

MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

ARISTON SILVA MELO JÚNIOR ¹, GABRIEL REGINALDO SANTOS, GUSTAVO SANTOS SILVA, ROBSON CAMILO COSTA MELO, THALIS ALMEIDA JESUS

RESUMO

O século XX trouxe como ponto de desafio a engenheiros civis, sanitaristas e ambientais a preservação dos corpos d'água limpos. A escassez de água torna vital a preservação e manutenção das fontes potáveis. Como ponto importante, desde o professor Saturnino Brito aos dias atuais, tratamentos vêm sendo desenvolvidos de modo a garantir o recurso hídrico. O emprego de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) convencionais nem sempre são usuais e acessíveis a populações carentes. Dessa forma, os denominados Tratamentos Alternativos de Esgoto (TAE) apresentam-se como uma solução importante e necessária para estudos contínuos. Entre alguns dos mais importantes TAE, têm-se as denominadas lagoas de estabilização. Um sistema que utiliza a construção de reservatórios para estabilização do lodo. O projeto de pesquisa desenvolvido visou monitorar e avaliar o nível de eficiência da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em uma lagoa de estabilização. No projeto utilizou-se o período de julho a setembro de 2018 para analisar o grau de eficiência em relação à concentração de OD. Dessa forma, a partir da extração de amostras semanais dentro do período de estudo e utilizando a norma NTS 012 foi possível avaliar a concentração média de OD. O valor de concentração de oxigênio dissolvido médio foi de 8,78 mg.L⁻¹. Tal processo mostrou uma melhora na oxigenação do efluente. Um passo importante para o saneamento básico e o meio ambiente.

Palavras chaves: Meio ambiente, Saneamento, Sustentabilidade, Tratamento.

ABSTRACT

¹ Pós-Doutor em Materiais Cerâmicos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) da USP; Pesquisador colaborador da Universidade Estadual de Campinas e Professor do Departamento de Engenharia Civil do Complexo Educacional FMU. Contato: ariston.junior@fmu.br

The twentieth century brought as a challenge to civilian, sanitary and environmental engineers the preservation of clean bodies of water. Water scarcity makes preservation and maintenance of drinking fountains vital. As an important point, since Professor Saturnino Brito to the present day, treatments have been developed in order to guarantee the water resource. The use of conventional Sewage Treatment Stations (ETS) is not always usual and accessible to poor populations. Thus, the so-called Alternative Sewage Treatments (APR) are presented as an important and necessary solution for continuous studies. Among some of the most important SATs are the so-called stabilization ponds. A system that uses the construction of reservoirs to stabilize the sludge. The developed research project aimed to monitor and evaluate the efficiency level of the dissolved oxygen concentration (DO) in a stabilization pond. In the project the period from July to September of 2018 was used to analyze the degree of efficiency in relation to the DO concentration. Thus, from the extraction of weekly samples within the study period and using the standard NTS 012 it was possible to evaluate the mean OD concentration. The mean dissolved oxygen concentration was 8.78 mg.L^{-1} . This process showed an improvement in the oxygenation of the effluent. An important step for basic sanitation and the environment.

Keywords: Environment, Sanitation, Sustainability, Treatment.

INTRODUÇÃO

A limitação de reservas de água doce no planeta, o aumento da demanda de água para atender principalmente o consumo humano, agrícola e industrial, a prioridade de utilização dos recursos hídricos disponíveis para abastecimento público e as restrições que vêm sendo impostas em relação ao lançamento de efluentes no meio ambiente, torna necessária a adoção de estratégias que visem racionalizar a utilização dos recursos hídricos e reduzir os impactos negativos relativos à geração de efluentes pelas indústrias (ALBANO, 2014).

A avaliação das atividades em que a água é utilizada e onde ocorre a geração de efluentes é de grande importância, assim como a definição de parâmetros críticos de controle e dos respectivos limites de qualidade em cada

processo (SILVA, 2011).

