

# AVALIAÇÃO DE COLIFORMES FECAIS EM WETLANDS

Ariston Silva Melo Júnior<sup>1</sup>

## RESUMO

A escassez de água no planeta faz com que seja cada vez mais necessária a conscientização da sociedade e a formulação de políticas públicas que permitam a conservação das fontes nobres de água potável para abastecimento público. O processo de reuso de águas pré-tratadas em atividades industriais, por exemplo, tornam-se uma ferramenta interessante para utilização. Tais sistemas de reuso podem ser obtidos a partir de tratamentos alternativos de esgoto doméstico. Um dos sistemas que vem sendo cada vez mais divulgados no meio acadêmico e científico são as wetlands. Sistemas de tratamento que utilizam meio suporte e plantas adaptadas para remoção dos compostos patogênicos presentes no esgoto. A pesquisa desenvolvida utilizou um sistema de wetlands em perfil quadrado e retangular instalada na UNICAMP. O estudo durou nove semanas e possibilitou que se avaliasse o desempenho na remoção de coliformes fecais. Para a wetlands de perfil quadrado o desempenho foi de 35,49%, enquanto que para o sistema de perfil retangular o valor percentual foi de 31,67%.

**Palavras Chaves:** Depuração, tratamento, sustentabilidade, taboa.

## ABSTRACT

The scarcity of water on the planet makes it increasingly necessary to raise awareness of society and to formulate public policies that allow the conservation of noble sources of drinking water for public supply. The process of reuse of pre-treated water industrial activities, for example, become an interesting tool for use. Such reuse systems can be obtained from alternative treatments of domestic sewage. One of the systems that are being increasingly disclosed in academic and scientific environments are wetlands. Treatment systems that use support medium and adapted plants to remove the pathogenic compounds present in the sewage. The research developed used a square and rectangular profile wetlands system installed in UNICAMP. The study lasted nine weeks and allowed the evaluation of fecal coliform removal performance. For the square profile wetlands the performance was 35.49%, while for the rectangular profile system the percentage value was 31.67%.

**Keys Words:** Debugging, treatment, sustainability, taboa.

---

<sup>1</sup> Pós-Doutor em Materiais Cerâmicos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) da USP. Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (2002) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2006) e Pós-Doutorado em Engenharia pela UNICAMP. E-mail: juniorariston@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

A proteção dos recursos hídricos é importante para preservação de toda forma de vida no planeta, uma vez que sem água não há como garantir as fontes de abastecimento e de matéria prima, como por exemplo a irrigação.

Apenas 10% dos efluentes domésticos gerados no país são submetidos a algum tipo de tratamento, sendo que um volume de aproximadamente 10 bilhões de litros é jogado diariamente nos rios e córregos (FERREIRA, 2009).

Para o IDEC (2004) a falta de água tratada e de saneamento básico leva cerca de 12 milhões de pessoas a óbito em todo mundo.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) relata que a falta de água potável e de saneamento em regiões brasileiras é causa de 80% das doenças ligadas à contaminação hídrica e a ocupação de 65% dos leitos hospitalares. Tais percentuais são responsáveis pelo gasto de US\$ 2,5 bilhões anuais.

Em estudos quanto ao benefício do desenvolvimento sanitário, tem-se em mente que para cada R\$ 1,00 investido no setor sanitário é possível gerar um economia de R\$ 5,00 em serviços de saúde (FERREIRA, 2009).

Como reflexo de análises como as apontadas anteriormente, a cada ano torna-se mais importante o incentivo e investimento de novas tecnologias para tratamento de esgoto. Entre os ramos levantados, têm-se os sistemas alternativos de tratamento de esgoto que são mecanismos e tecnologias que quando empregadas corretamente, podem gerar grandes benefícios ao meio ambiente (MELO JÚNIOR, 2003). Entre os sistemas alternativos encontra-se o denominado por wetlands.

