

# CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO TOTAL EM SISTEMA ALTERNATIVO DE TRATAMENTO POR LAGOA FACULTATIVA

**Ariston Silva Melo Júnior<sup>1</sup>**  
**Kleber Aristides Ribeiro<sup>2</sup>**  
**Abrão Chiaranda Merij<sup>2</sup>**  
**Alex Lenildo Lima<sup>2</sup>**  
**Gustavo Rotondano Tavares<sup>2</sup>**  
**Juan Pablo Mandarinó Riquelme<sup>2</sup>**

## RESUMO

O crescimento da zona urbana e o aumento populacional levaram ao impacto dos recursos hídricos. A crescente demanda por água para abastecimento, processos industriais e a agricultura, também levaram a deterioração da água no planeta. O desenvolvimento da engenharia civil no ramo sanitário possibilitou a introdução de novas tecnologias para tratamento do esgoto gerado pelos centros urbanos e agrícolas. Houve a introdução de uma gama de sistemas, tais como: aeradores, decantadores, reatores, leitos cultivados, entre outros. A proposta de pesquisa atual resultou no monitoramento e análise das concentrações de fósforo em uma lagoa facultativa. As lagoas facultativas são grandes reservatórios onde, através de tempos de detenção hidráulicos distintos, pode-se resultar em uma melhora nos parâmetros de potabilidade. A presente pesquisa estudou um sistema de lagoa desenvolvido num município do estado de São Paulo, Brasil. O projeto foi desenvolvido no período de 02 de julho a 03 de setembro de 2018, que nos possibilitou avaliar os índices de fósforo. As análises foram realizadas semanalmente, pelo método AOAC Official Method 973.55 – *Phosphorus in water* e permitiram constatar numa concentração de fósforo médio de 10,76 mg.L<sup>-1</sup>.

**Palavras chaves:** Saneamento Básico, Engenharia Civil, Meio Ambiente, Bioma, Fósforo.

**ABSTRACT**

The growth of the urban area and the population increase led to the impact of water resources. The growing demand for water for supply, industrial processes and agriculture also led to the deterioration of water on the planet. The development of civil engineering in the health sector allowed the introduction of new technologies for the treatment of sewage generated by urban and agricultural centers. There was the introduction of a range of systems, such as aerators, decanters, reactors, cultivated beds, among others. The current research proposal resulted in the monitoring and analysis of phosphorus concentrations in a facultative pond. Facultative ponds are large reservoirs where, through distinct hydraulic holding times, it can result in an improvement in the potability parameters. The present study studied a lagoon system developed in a municipality in the state of São Paulo, Brazil. The project was developed from July 2 to September 3, 2018, which allowed us to evaluate the phosphorus indexes. The analyzes were performed weekly by the AOAC Official Method 973.55 - Phosphorus in water and allowed to verify in an average concentration of phosphorus of 10.76 mg.L<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Basic Sanitation, Civil Engineering, Environment, Biome, Phosphor.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil do Complexo Educacional FMU; Pós doutorando pelo IPEN-USP; Pesquisador colaborador da UNICAMP. E-mail: [juniorariston@gmail.com](mailto:juniorariston@gmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil do Complexo Educacional FMU

## INTRODUÇÃO

O recrudescimento demográfico advindo do aumento de alimentos e melhoria continua no sistema público de saúde gerou uma grande problemática a ser enfrentada pelos novos engenheiros do século XXI; como a falta de abastecimento hídrico para as crescentes necessidades humanas (Melo Júnior, 2003).

O problema enfrentado é tão desafiador que a Organização das Nações Unidas (ONU) em 2012 constatou que nenhuma região do mundo está livre das pressões sobre a falta de recursos hídricos.

Segundo Albano (2014), na Europa, por exemplo, 120 milhões de cidadãos não têm acesso à água potável. Em certas partes do continente, os cursos de água podem chegar a perder até 80% de seu volume no período do verão.

Quando se pensa em continente africano, os valores observados tendem a piorar, uma vez que taxa média demográfica tem um recrudescimento anual de 2,6%. Enquanto a média mundial é de apenas 1,2% (Albano, 2014).

Para Albano (2014) o aumento das necessidades hídricas para assegurar processos de fabricação e na agricultura entre outras atividades faz, com que a demanda de água acelere a deterioração de seus recursos hídricos.

Coraucci Filho *et al* (2003), salienta que a não uniformidade e homogeneidade nas reservas hídricas em relação a crescente população têm levado em conta que continentes como a Ásia e o Pacífico que abrigam 60% da população do mundo, mas apenas 36% dos recursos hídricos têm sérios problemas de abastecimento hídrico.