Segundo Felizatto *et al.* (2013) a taxa de contaminação dos recursos hídricos é muito mais elevada na América Latina que em outras regiões do mundo.

Se analisarmos meticulosamente o potencial de degradação hídrica, ao fazer um cálculo *per capita*, nota-se que a América do Sul contamina quase 11 vezes mais a água doce que a Europa (FELIZATTO *et al.*, 2013).

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 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% (ONU, 2012).

O aumento das necessidades hídricas para assegurar processos de fabricação e na agricultura entre outras atividades faz com que a demanda de água acelera a deterioração de seus recursos hídricos. A não uniformidade e homogeneidade em relação às 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 (2012), 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 (ONU, 2012).

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, conforme relatório da ONU (2012).

O relatório da ONU (2012) 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. 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 (ALBANO, 2014).

As lagoas de estabilização têm sido a técnica de tratamento de esgotos domésticos mais utilizada nos países em desenvolvimento (YÁNEZ, 2000). Segundo Perígolo (2004), em Brasília, das 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.

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, pode atingir excelentes eficiências de remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos (CAMPOS, 2014).

As lagoas de estabilização têm sido largamente utilizadas, somente no Brasil elas estão presentes em 375 localidades (PERÍGOLO, 2004). Entretanto, o que se tem verificado é que a forma de dimensionamento e o entendimento do processo ainda têm muito a serem estudados.

O desafio do projeto de pesquisa foi avaliar o grau de concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) num sistema de lagoa de estabilização, constituída por: lagoa anaeróbica, lagoa de estabilização primária e lagoa de estabilização secundária. O projeto contou com o monitoramento de um sistema operacional no município de Itirapuã, estado de São Paulo, Brasil (CAMPOS, 2014).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Gestão de recursos hídricos

As últimas décadas trouxeram a consciência de que a água, mesmo em regiões onde há grande disponibilidade hídrica, deve ser gerida como um recurso esgotável. A gestão hídrica deve ser uma preocupação de toda a sociedade e não apenas daqueles envolvidos diretamente nos setores responsáveis pelo abastecimento de água (PORTO, 1999).

Em 1990 a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que 1,23 bilhões de pessoas não tinham acesso à água em boas condições para beber. Em 2000, este número aumentou em mais 900 milhões de pessoas (CAMPOS, 2014). Somase a isto uma demanda *per capita* cada vez maior por água. Somente na Inglaterra e País de Gales o uso de água deve aumentar de 10% a 20% entre 1990 e 2021, desconsiderando o fator agravante do aquecimento global (ONU, 2012).

A população mundial cresce a uma taxa de aproximadamente 80 milhões de pessoas por ano, gerando uma demanda de água potável de 64 bilhões de metros cúbicos (ONU, 2012).

Como agravante, dos três bilhões de pessoas que serão acrescentadas à população mundial até 2050, 90% estarão em países em desenvolvimento, os quais têm sérios problemas com oferta de água potável (CAMPOS, 2014).

O Brasil apesar de deter 12% das fontes hídricas globais de água doce tem uma distribuição não uniforme dessas reservas dentro de seu território, sendo que 70% das reservas hídricas do país se encontram em regiões de baixa demográfica, como região Norte do país. Enquanto que de suas 5 regiões territoriais, a região Nordeste é a que apresenta a pior disponibilidade de água no país e sua população na zona sertaneja vive em condições muito precárias (ALBANO, 2014).

Conforme Silva (2011) salienta, a forma como a água é utilizada não depende apenas dos profissionais diretamente envolvidos em recursos hídricos, mas sim de toda a sociedade. Onde as decisões tomadas por políticos, empresas e a sociedade como um todo afetam o uso da água. Gestores de recursos hídricos decidem o uso que é dado à água, atendendo às demandas. Porém, muitas vezes a atuação destes profissionais não atinge os objetivos requeridos, devido à escassez

dos recursos hídricos, financeiros ou humanos. Isso faz com que seja necessária uma abordagem multidisciplinar para o abastecimento hídrico (CAMPOS, 2014).