O sistema de wetlands é um sistema simples, que, com o auxílio das macrófitas (também conhecidas pelo termo hidrófitas), promovem a depuração da água residuária, com mínima geração de biossólidos. Além disso, elimina boa parte dos compostos orgânicos e inorgânicos, com possibilidade da utilização das macrófitas como matéria-prima para uma atividade econômica, e o uso do seu efluente final na agricultura como, por exemplo, para a irrigação, hidropônia entre outros, tornando de grande importância o estudo e o aprimoramento deste sistema para o emprego, não só em comunidades rurais, mas também em indústrias (MELO JÚNIOR, 2003).

Valentim (1999) comenta que os wetlands representam uma tecnologia emergente, de baixo custo e eficiente, sendo susceptível de se revelar como uma boa alternativa de auxílio aos sistemas convencionais no tratamento de águas residuárias.

Entre os benefícios também se pode mencionar o aumento da área de lazer e espaço social, projeto paisagístico, simples conservação, inutilização de produtos químicos e a ausência ou baixo consumo de energia elétrica.

O presente estudo científico teve como objetivo monitorar o desempenho da remoção de coliformes fecais em um sistema piloto de wetlands desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) na UNICAMP.

## 2. RECURSOS HÍDRICOS

De acordo com Melo Júnior (2003), as últimas décadas trouxeram a consciência de que a água, mesmo em regiões onde há grande disponibilidade hídrica, deve ser gerida como um recurso perene (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).

Segundo Campos (2014), 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. Soma-se a isto uma demanda *per capita* cada vez maior por água.

Na Inglaterra e País de Gales o uso de água deve aumentar de 10% até 20% na demanda entre os anos de 1990 e 2021.

Em um relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), 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. Tendo ainda como agravante, a previsão de aumento em mais 3 bilhões de pessoas da população mundial, até 2050, sendo que 90% desse valor estarão em países em desenvolvimento, os quais têm sérios problemas com demanda de água potável para sua população (CAMPOS, 2014).

Albano (2014) salienta que embora o Brasil detenha cerca de 12% das reservas hídricas globais de água doce tem uma distribuição não uniforme dessas reservas dentro de seu próprio território, sendo que 70% das reservas de fonte potável encontram-se em regiões de baixa densidade demográfica, como por exemplo, a região Norte do país.

Para Silva (2011), 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.

Campos (2014) argumenta que os 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.

A crescente demanda por recursos hídricos e a degradação dos mananciais que constituem a principal oferta destes recursos, tornam 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 têm sido amplamente divulgadas, estudadas e muitas aplicadas em municípios brasileiros. Contudo, são necessários contínuos estudos de suas aplicabilidades nos centros de pesquisas no país (PIVELI, 2010).

## 2.1. Wetlands

Conforme Salati (2003), *wetlands* é um termo inglês, que em português significa "Terras Molhadas Construídas", e é constituído por ecossistemas naturais que ficam parcial ou completamente inundados.

São projetados para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, cascalhos ou outro material inerte, onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos os quais, por meio de

processos biológicos, químicos e físicos, tratam águas residuárias (SOUSA *et al.*, 2004).

Ferreira e Paulo (2009) entendem que a técnica de wetlands é a alternativa ecológica mais comum para tratamento de água cinza em nível domiciliar ou pequenas comunidades, podendo ser adaptada para o tratamento de águas urbanas, pluviais ou industriais. Esta capacidade de despoluição de efluentes tão diferentes, se torna possível pela variação de espécies de plantas utilizadas. Podem ser tratadas matérias orgânicas, óleos, hidrocarbonetos e metais pesados encontrados na água.

O tratamento de águas poluídas realizado pelo sistema de wetlands tem uma eficiência superior a de áreas alagadas naturais. Eficiência que implica na diminuição de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), máximo controle sobre o sistema hidráulico e da vegetação da área alagada.

As águas tratadas são usadas para diversos fins, como por exemplo, para a irrigação de plantações, ou até mesmo para o reuso (PHYTORESTORE, 2012).

Salati (2003) menciona que, em 1984, Eneas Salati realizou o primeiro projeto de wetlands do Brasil. Foi construído um lago artificial nas proximidades de um córrego altamente poluído, na escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (USP).

### 3. EXECUÇÃO DE WETLANDS

Filho e Salati (2009) comentam que a definição do tipo de projeto a ser implantado de wetlands será realizada após análise das características do efluente, da eficiência final desejada no tratamento, do interesse da utilização do lodo produzido e do interesse paisagístico.

