes etapas dos sistemas de tratamento de esgotos, podendo ocorrer a montante dos cantadores primários, a montante dos tanques de aeração ou dos cantadores secundários ou como tratamento terciário, ou seja, a jusante do processo biológico aeróbio (SEDLAK,1991; METCALF; EDDY, 2003).

Embora a adoção de processos físico-químicos mediante o uso de sais de ferro e alumínio esteja relativamente bem consolidada do ponto de vista científico na Engenharia Sanitária e Ambiental, faz-se necessária a condução de investigações experimentais que objetivem avaliar qual ou quais são os seus mecanismos preponderantes na remoção de fósforo na fase líquida em esgotos sanitários.

Uma vez que existe uma grande diversidade de possibilidades de aplicação de sais de ferro como coagulantes no tratamento de esgotos sanitários, podendo esta ser efetuada a montante ou a jusante de processos anaeróbios ou aeróbios de tratamento, é interessante que seja avaliado o comportamento dos sais de ferro para diferentes efluentes sob a ótica de remoção de fósforo e carga orgânica.

O objetivo geral desse trabalho foi estudar avaliar e otimizar o processo remoção de fósforo no tratamento de esgotos sanitários, mediante o emprego de processos físico-químicos de precipitação química com o uso de sais de ferro e de alumínio como coagulantes.

Deste modo, pretendeu-se mais especificamente:

- avaliar a remoção de fósforo em efluente de tratamento de esgotos da faculdade MULTIVIX-SERRA, com a definição de dosagens ótimas de coagulante adequadas à otimização do processo físico-químico de precipitação química;
- investigar o comportamento do processo de precipitação química na remoção de carga orgânica de forma concomitante com a remoção de fósforo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE objeto de estudo possui uma vazão média de 300 m³/d e sua concepção é composta por Reator Anaeróbio compartimentado (RAC), Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), Decantador Secundário de Alta Taxa (DEC), Desfosfatação Físico-química e Desinfecção com hipoclorito de sódio. Ela compreende basicamente as seguintes etapas: Tratamento preliminar, Tratamento primário (anaeróbio), Tratamento secundário (aeróbio) e Tratamento terciário, o efluente final é posteriormente encaminhado para o corpo receptor rede de tratamento de esgoto da CESAN, conforme demonstrada na Figura 1:

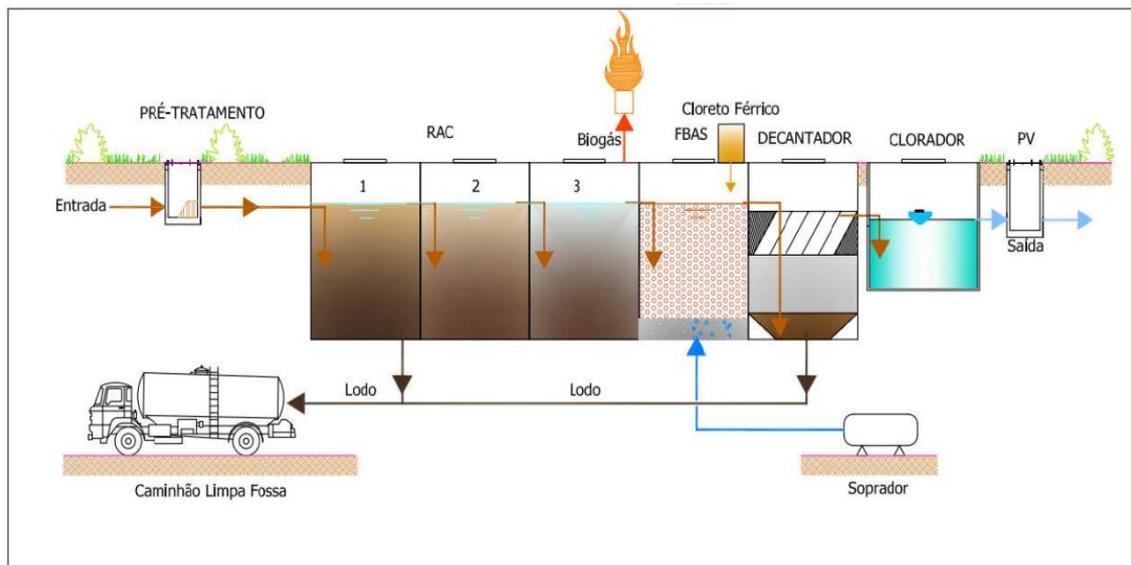


Figura 1: Fluxograma do sistema de tratamento da ETE da Faculdade Multivix.

A matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

A DBO dos esgotos domésticos estão em torno de 350 mg/L, ou seja, 1 litro de esgoto consome aproximadamente 350mg de oxigênio (VON SPERLING, 1996a).

Com o objetivo de permitir um melhor conhecimento dos principais mecanismos envolvidos na remoção de fósforo em esgotos sanitários por processos de precipitação química, a pesquisa foi desenvolvida na entrada do sistema (efluente bruto), a saber:

A ETE localizada na Região Metropolitana de Vitória/ES, município de Serra, e é operada pela própria faculdade. A mesma foi escolhida por permitir avaliar o comportamento de esgoto sanitários quando submetido a processo de precipitação química visando à remoção de fósforo. Uma vez que se espera que a especiação do fósforo na fase líquida seja em função do tipo de água residuária submetida ao tratamento físico-químico, pretendeu-se avaliar qual o comportamento do processo de coagulação na remoção das diferentes frações de fósforo para o efluente inicial. Como a especiação química do fósforo no esgoto bruto é bastante diversa de um efluente produzido por um sistema aeróbio e anaeróbio de tratamento e, dado que poucas informações na literatura apresentam resultados operacionais acerca do

comportamento químico do fósforo e de sais de ferro e alumínio no tratamento de esgotos sanitários brutos, tornou-se interessante a obtenção de resultados experimentais que permitam um melhor conhecimento sobre os aspectos químicos envolvidos nos processos de precipitação química do ferro e alumínio, e fósforo em meio aquoso.

O programa de amostragem envolveu um total de três coletas para cada efluente, tendo sido os mesmos dispostos em bombas com capacidade de 20 litros cada, sendo coletado um volume mínimo igual a 40 litros por amostragem para fins de execução dos ensaios experimentais e de caracterização físico-química. Imediatamente após a sua coleta, estes eram conduzidos ao Laboratório de Tommasi Analítica para a sua posterior caracterização físico-química.

Os principais parâmetros físico-químicos dotados para a caracterização dos efluentes foram pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e fósforo total. Todas as respectivas análises foram efetuadas de acordo com APHA (2005). Os ensaios experimentais de remoção de fósforo por processos de precipitação química foram conduzidos sem escala de “*jar-test*”, tendo-se empregado o cloreto férrico e sulfato de alumínio como coagulantes. A escolha pelo sal de ferro como coagulante é justificada pelo fato deste permitir a formação de flocos mais densos e com maiores velocidades de sedimentação quando comparado com sais de alumínio. Além disto, ressalta - se que as ETE's recentemente projetadas que possuem processos físico-químicos objetivando a remoção de fósforo foram concebidas para trabalharem com sais de ferro em função de sua melhor adequação quando do uso no tratamento de esgotos (SINELLI, 2002).

Para cada ensaio de “*jar-test*” executado, foi mantida fixa a faixa de pH de coagulação para cada um dos jarros, tendo-se variado a dosagem de cloreto férrico em cada jarro, de 40 mg/L a 200 mg/L. O pH de coagulação foi ajustado em cada um dos jarros mediante a adição de volumes de base, de modo que este situasse entre 6,0 a 6,5, faixa esta que é considerada ótima para a precipitação de fósforo por intermédio da aplicação de sais de ferro como coagulante (SNOEYINK et al, 1980; BENJAMIN, 2002).

As soluções de coagulante e base utilizados na condução dos ensaios eram preparadas diariamente e sempre anteriormente à sua execução, sendo que a

solução de cloreto férrico era preparada com concentração igual a 10 ou 20 g/L de FeCl_3 e $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Os procedimentos adotados para execução dos ensaios experimentais foram inicialmente à transferência de um volume de 2 litros de amostra para cada um dos jarros do equipamento de “*jar-test*”. A seguir, a rotação do sistema de agitação era ajustada para cerca de 300 rpm e, imediatamente após seu ajuste, era efetuada a adição do coagulante e base (NaOH 1,0 M) para a eventual correção do seu pH de coagulação.

A quantificação dos volumes de base requeridos para a correção do pH de coagulação foi determinada mediante a execução de curvas de titulação específicas para cada amostra e respectiva dosagem de coagulante imediatamente antes da execução dos ensaios de “*jar-test*”.