A crescente demanda por recursos hídricos e a degradação dos mananciais que constituem a principal oferta destes recursos, tomam a água um fator limitante para o desenvolvimento agrícola, urbano e industrial. Por isso, práticas de conservação, reuso hídrico e redução de perdas são essenciais para a gestão dos recursos hídricos e redução da poluição. Além é claro de novas tecnologias para tratamento das águas poluídas (ALBANO, 2014).

Tais tecnologias inovadoras são denominadas de Sistemas Alternativos de Tratamento de Esgoto (SATE) e tem sido amplamente divulgadas, estudadas e muitas aplicadas em municípios brasileiros. Contudo, são necessários contínuos estudos de suas aplicabilidades nos centros de pesquisas no país. Entre os SATE mais estudados tem-se, por exemplo: lagoas de estabilização (foco dessa pesquisa), wetlands, filtros lentos, valas de infiltração, tanques sépticos modificados e reatores anaeróbicos e aeróbicos (PIVELI, 2010).

Tratamento de Efluentes

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 (PIVELI, 2010).

Na 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.

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 (CAMPOS, 2014). 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. 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. 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, 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 (CAMPOS, 2014).

Lagoas de Estabilização (LE)

A aplicação de lagoas de estabilização 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 estabilizado 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 (VON SPERLING, 1996).

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).

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 de estabilização apresentam cor esverdeada.

Autores como Perígolo (2004), afirmam que na zona aeróbia, microorganismos utilizam o oxigênio produzido pelas algas através da fotossíntese, e as algas por sua vez utilizam o CO_2 , resultante da respiração desses microorganismos, para realizarem fotossíntese. Isso caracteriza um processo de simbiose entre as algas e as bactérias.

As algas também utilizam outros produtos resultantes do metabolismo dos microorganismos, como o amônio (NH_4^+) e o fosfato (PO_4^{3-}) para realização da fotossíntese. Há também uma troca gasosa entre o oxigênio (O_2) e o gás carbônico (CO_2) presente na lagoa com os gases presentes na atmosfera (CAMPOS, 2014).

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 estabilizados, por se adaptarem tanto à presença quanto ausência de oxigênio.

Segundo Von Sperling (1996) para a degradação da matéria orgânica, esses organismos utilizam o oxigênio ou nitratos (NO_3^-) (quando em condições anaeróbias) como aceptores de elétrons.

Os 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 (SO_4^{2-}) e 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.

O material que forma o lodo de fundo, degradado anaerobicamente, converte-se lentamente em gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S), água (H_2O), gás metano (CH_4) e outros. O processo de conversão gasosa pela ação microbiana no lodo faz com que reste no fundo apenas o material inerte mineralizado (não biodegradável). 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 H_2S 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 (VON SPERLING, 1996).

Assim, com base em conclusões de Von Sperling (1996), a lagoa de estabilização 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 estabilizados 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 de estabilização pode ser visualizado na Figura 1, a seguir.

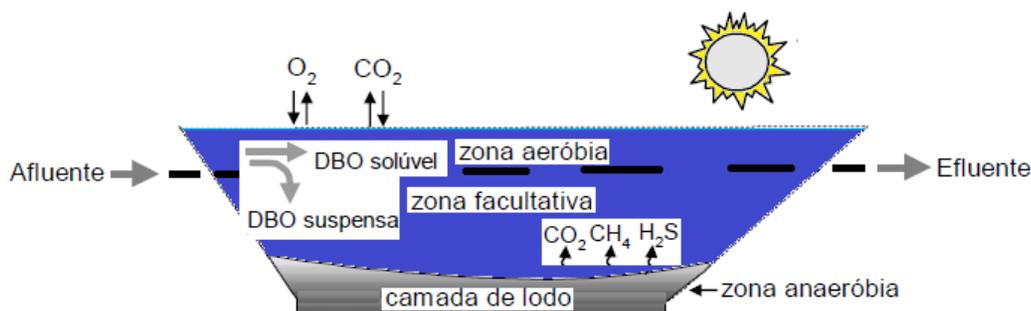


Figura 1 - Esquema simplificado de uma lagoa de estabilização (VON SPERLING, 1996)

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

Os fatores externos e sua influência no tratamento que devem ser estudados e analisados antes de sua implantação são: radiação solar, temperatura local e vento. Os fatores internos interferentes no processo de tratamento de esgotos domésticos por lagoas de estabilização 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). 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 (PERÍGOLO, 2004).