De acordo com o relatório da ONU, cerca de 480 milhões de pessoas não tinham acesso, em 2008, a uma fonte de água de qualidade, e 1,9 bilhão não tinham infraestrutura sanitária adequada.

Na América Latina enquanto a taxa de extração de fontes hídricas foi duplicada no final do século XX devido as crescentes necessidades para abastecimento público e industrial. No Oriente Médio, pelo menos doze países sofrem de escassez completa de água, sem fontes de água adequadas para o público (Albano, 2014).

Pesquisadores como Albano (2014) relatam que o relatório da ONU informa ainda que mundialmente cerca de 80% das águas residuais não são recolhidas nem tratadas, mas vão direto a outros corpos d'água ou se infiltram no subsolo, o que

acaba causando problemas de saúde na população e a deterioração do meio ambiente. Considerando esta situação, torna-se acentuada a necessidade de tratamento e desinfecção dos efluentes sanitários.

Para fazer frente ao desafio de garantir a preservação das fontes de água para garantir abastecimento à sociedade e permitir a manutenção das necessidades hídricas para o setor agrícola e industrial, novas tecnologias denominadas de Sistemas Alternativos de Tratamento de Esgoto (SATE) vem sendo estudados nos centros de pesquisas em universidades públicas (Melo Júnior, 2003).

Melo Júnior (2003) relata que o SATE é formado por vários tipos de sistemas, tais como: wetlands, filtração lenta, tanque séptico modificado, reator aeróbico e anaeróbico, valas de infiltração e lagoas facultativas ou também conhecidas por lagoas de estabilização.

As lagoas de estabilização têm sido a técnica de tratamento de esgotos domésticos mais utilizada nos países em desenvolvimento (Yáñez, 2000).

Segundo Perígolo (2004), em Brasília, com relação ao sistema de tratamento de esgoto constituído por 16 Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) operadas pela Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB), 10 delas possuem, em parte ou no todo, o processo de lagoas de estabilização.

Para Albano (2014) as lagoas são muito utilizadas por ser um processo natural de tratamento de esgotos, apresentar baixo custo de manutenção e instalação (quando o valor do terreno é baixo). Além disso, o autor relata também que o sistema de lagoas pode atingir excelentes eficiências de remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos.

As lagoas de estabilização têm sido largamente utilizadas, somente no Brasil elas estão presentes em 375 localidades (Perígolo, 2004). Contudo, Perígolo (2004) afirma que a forma de dimensionamento e o entendimento do processo ainda têm muito a serem estudados.

O primeiro fator, dimensionamento, tem sido na maioria das vezes executado por métodos empíricos. São muitos os métodos propostos, mas quando seus resultados são comparados, grandes variações são encontradas (Perígolo, 2004).

Para Perígolo (2004) com relação ao processo, as dificuldades surgem nas relações entre os fatores, devido à grande quantidade de variáveis interferentes em cada um deles.

O intuito da proposta de pesquisa foi o monitoramento por 3 meses e posterior análise da concentração de fósforo (P) total em um sistema de lagoa facultativa formado por: lagoa anaeróbica, lagoa facultativa primária e lagoa facultativa secundária.

Para tanto foi utilizada um sistema desenvolvido e em operação no município de Itirapuã, estado de São Paulo.

### **Legislação versus Reuso Hídrico**

Como forma de preservação do recurso água, o esgoto doméstico coletado deve ser destinado às estações de tratamento de esgoto (ETE), para posterior disposição final. Existem inúmeras formas de disposição do esgoto, sendo a diluição em córregos, rios e lagos, uma das mais frequentes no Brasil (Coraucchi Filho *et al*; 2003).

Segundo Albano (2014) a grande maioria dos casos, a diluição ocorrida é insuficiente para manter o padrão de qualidade do corpo d'água dentro dos limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/05 que classifica os corpos d'água por categorias variáveis de 1 a 4, sendo que a qualidade tende a diminuir de forma crescente.

Outra forma de disposição do esgoto é o reuso, até alguns anos vista como uma opção exótica é hoje uma alternativa que não pode ser ignorada (Campos, 2014), pois além de dispor o esgoto, ajuda combater a escassez de água.

Campos (2014) afirma que na indústria, o reuso do esgoto pode ser como água de resfriamento em caldeiras, sistemas de lavagem e transporte de materiais, na irrigação de jardins e processamento de produtos.