Após 30 segundos de mistura rápida, a rotação era reduzida para 40 rpm e procedia-se a etapa de floculação considerando-se um tempo de mistura lenta igual a 10 minutos. Após este tempo, o equipamento era desligado e permitia-se a sedimentação dos flocos previamente formados por, no mínimo, 10 minutos.

Os parâmetros considerados para execução dos ensaios de “*jar-test*” foram adotados e não foram variados, uma vez que não se objetivava a otimização de parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação, sendo enfocados com mais ênfase os aspectos químicos envolvidos na interação entre o fósforo e ferro em processos de precipitação química. Assim, os resultados experimentais produzidos puderam ser comparados entre si, pois do ponto de vista metodológico, as suas condições operacionais sempre foram mantidas constantes. Após o período de sedimentação, efetuava-se a coleta de 1 litro de amostra em cada jarro para execução das análises físico-químicas pertinentes.

Uma vez tendo-se analisado o comportamento da remoção de fósforo total para diferentes dosagens de cloreto férrico, para alguns ensaios de “*jar-test*” específicos, era selecionada uma amostra de modo que fosse possível efetuar a especiação do fósforo presente na fase líquida.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os valores típicos de concentração de fósforo total em função da dosagem de coagulante, com coagulante cloreto férrico, obtido para um ensaio de “*jar-test*” tendo-se empregado em esgoto bruto.

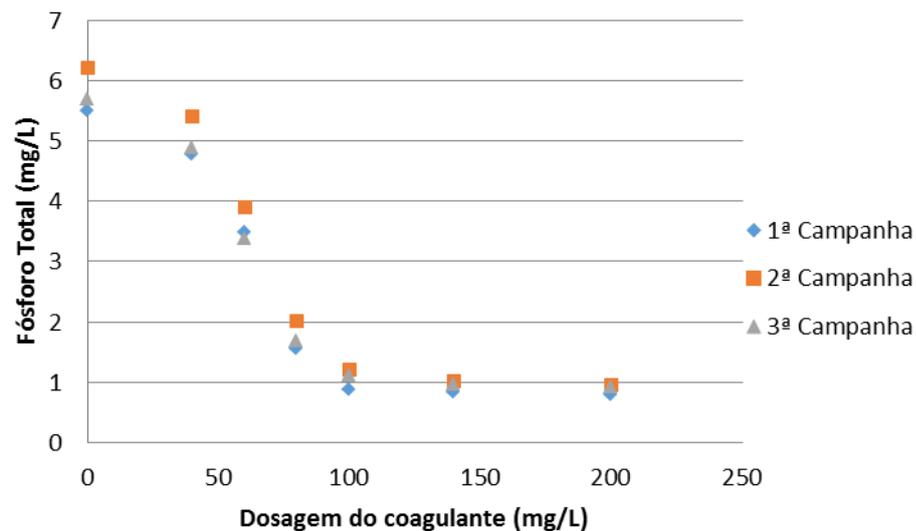


Figura 2: Concentração de fósforo total na fase líquida em função da dosagem de coagulante - Cloreto Férrico.

Analisando-se a Figura 2 pode-se notar que a remoção de fósforo observada por mecanismos de precipitação química para o esgoto bruto foi significativa, sendo que a sua redução atingiu valores em torno de 90%.

Observa-se ainda que a remoção de fósforo ocorreu de forma relativamente independente em relação a dosagem de coagulante de forma gradual, uma vez que, para dosagens iguais ou superiores a 200 mg FeCl₃/L, os seus valores de remoção tenderam a um patamar constante. Desta forma, o aumento da dosagem de coagulante não proporcionou uma melhora significativa na remoção de fósforo, o que é benéfico em relação aos aspectos operacionais envolvidos em processos de precipitação química, notadamente com respeito à necessidade de minimização da produção de lodo.

A alta porcentagem de remoção de fósforo obtida para uma relativa baixa dosagem de coagulante está provavelmente associada à especiação do fósforo

presente no efluente. Por tratar-se de esgoto bruto, o fósforo presente encontra-se nas formas particulada e solúvel, sendo que na forma solúvel, este pode estar na forma orgânica, na forma de polifosfatos e ortofosfatos.

A Figura 3 apresenta os valores típicos de concentração de fósforo total em função da dosagem de coagulante, com coagulante sulfato de alumínio, obtido para um ensaio de “jar-test” tendo-se empregado em esgoto bruto.