Concentração de Oxigênio Dissolvido (OD)

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgotos. Nas águas naturais, o oxigênio é indispensável também para outros seres vivos, especialmente os peixes, onde a maioria das espécies não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$. É, portanto, um parâmetro de extrema relevância na legislação de classificação das águas naturais, bem como na composição de índices de qualidade de águas (IQAs). No IQA utilizado no Estado de São Paulo pela CETESB, a concentração de oxigênio dissolvido é um parâmetro que recebe uma das maiores ponderações (PIVELI, 2010).

Segundo Piveli (2010) a concentração de oxigênio dissolvido é também o parâmetro fundamental nos modelos de autodepuração natural das águas. Nestes modelos, são balanceadas as entradas e saídas de oxigênio em função do tempo nas massas líquidas, de modo a prever-se sua concentração em seus diversos pontos, o que pode ser utilizado, por exemplo, para se estimar as eficiências necessárias na remoção de constituintes orgânicos biodegradáveis pelas estações de tratamento de esgotos a serem construídas. PIVELI (2010) afirma ainda que a determinação da concentração de oxigênio dissolvido em águas é também imprescindível para o desenvolvimento da análise da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que representa o potencial de matéria orgânica biodegradável nas águas naturais ou em esgotos sanitários e muitos efluentes industriais. Em última instância, este teste bioquímico empírico se baseia na diferença de concentrações de oxigênio dissolvido em amostras integrais ou diluídas, durante um período de incubação de 5 dias a 20°C . O que se “mede” de fato nesta análise é a concentração de oxigênio dissolvido antes e depois do período de incubação.

Determinação de OD

A metodologia de determinação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em corpos d'água pode ser realizada pelo método eletrométrico e/ou o método químico.

Segundo Piveli (2010) no método eletrométrico, empregam-se aparelhos chamados de oxímetros ou medidores de OD, em que a sonda do eletrodo possui uma membrana que adsorve seletivamente o oxigênio, tendo por base o seu raio de difusão molecular. Estes aparelhos precisam ser calibrados antes do uso, empregando-se solução de sulfito de sódio (Na_2SO_3) para a calibração do OD zero e água aerada e refrigerada para a calibração do valor de saturação. Piveli (2010) aponta que apesar da simplicidade funcional do método, uma vez que basta calibrar o aparelho e executar a medição direta, ocorrem frequentemente problemas de descalibração ou de perfuração ou desativação da membrana, o que leva a resultados não confiáveis, especialmente em situações de campo. Portanto, deve-se tomar cuidado em seu uso, devendo-se frequentemente compararem-se os resultados obtidos com os obtidos pelo método químico, como forma de garantir a confiabilidade das análises. Já no método químico, também denominado de Winkler (iodometria), consiste na utilização de sulfato manganoso (MnSO_4) em meio alcalino (PIVELI, 2010).

O manganês (Mn) presente na solução em meio alcalino quando presente a OD precipita formando uma coloração marrom. Caso o precipitado tenha coloração branca, indica ausência de oxigênio dissolvido. Após a fixação do oxigênio, caso exista OD na solução de amostra, ocorrerá posteriormente à adição de iodeto de potássio (KI) a ácido sulfúrico (H_2SO_4), para liberação de iodo elementar, que será titulado por uma solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (PIVELI, 2010).