Para irrigação de áreas verdes, parques e jardins municipais, limpeza de pátios e ruas e em instalações de descargas sanitárias o esgoto tratado também pode ser utilizado o sistema de reuso. Entretanto, uma das mais promissoras formas de reuso

do esgoto é por meio da aplicação no solo com o objetivo de irrigação de culturas agrícolas (Albano, 2014).

Além de fornecer água, o esgoto também é rico em nutrientes e matéria orgânica, e quando convenientemente aplicado ao solo melhora sua fertilidade, refletindo-se em maior produtividade das culturas, conforme já comprovado em vários trabalhos científicos (Campos, 2014).

A aplicação do esgoto para irrigação está condicionada a aspectos de saúde pública, escolha das culturas e impactos ambientais (Araújo, 2000).

A segurança deste tipo de reuso depende da confiabilidade da desinfecção do esgoto (Coraucci Filho *et al.*, 2003). Desta forma, para os autores, os requisitos mínimos de qualidade microbiológica para o esgoto foram estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 1989, baseados na presença de ovos de Helmintos e coliformes fecais.

### **Processo de tratamento - LAGOAS FACULTATIVAS**

A aplicação de lagoas facultativas tem crescido como tratamento de esgoto efluente de processos anaeróbios. Mas, atualmente, ainda se conservam e instalam lagoas que tratam esgoto bruto (com ou sem tratamento preliminar) (Perígolo, 2004).

Conforme mencionado, o termo facultativo refere-se a uma mistura de condições aeróbias e anaeróbias. Na camada de cima do volume interno da lagoa, está o meio aeróbico, e na camada de baixo, o anaeróbio (Albano, 2014).

A maior parte do oxigênio requerido para manter a camada superior em condições aeróbias é originada da atividade fotossintética das algas. A outra parte, considerada desprezível, procede da reaeração resultante do contato com o ar e vento na superfície da lagoa (Von Sperling, 1996).

Segundo os estudos de Albano (2014), o crescimento de algas nas lagoas é favorecido pelo ambiente rico em nutrientes e pela exposição à luz solar, principais fatores de seu metabolismo. De fato, em virtude da grande concentração de algas, as lagoas facultativas apresentam cor esverdeada (eutrofização).

O crescimento excessivo de algas, caracterizado pela eutrofização, gera nas lagoas altos níveis de concentração de nutrientes, essencialmente o nitrogênio e fósforo (Monteiro, 2004).

Segundo Perígolo (2004), na zona aeróbia, microorganismos utilizam o oxigênio produzido pelas algas através da fotossíntese, e as algas por sua vez utilizam o  $\text{CO}_2$ , resultante da respiração desses microorganismos, para realizarem fotossíntese. Isso caracteriza um processo de simbiose entre as algas e as bactérias. Perígolo (2004) comenta ainda que o material orgânico a ser degradado é basicamente formado por partículas de menor tamanho, que tendem a não sedimentar.

As algas também utilizam outros produtos resultantes do metabolismo dos microorganismos, como o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e o fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) para realização da fotossíntese. Há também uma troca gasosa entre o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) presente na lagoa com os gases presentes na atmosfera.

Para Perígolo (2004) a posição de transição da camada aeróbia para a anaeróbia (oxipausa) oscila de acordo com a produção/consumo de oxigênio, que varia entre noite e dia, manhã e tarde, tempo nublado e sol radiante.

A região caracterizada pela intermitência na presença de oxigênio é denominada zona facultativa, onde sobrevivem microorganismos denominados facultativos, por se adaptarem tanto à presença quanto ausência de oxigênio (Albano, 2004).

Segundo Von Sperling (1996) para a degradação da matéria orgânica, esses organismos utilizam o oxigênio ou nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) (quando em condições anaeróbias) como aceptores de elétrons.

Em estudos aprofundados de Von Sperling (1996) levam a conclusões que na zona anaeróbia, os microorganismos são adaptados para sobreviverem na ausência de oxigênio.

Para a degradação da matéria orgânica, utilizam os sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e  $\text{CO}_2$  como aceptores de elétrons. Esta zona é composta principalmente pelo lodo de fundo, que é formado pela sedimentação de material particulado no processo de deposição pela ação gravitacional (Perígolo, 2004).

O material que forma o lodo de fundo, degradado anaerobicamente, converte-se lentamente em gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e outros (Couracci Filho *et al.*, 2003).

O processo de conversão gasosa pela ação microbiana no lodo faz com que reste no fundo apenas o material inerte mineralizado (não biodegradável) (Albano, 2014).