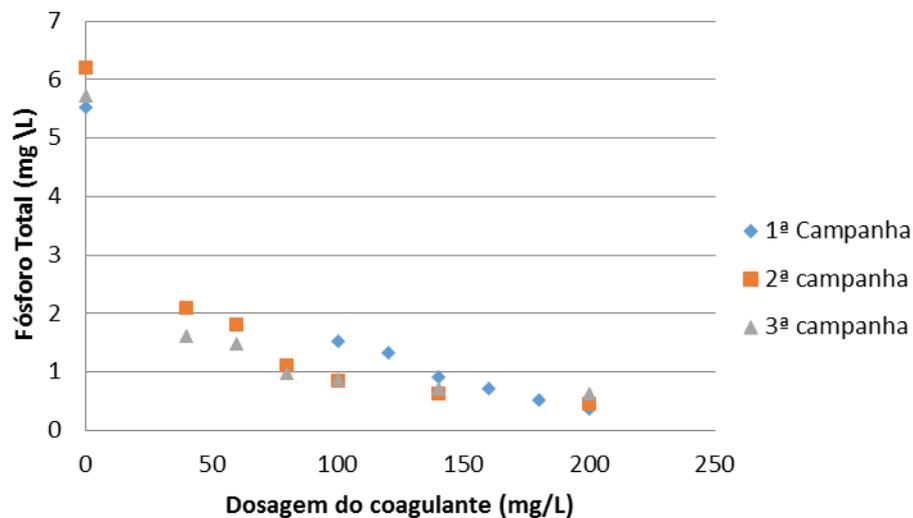


Figura 3: Concentração de fósforo total na fase líquida em função da dosagem de coagulante – Sulfato de Alumínio.

Observando a Figura 3, nota-se que o mesmo comportamento observado com respeito à remoção de fósforo, com precipitação em cloreto férrico, foi também notado para precipitação em sulfato de alumínio. Com o aumento da dosagem de coagulante, observa-se um aumento na sua remoção, sendo que, a partir de uma dosagem, esta passa a tender a um valor aproximadamente constante.

Para o esgoto bruto, tem-se que a remoção de fósforo total situou-se em torno de 89% a 94%, enquanto para o coagulante cloreto férrico foi de 84% a 85%, valor este que também se comportou de forma relativamente independente em relação à dosagem e tipo de coagulante.

Os resultados experimentais obtidos permitiram concluir que, de um modo geral, as dosagens de coagulante que permitiram a otimização da remoção de fósforo com

sulfato de alumínio têm-se um decaimento inicial muito grande em relação ao coagulante cloreto férrico.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados experimentais, pode-se concluir que:

Foi possível a obtenção de valores de remoção de fósforo para efluentes bruto da ordem de 94% para dosagens de sais de alumínio iguais ou superiores a 200 mg/L.

Uma vez tendo-se definido as dosagens ótimas a fim de que fosse possível a otimização da remoção de fósforo por processos de precipitação química, também estas poderão ser consideradas adequadas para a otimização da remoção matéria orgânica.

A remoção de fósforo na forma de ortofosfatos ocorre preferencialmente por mecanismos de precipitação na forma de fosfato férrico ou pela sua adsorção no hidróxido metálico previamente formado, devendo ser efetuados estudos complementares com o objetivo de dirimir as dúvidas ainda existentes.

O inconveniente da precipitação com sulfato de alumínio é a liberação de H_2S , que é um fator limitante em seu uso.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro concedido e Bolsa de Iniciação Científica.

5 REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, D.C., USA, 2005.

AMORIM JR, J.C. et al. Avaliação da Autodepuração em um trecho do rio São João da Viçosa – Venda Nova do Imigrante-ES. **X Simpósio Ítalo-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Maceió, Al. 2010.

BENJAMIN, M.M. **Water chemistry**. 668 p. New York, McGraw Hill, 2002.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. McGraw-Hill, 4. ed., 2005.

SEDLAK, R. I. **Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: Principles And Practice**. 2 ed. The Soap detergent Association, Lewis Publishers, New York, 1991.

SINELLI, P.H. **Remoção de Fósforo de Efluente de Tratamento Anaeróbio por Processo Físico-Químico**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2002.

SNOEYINK, V.L., JENKINS, D. **Waterchemistry**. New York, John Wiley & Sons, 463p, 1980.

VIDAL ALVES, C.S. **Remoção de Fosfóro em Estação Compacta em Tratamento de Esgotos Sanitários através de Precipitação Química**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade de água e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996a. v. 1. 325p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de água residuárias: Lagoas de estabilização**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996b. v. 3.