METODOLOGIA

Estudo de Caso

Para o experimento foi utilizado um sistema já implantado de lagoa de estabilização no município paulista de Itirapuã pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e administrado pela prefeitura de

Itirapuã. O sistema implantado desde a década de 90 tem grande importância por tratar as águas do ribeirão Capanema. A população do município estimada é de 6.322 habitantes (CAMPOS 2014 *apud* IBGE 2013) e o número de ligações de água totalizam 1754.

O ribeirão Capanema tem classificação 4 em relação as categorias de tipos de rios, segundo a norma 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

O monitoramento e retirada de amostras ocorreu do dia 02 de julho a 03 de setembro de 2018, com monitoramento semanal, o que resultou em 10 testes com análise de 20 amostras de afluente (entrada) e efluente (saída).

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

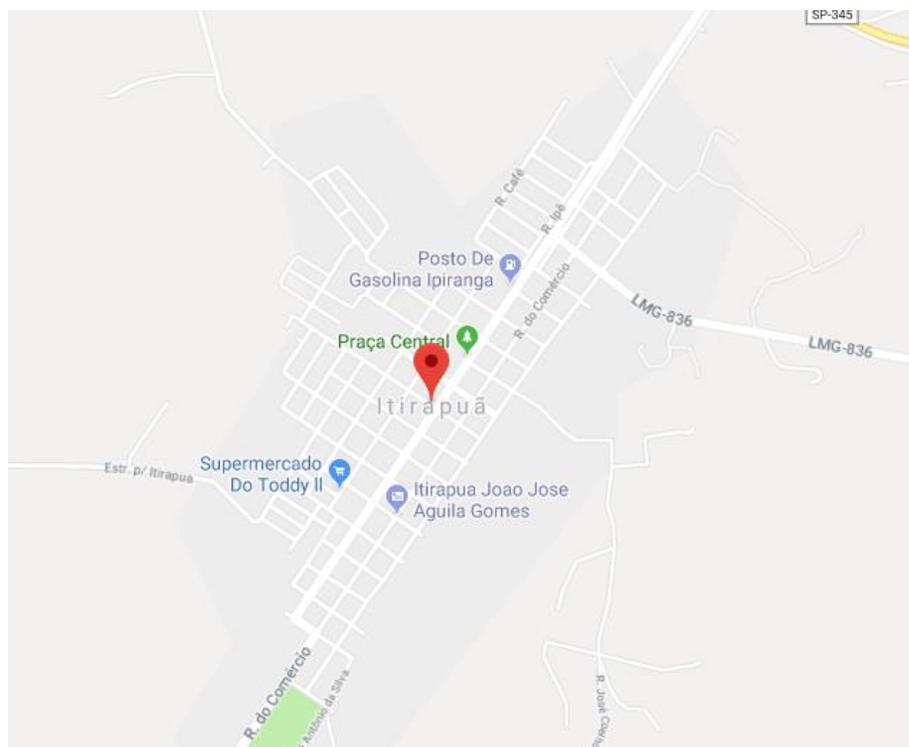


Figura 2 – Município de Itirapuã. Fonte: Google maps.

O sistema de tratamento tem capacidade operacional para vazões de 13,3 L.s⁻¹, contudo utiliza atualmente apenas 9,8 L.s⁻¹, ou seja, com 73,68% da capacidade máxima instalada. Sendo composto por três câmaras que formam o sistema de lagoa de estabilização (ALBANO 2014).

Na figura 3 pode-se visualizar uma planta baixa do complexo instalado de lagoa de estabilização.