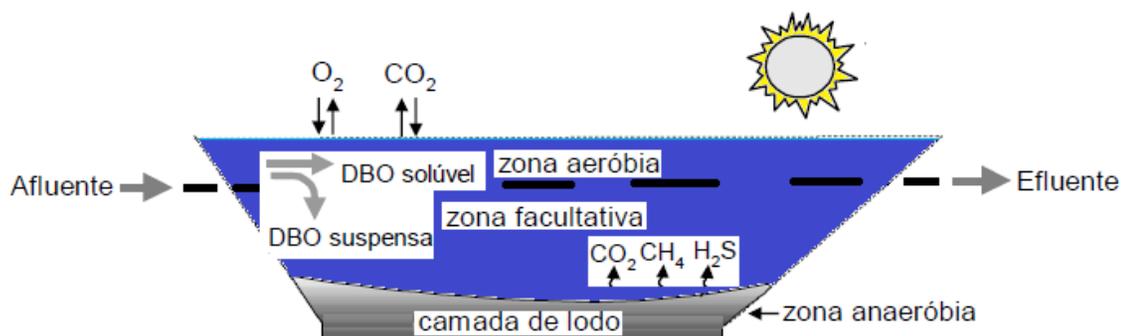
Albano (2014) argumenta que os gases resultantes das reações de degradação tendem a subir, podendo ser absorvidos na massa líquida ou desprender para a atmosfera. Em particular, o gás  $\text{H}_2\text{S}$  que apresenta odor desagradável, semelhante ao cheiro de “ovo podre”, ao passar pela camada aeróbia superior, é oxidado por processos químicos e bioquímicos, e por isso não causa problemas de mau cheiro.

Assim, com base em conclusões de Von Sperling (1996), a lagoa facultativa degrada os esgotos em três zonas: aeróbia, facultativa e anaeróbia.

A matéria orgânica dissolvida (solúvel) e a em suspensão de pequenas dimensões (finamente particulada) fica dispersa no esgoto, sendo oxidada aerobicamente na camada mais superficial e por organismos facultativos na camada intermediária (Perígolo, 2004).

Já a matéria orgânica particulada tende a sedimentar, formando o lodo de fundo, que degrada anaerobicamente (Perígolo, 2004).

O processo de tratamento das lagoas facultativas pode ser visualizado na Figura 1, a seguir.



**Figura 1** - Esquema simplificado de uma lagoa facultativa (Von Sperling, 1996)

Segundo Perígolo (2004) os fatores que interferem no processo de tratamento das lagoas facultativas podem ser divididos em externos e internos.

Os fatores externos e sua influência no tratamento são apresentados na tabela 1, a seguir, com base nos apontamentos levantados por Perígolo (2004).

**Tabela 1** - Fatores ambientais externos (Perígolo, 2004).

<b>Fator</b>	<b>Influência</b>
Radiação solar	- Velocidade de fotossíntese
Temperatura	- Velocidade de fotossíntese - Taxa de decomposição bacteriana - Solubilidade e transferência de gases - Condições de mistura
Vento	- Condições de mistura - Reaeração atmosférica (*)

(\*) mecanismo de menor importância no balanço de Oxigênio Dissolvido (OD)

Os fatores internos interferentes no processo de tratamento de esgotos domésticos por lagoas facultativas são as algas (fotossíntese) e a carga orgânica aplicada (Perígolo, 2004). Admitindo-se que a carga orgânica aplicada à lagoa seja apropriada, teríamos apenas as algas como fator interno de influência no tratamento. Visto que os fatores externos e internos interferem na eficiência do tratamento, eles devem ser analisados em conjunto (Perígolo, 2004).

Fatores climáticos (externos) influenciam sobremaneira no processo de tratamento uma vez que afetam o processo de fotossíntese (internos). Para se correlacionar a fotossíntese com o clima, devem-se incluir todos os fatores pertinentes (Perígolo, 2004).

De uma forma geral, o aumento da temperatura correlaciona-se positivamente com o aumento da produção fotossintética, e, por conseguinte com o aumento do teor de oxigênio (Araújo, 2000).

Perígolo (2004) relata que em estudos aprofundados, quando a temperatura está alta com incidência de radiação solar excessiva, pode haver a inibição da capacidade de fotossíntese das algas uma vez que tal incidência de radiação é

prejudicial. Nesses casos, o aumento da temperatura pode não resultar em maiores concentrações de oxigênio dissolvido no efluente líquido.

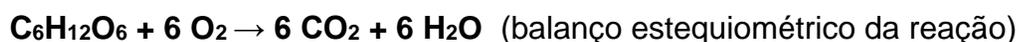
Outros fatores podem também alterar a qualidade dos efluentes, entre eles a localização, temperatura, carga aplicada e às variações diárias de tempo (manhã, tarde e noite) (Perígolo, 2004). Por seu papel fundamental no processo de degradação da matéria orgânica nas lagoas, pode-se dizer que a qualidade do efluente está atribuída às algas (Perígolo, 2004).