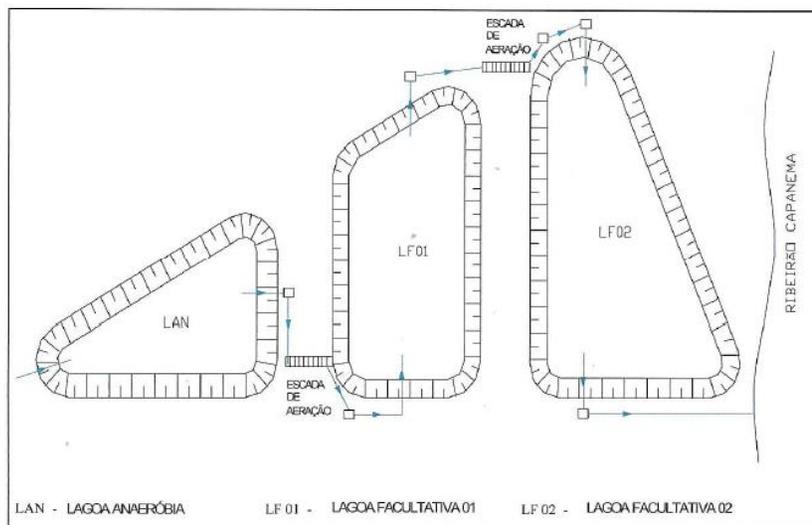


Figura 3 – Planta baixa do sistema de Lagoa de estabilização (ALBANO, 2014)

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 de eliminação de bactérias aeróbicas e em seguida duas lagoas de estabilização denominadas – primária e secundária.

O tempo de detenção hidráulico (θ_h) do conjunto opera com de 12,5 dias.

Sistema LE implantado

As características do complexo do sistema de lagoa de estabilização (LE) são observadas a partir da tabela 1, fornecida pela prefeitura de Itirapuã.

Tabela 1 – Características gerais do sistema de Lagoa de estabilização (Sabesp, 2011).

	Lagoa Anaeróbica	Lagoa de estabilização primária	Lagoa de estabilização secundária
Área superficial (A)	3.000 m ²	2.560 m ²	3.160 m ²
Volume efetivo (V)	5.580 m ³	3.830 m ³	4.960 m ³
Profundidade (h)	2,80 m	1,80 m	1,80 m
Tempo de detenção hidráulico (θ_h)	4,9 d	3,3 d	4,3 d
Vazão de projeto (Q_p)	13,3 L.s ⁻¹	13,3 L.s ⁻¹	13,3 L.s ⁻¹
Vazão demanda (Q_d)	9,8 L.s ⁻¹	9,8 L.s ⁻¹	9,8 L.s ⁻¹

Após o esgoto passar pela segunda lagoa de estabilização o processo de despoluição prossegue a partir de um tanque de aeração, denominado tanque de contato de perfil quadrado e volume 28,73 m³. O tanque de contato é compartimentado e em seu interior ocorre a divisão por chicanas horizontais, conforme figura 4.

**Figura 4** – Vista do tanque de contato (SABESP, 2011).

O tempo de detenção hidráulico (θ_h) do tanque de contato dimensionado como para as lagoas a partir do equacionamento de PORTO (1999), onde nesse caso o volume do tanque (V_{tc}) e a vazão de demanda (Q_d), permitiram avaliar seu θ_h , conforme equação 1, a seguir:

$$\theta_h = V_{tc} \cdot Q_d^{-1}$$

Equação 1 (PORTO, 1999)

O valor obtido pela equação 1 foi de 0,034 d, ou seja, um valor aproximadamente de 49 minutos, a partir da conversão do tempo pelo processo de análise dimensional.

Análise de OD pelo método eletrométrico

A pesquisa utilizou o método eletrométrico a partir da norma NTS 012 da SABESP. O método é muito usual para monitoramento contínuo em reservatórios e unidades de lodo ativado, podendo ser utilizado também em laboratório. Este método é especialmente recomendado em condições desfavoráveis ao uso do método iodométrico.

Princípio do método – NTS 012

O método NTS 012 (2011) desenvolvido pela SABESP permite um processo apurado e de acuidade das concentrações de OD.

No método, o medidor de oxigênio possui uma célula eletrolítica, com um cátodo de platina e um ânodo de prata. Ambos separados e imersos em um eletrólito, geralmente Sulfato de Sódio, e o conjunto isolado por membrana de polietileno ou PTFE, permeável a gases, especialmente o oxigênio molecular (NTS 012, 2011).