Uma tendência atual é relacionar os fatores climáticos à produtividade de algas, na tentativa de expressar a eficiência do tratamento através da biomassa oriunda de algas (Araújo, 2000).

### **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

Dias (2018) salienta que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) corresponde à quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes em certa amostra de efluente (como o esgoto doméstico e o industrial). Como esses microrganismos realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático, saber a quantidade desse gás é uma forma efetiva de analisar o nível de poluição existente nesse meio.

Os microrganismos (bactérias aeróbias, por exemplo) atuam como catalisadores de reações de oxidação, nas quais os compostos orgânicos, juntamente ao gás oxigênio, são transformados em novos compostos (Dias, 2018). Como exemplo, a oxidação da glicose leva à produção de gás carbônico e água, como se pode observar na reação química abaixo:



Os compostos orgânicos que são oxidados na natureza são constituídos principalmente de carbono, hidrogênio e oxigênio, além de nitrogênio, fósforo, enxofre. A principal fonte de substâncias orgânicas encontradas nos rios e mares é o esgoto, no qual encontramos carboidratos, proteínas e óleos (Dias, 2018).

A decomposição biológica gera a Demanda Bioquímica de Oxigênio, e isso tem uma função fundamental no meio ambiente, pois a degradação da matéria orgânica devolve à natureza seus elementos e substâncias (Dias, 2018). Entretanto, como a grande maioria das cidades lança seu esgoto em rios, é importante haver um equilíbrio na DBO desses efluentes, que pode ser, segundo Dias (2018), conseguido da seguinte forma:

- Deve-se preocupar com a relação entre a vazão de água e a quantidade de esgoto lançada; e
- Intensificar a aeração, isto é, a quantidade de oxigênio dissolvido na água.

### **Relação da DBO e a qualidade hídrica**

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é utilizada para determinar o nível de poluição das águas. Consideram-se poluídas as águas que apresentam uma baixa concentração de oxigênio dissolvido, portanto, com alta DBO, já que essa substância é utilizada na decomposição de compostos orgânicos (Dias, 2018).

As águas não poluídas ou limpas, por sua vez, têm elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, baixa DBO, beirando o ponto de saturação (Dias, 2018).

### **DBO e o desafio do Tratamento de Lodo**

Em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), a DBO é um parâmetro utilizado para verificar a eficiência na decomposição de matéria orgânica, pois, se a DBO está elevada, quer dizer que a matéria orgânica está sendo consumida. De acordo com a legislação, a DBO máxima no esgoto deve ser de 60 mg.L<sup>-1</sup> (Dias, 2018).

Dessa forma, segundo Dias (2018), a demanda bioquímica de oxigênio atua como um indicador de poluição das águas. Quanto maior a quantidade de efluentes lançados em um curso de água, maior será a quantidade de matéria orgânica, o que favorecerá um grande consumo de gás oxigênio (O<sub>2</sub>) por parte dos microrganismos, elevando a DBO e prejudicando os seres vivos aeróbios. Isso porque, ao elevar a DBO, os seres vivos anaeróbios passam a realizar a reação de oxidação dos

compostos orgânicos, o que leva à produção de substâncias de odor desagradável, como o ácido sulfídrico ( $H_2S$ ).

## METODOLOGIA

### Experimento local

Durante 3 meses, entre os meses de julho a setembro de 2018 foram efetuadas coletas semanais para análises da concentração de fósforo total (P) num sistema de tratamento constituído por lagoa facultativa instalado no município de Itirapuã, São Paulo, Brasil.

O sistema opera com auxílio da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

A figura 2 localiza a região de interesse científico que foi monitorada e analisada.



**Figura 2** – Município de Itirapuã com o sistema de tratamento. Fonte: Google maps.

O sistema adotado recebe o efluente proveniente do Ribeirão Capanema, classificado segundo a norma do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 357 – para classe de rios, como classe 4.

O sistema de tratamento tem capacidade máxima operacional para vazões de até 1.149,12 metros cúbicos diários, sendo composto por três câmaras que formam o sistema de lagoa facultativa (PREFEITURA MUNICIPAL de Itirapuã 2011).

Na figura 3 pode-se visualizar uma foto área do conjunto de tratamento de esgoto. Para um melhor aproveitamento da área superficial doada pelo município de Itirapuã o conjunto montado tem um perfil triangular se observar a parte periférica do local.



**Figura 3** – Sistema de Lagoa Facultativa (Albano, 2014)

O sistema funciona por escoamento gravitacional sendo que cada reservatório auxilia na depuração do esgoto.

O conjunto é composto por: lagoa anaeróbica que auxilia no processo anóxico com eliminação de bactérias aeróbicas e em seguida duas lagoas facultativas denominadas – primária e secundária.

Para o conjunto foi utilizado um período de estabilização lodal, denominado de tempo de detenção hidráulico ( $\theta_h$ ) de 12,5 dias.

Apesar de o sistema operacional ter capacidade máxima para vazões de  $1.149,12 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , a SABESP em conjunto com a prefeitura de Itirapuã recomenda a utilização de  $846,72 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , ou seja, 73,68% de sua capacidade para evitar riscos de sobrecarregar o sistema.

### **Caracterização do sistema**

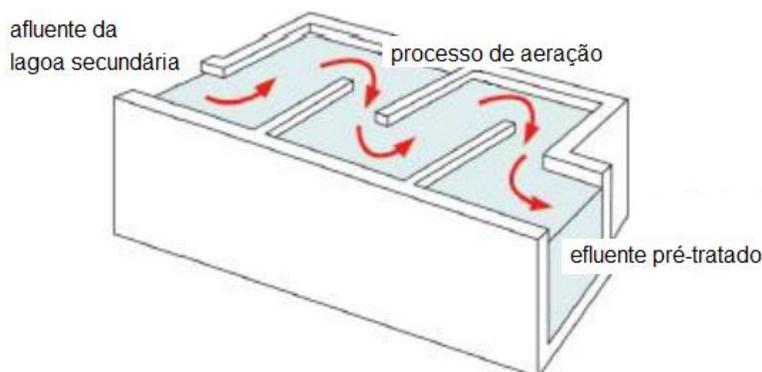
As características do complexo do sistema de lagoa facultativa são observadas a partir da tabela 2 (a seguir), fornecida pela prefeitura de Itirapuã.

**Tabela 2** – Caracterização do complexo de Lagoa Facultativa (fonte: SABESP 2011)

	Lagoa Anaeróbica	Lagoa Facultativa primária	Lagoa Facultativa secundária
Área superficial (A)	3.000 m <sup>2</sup>	2.560 m <sup>2</sup>	3.160 m <sup>2</sup>
Volume efetivo (V)	5.580 m <sup>3</sup>	3.830 m <sup>3</sup>	4.960 m <sup>3</sup>
Profundidade (h)	2,80 m	1,80 m	1,80 m
Tempo de detenção hidráulico ( $\theta_h$ )	4,9 d	3,3 d	4,3 d
Vazão de projeto ( $Q_p$ )	1.149,12 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1.149,12 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	1.149,12 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>
Vazão demanda ( $Q_d$ )	846,72 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	846,72 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	846,72 m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>

Após o esgoto passar pela segunda lagoa facultativa o processo de despoluição prossegue a partir de um tanque de aeração, denominado tanque de contato de perfil quadrado e volume 28,73 m<sup>3</sup>.

O tanque de contato é compartimentado e em seu interior ocorre a divisão por chicanas horizontais, conforme figura 4.

**Figura 4** – Esquema do tanque de contato adotado

Tendo o volume do tanque de contato ( $V_{tc}$ ) e a vazão de demanda ( $Q_d$ ), através do equacionamento hidráulico observado por pesquisadores como Porto (1999) é possível determinar tempo de detenção hidráulico ( $\theta_h$ ), apresentado a partir da equação 1:

$$\theta_h = \frac{V_{tc}}{Q_d}$$

**Equação 1** (Porto, 1999)

Com o auxílio das informações de  $V_{tc}$  e  $Q_d$  introduzidos na equação 1, o tempo de detenção hidráulico calculado foi de 0,034 d, ou seja, um valor para interpretações

leigas de aproximadamente 49 minutos, a partir da conversão do tempo pelo processo de análise dimensional.

### **Análise de Fósforo Total**

Foram colhidas 20 amostras de esgoto em garrafas de armazenagem de 500 mL, durante as 10 semanas de coletas no período de estudo de 02 de julho a 03 de setembro de 2018.

As coletas foram na entrada do sistema antes da lagoa anaeróbica e no final do complexo na lagoa secundária.

Depois de colhidas, engarrafadas e resfriadas, as amostras em laboratório passaram pela análise de fósforo total pelo método 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. (Melo Júnior, 2003).