Para determinação do OD aplica-se uma diferença de potencial de polarização entre o ânodo e o cátodo. O oxigênio da amostra difunde-se através da membrana, reduzindo-se no cátodo e formando no ânodo o produto da oxidação. A corrente resultante é linear e proporcional à concentração de oxigênio. A unidade de concentração pode ser medida diretamente através de procedimento de calibração (NST 012, 2011).

O consumo do oxigênio pela célula resulta da extração do oxigênio da solução nas proximidades da membrana. O oxigênio é extraído por difusão, não permitindo a obtenção real da sensibilidade na leitura. Sendo assim, é necessário que se faça uma agitação na solução para que o oxigênio seja extraído tanto por difusão como por convecção, conseguindo-se com isso um acréscimo na taxa de sensibilidade (NTS 012, 2011). O método experimental utiliza:

- Analisador de oxigênio dissolvido e agitador;
- Frasco de DBO (300 mL) com tampa.

- Cloreto de Cobalto (CoCl_2);
- Eletrólito específico;
- Sulfito de Sódio (Na_2SO_3).

As amostras de água de superfície foram retiradas através de imersão cautelosa do frasco de DBO para evitar borbulhamento, isso é importante para não haver interferência oxidativa. O sistema de eletrodo coberto por membrana minimiza os problemas relacionados a depósitos de impurezas, que poderiam causar perda de sensibilidade devida impregnação, isto porque a membrana plástica permeável a oxigênio forma uma barreira contra estas impurezas (NST 012, 2011).

A presença de bolhas de ar dentro do frasco de amostra antes e durante a leitura, além de causar instabilidade na resposta, pode levar a resultados falsos (NST 012, 2011).

Resultados e Discussões

O sistema de lagoa de estabilização promoveu um aumento na concentração de oxigênio dissolvido (OD) ao longo do tempo. A figura 5 retrata o perfil de acompanhamento das concentrações de afluente (entrada) e de efluente (saída).

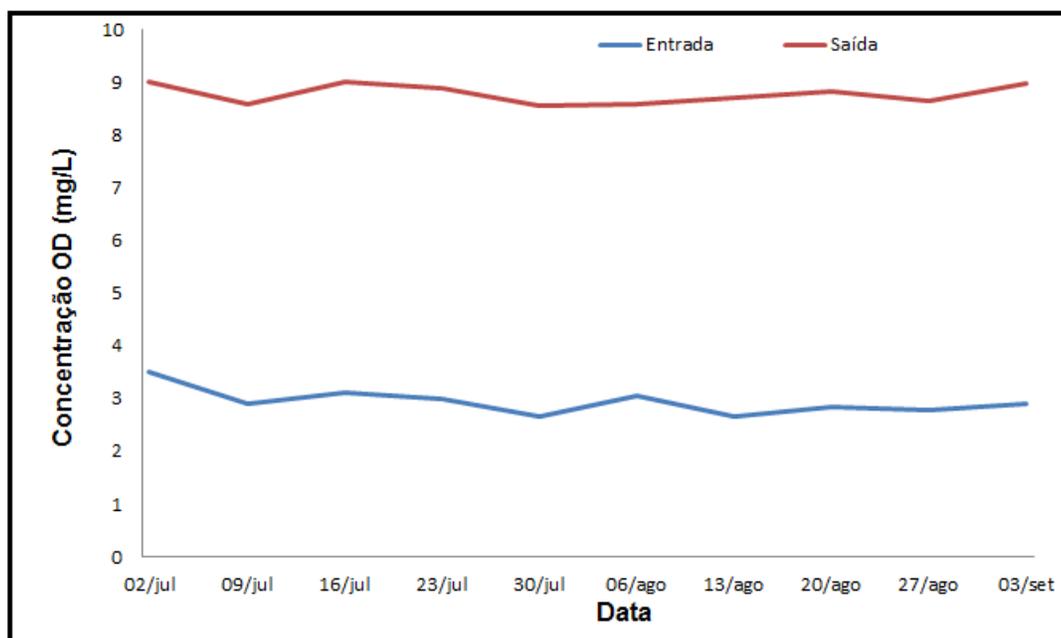


Figura 5 – Perfil da avaliação da concentração de OD.