São adicionados 1 ml de solução hidrólise ácida que é produzida pela adição de 310 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) em 600 mL de água destilada ( $H_2O$ ) a 50 mL da amostra de esgoto em um tubo de erlenmeyer de 125 mL.

Em seguida, adicionou-se 0,4 gramas de persulfato de amônio e ferveu-se gentilmente o produto em uma chapa aquecedora por 30 a 40 minutos, até ocorrer uma redução no volume para 10 mL, conforme metodologia abordada por Melo Júnior (2003).

O produto resfriado a temperatura ambiente sofre depois a adição de algumas gotas de solução fenolftaleína e ajustou-se o pH com a adição de solução hidróxido de sódio (NaOH), agitando-se o frasco com a solução até obter uma coloração rosada. Posteriormente, a cor é corrigida pela ação de gotas de hidrólise ácida.

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

Feito todo o processo de preparação, posteriormente é feita adição de 50 mL de  $H_2SO_4$  de normalidade 5N a 5 mL de solução de tartarato de antimônio e potássio, juntamente com 15 mL de solução de molibdato de amônia e 30 mL de solução ácido ascórbico.

Recupera-se 50 mL da amostra final e adicionou-se 8,0 mL do reagente combinado que se aguardou por um intervalo de tempo entre 10 e no máximo 30 minutos até a amostra assumir uma coloração azulada.

Após ter-se feito todo o processo de preparação da amostra final para leitura no espectrofotômetro é realizado a configuração de uma curva padrão para medição de absorvância.

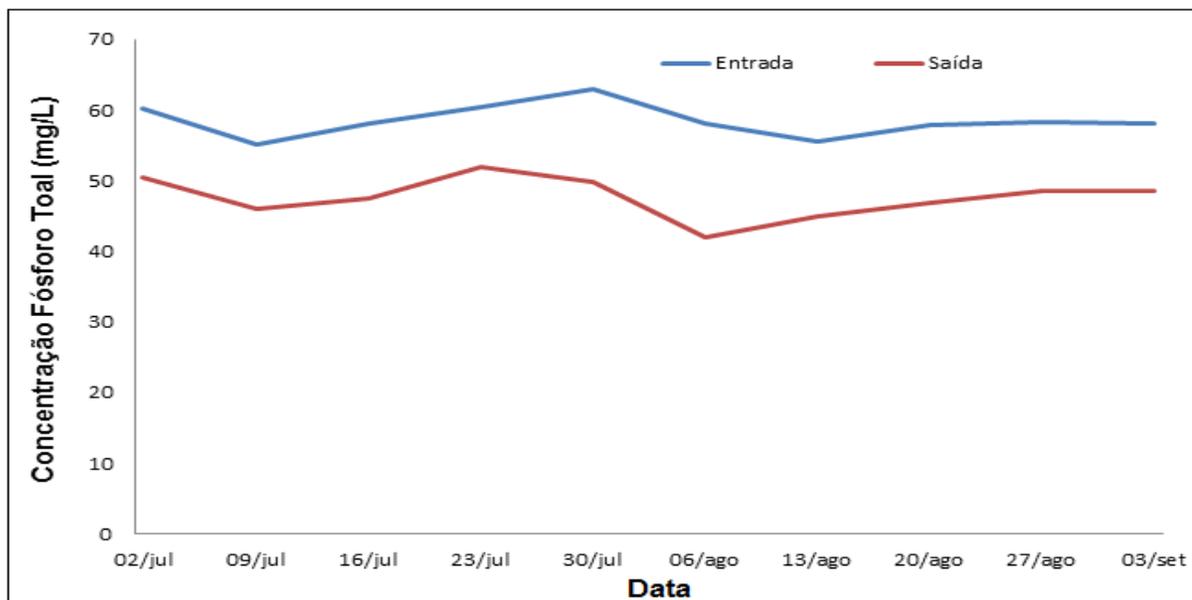
Tal curva é calibrada utilizando-se soluções de trabalho que são feitas dissolvendo-se 0,2197 gramas de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  em um litro de água destilada com reagente sem fósforo, obtendo-se soluções intermediárias 1, 3, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 mL.

As amostras intermediárias, bem como a amostra preparada, são medidas no espectrofotômetro, cujo comprimento de onda ( $\lambda$ ) utilizado é de 880 nm ( $880 \cdot 10^{-9}\text{m}$ ).

## RESULTADOS

Os dados levantados graças à técnica AOAC *Official Method 973.55 – Phosphorus in water*, permitiram elaborar um comportamento gráfico do desempenho do sistema.

Tal perfil de desempenho pode ser observado pela figura 5, a seguir.



**Figura 5** – Relação das concentrações e entrada e saída do sistema de lagoa facultativa

Pela figura 5 pode-se observar que o comportamento de saída do sistema foi uniforme, ficando numa faixa entre 40 e 50 mg.L<sup>-1</sup> aproximadamente.

A carga difusa oriunda do ribeirão Capanema que entrou no sistema a partir da lagoa anaeróbica ficou num intervalo de 55 a 60 mg.L<sup>-1</sup> aproximadamente.

A partir dos dados apresentados pela figura 5, pode-se observar de forma individual o desempenho ao longo das 10 semanas de estudos pela tabela 3, apresentada a seguir.

**Tabela 3** – Concentrações efetivas de Fósforo Total em 2018.

<b>Data</b>	<b>Entrada (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Saída (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Removida (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
02/jul	60,1	50,5	9,6
09/jul	55	46	9
16/jul	58	47,5	10,5
23/jul	60,5	51,9	8,6
30/jul	63	49,9	13,1
06/ago	58	42	16
13/ago	55,5	44,9	10,6
20/ago	57,8	46,9	10,9
27/ago	58,3	48,5	9,8
03/set	58	48,5	9,5
<b>Média do período</b>	<b>58,42</b>	<b>47,66</b>	<b>10,76</b>

A partir dos dados apresentados pela tabela 3 foi observado que a concentração média removida de fósforo total foi de 10,76 mg.L<sup>-1</sup>. Apresentando o sistema uma ferramenta adicional para o tratamento de esgoto.

Os níveis de remoção média observada pelo período foram de 81,58% da concentração de fósforo total, diminuindo a taxa de carga difusa na água do ribeirão Capanema.

## **CONCLUSÃO**

O trabalho efetuado mostrou um desempenho adequado do sistema de tratamento de esgoto para a localidade. O sistema de lagoa facultativa em funcionamento desde final da década de 90 permite uma melhora para o recurso hídrico da região do município de Itirapuã.

Tal decaimento da carga de poluente promovida pelo sistema permite que o rio inicialmente classe 4 antes de entrar no sistema de tratamento tenha um perfil melhorado de sua qualidade hídrica e promoção na classificação de corpos d'água, conforme a norma 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Tais propostas são importantes de serem estudadas frente ao aumento da necessidade de água para a subsistência humana e progresso da indústria e agricultura nacional.

A preservação das águas é vital para manutenção da sobrevivência das formas de vida e garantia de preservação das futuras gerações.

## **BIBLIOGRAFIA**

MÉTODO OFICIAL 973.55 da AOAC para **Fósforo em Água**. Método Oficial para análises de fósforo da AOAC Internacional. 2000.

ALBANO, P. V. **Utilização de ácido tricloroisocianúrico (ATCI) na desinfecção de efluente sanitário de lagoa facultativa: avaliação da formação de trihalometanos (TAMs)**. Dissertação. UNICAMP. Campinas, SP, 2014.

ARAÚJO, L. P. F. **Reuso com lagoas de estabilização**: Potencialidade no Ceará. 1 ed. Fortaleza, Ceará: Superintendência estadual de meio ambiente, 2000

CAMPOS, J. A. **Desinfecção de efluente de lagoa facultativa com ácido tricloroisocianúrico: Avaliação da inativação de coliformes**. Dissertação. UNICAMP. Campinas, SP, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO Nº 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 17 de março de 2005.

CORAUCCI FILHO, B. et al. Cloração e descloração. In: GONÇALVES, R.F. **Desinfecção de efluentes sanitários**, Prosab - Edital 3. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Capítulo 4. p.113-168.

DIAS, D. L. **Demanda Bioquímica de Oxigênio**. *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/demanda-bioquimica-oxigenio.htm>>. Acesso em 13 de outubro de 2018.

MELO JÚNIOR, A. S. **Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha sp.*** Dissertação de Mestrado. UNICAMP. 2003.

MONTEIRO, A. J. **Eutrofização**. Instituto Superior Técnico. 2004.

PERÍGOLO, R. A. **Avaliação do Emprego de Lagoas de Estabilização em Escala Piloto para Pesquisa de Tratamento de Esgoto Doméstico**. Dissertação. UNB. [Distrito Federal] 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITIRAPUÃ. **Plano de saneamento municipal: água e esgoto**. Itirapuã, 2011.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, 2 edição, EESC – USP, 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996. v. 1, 243 p.

YÁNEZ C. F. **Lagunas de Estabilización**. Cuenca, Ecuador: Monsalve, 1993.