Pode-se verificar pela figura 5 que houve um aumento na concentração de OD em relação à concentração de entrada recebida do ribeirão Capanema.

Os valores de saída da lagoa de estabilização secundária ficaram na faixa de 9 mg.L⁻¹, enquanto que os valores captados do ribeirão Capanema tinham uma concentração antes de entrar na lagoa anaeróbica por volta de 3,5 mg.L⁻¹.

Tal diferenciação entre os valores de entrada e saída para o parâmetro químico de OD mostraram um aumento percentual de 157,14% da concentração de oxigênio dissolvido (OD).

Isso mostra uma grande eficiência no processo de aeração, o que permite uma melhora considerável da quantidade de OD dissolvida nas águas que são descarregadas de volta ao ribeirão Capanema.

A tabela 2 apresenta os valores encontrados em relação a análise das amostras de entrada e saída obtidas pelo método eletrométrico.

Tabela 2 – Concentrações de Oxigênio Dissolvido (O.D.)

Data	Entrada (mg.L⁻¹)	Saída (mg.L⁻¹)
02/07/18	3,5	9
09/07/18	2,9	8,6
16/07/18	3,1	9,01
23/07/18	3	8,89
30/07/18	2,65	8,55
06/08/18	3,05	8,58
13/08/18	2,66	8,72
20/08/18	2,85	8,83
27/08/18	2,78	8,66
03/09/18	2,89	8,99
MÉDIA	2,94	8,78

Pelos dados determinados pela tabela 2 pode-se observar que a concentração média de OD das águas captadas foram de 2,94 mg.L⁻¹, enquanto

que após a água passar pelo sistema complexo de lagoa anaeróbica, lagoa primária e secundária os valores médios foram de 8,78 mg.L⁻¹.

Considerações Finais

O processo de tratamento por lagoas de estabilização revelou uma grande afinidade em relação à depuração das águas captadas.

O processo monitorado mostrou que houve um acréscimo considerável nas quantidades de oxigênio dissolvido (OD) nas águas do ribeirão Capanema.

O processo mostrou uma eficiência de 157,14% em relação à quantidade de OD captada do ribeirão Capanema.

Tal processo torna-se importante, uma vez que para a classificação de rios no Brasil, a concentração de OD torna-se importante parâmetro para as diferentes categorias de rios.

A classificação dos rios é dada pela norma 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, onde existem 4 categorias básicas de corpos d'água.

O aumento considerável de OD pelo sistema de lagoas de estabilização promove a uma melhora na classificação do ribeirão Capanema após o sistema de tratamento existente no município Itirapuã.

Referências Bibliográficas

ALBANO, P. V. **Utilização de ácido tricloroisocianúrico (ATCI) na desinfecção de efluente sanitário de lagoa de estabilização: avaliação da formação de trialometanos (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 de estabilização com ácido rícloroisocianúrico: 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.

FELIZATTO, M. R.; STARLING, F. L. R. M.; SOUZA, M. A. A. **Reuso de água em piscicultura: análise da possibilidade de aplicação de efluente de lagoas de estabilização em série**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2013.

NTS 012 – **OD: Análise de Oxigênio Dissolvido (OD) – Método Eletrométrico**. Norma Técnica Interna SABESP, 2001.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**, 2012.

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**, 2º edição, EESC – USP, 1999.

PIVELI, R. P. QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO: ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS. Apostila. Curso: **OXIGÊNIO DISSOLVIDO E MATÉRIA ORGÂNICA EM ÁGUAS**. 2010.

SILVA, D. J. P. **Programa de Conservação e Reuso de Água – PCRA**. Universidade Federal de Viçosa. Série Sistema de Gestão Ambiental. Viçosa, MG, 2011.

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.