Albizzati *et al.* (2012), citam que as plantas (macrófitas) utilizadas na wetlands podem ser selecionadas da região em que será implantado o novo sistema. E por empregar-se a flora da região, evitam-se problemas com a introdução de novas espécies em um ecossistema diferente.

Com a ausência da utilização de produtos químicos, os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica se alimentam dos componentes trazidos pelos efluentes e das moléculas originadas das plantas (PHYTORESTORE, 2012).

Melo Júnior (2003) relata que a seleção das plantas também é feita após análise química do efluente, considerações com relação à tolerância a variações de temperatura, consumo de oxigênio, taxa de despoluição requerida ao fim do ciclo e análise do volume a ser tratado.

Para o tratamento de efluentes através da técnica de wetlands, a ação dos componentes como filtros verticais e horizontais são imprescindíveis (PHYTORESTORE, 2012).

#### 4. INFLUÊNCIA DAS MACRÓFITAS FLUTUANTES EM WETLANDS

Na elaboração de wetlands é importante a introdução da macrófita para a depuração das águas residuárias.

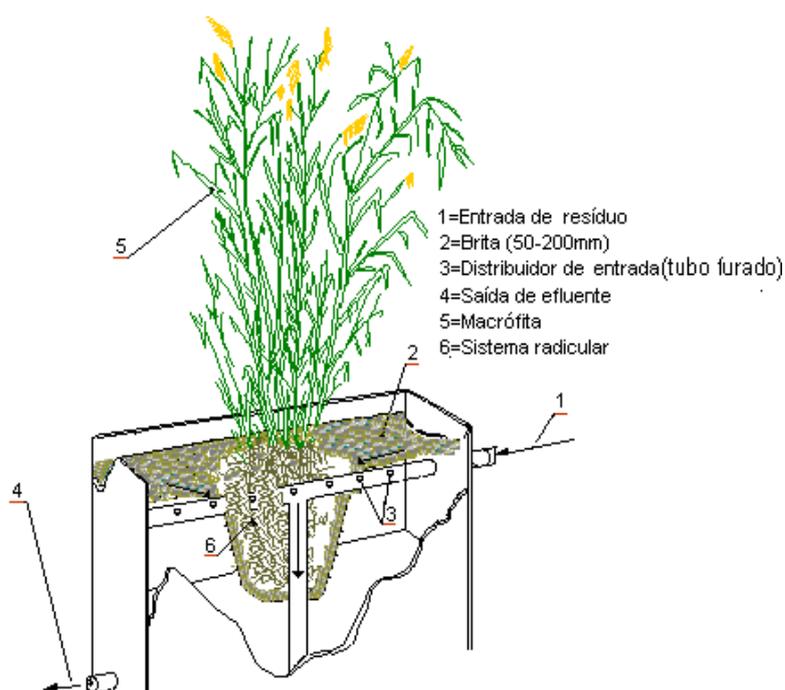
Para tanto são utilizadas plantas flutuantes em projetos onde se têm canais rasos, em que se pode empregar uma ou mais espécies de plantas.

Segundo Salati (2003) a planta mais estudada é a *Eichornia Crassipes* da família das Pontederiaceas. No Brasil, popularmente essas plantas são chamadas de aguapé, baroneza, mururé, pavoá, rainha do lago e uapê (FILHO e SALATI, 2009).

Filho e Salati (2009), relatam que a utilização de *Eichornia Crassipes* é devida a sua capacidade de resistir a águas altamente poluídas com grandes variações de nutrientes, pH, substâncias tóxicas, metais pesados e variações de temperatura.

A depuração da água do efluente através das plantas flutuantes é devido à absorção de nutrientes e metais, ação de microrganismo associados à rizosfera e pelo transporte de oxigênio para a rizosfera (FILHO e SALATI, 2009).

Melo Júnior (2003) apresenta a figura 1, a seguir, na qual se observa uma visão geral do processo de tratamento com uso da macrófita para uma wetlands individualizada.



**Figura 1**– Corte seccional em sistema de wetlands e sua trajetória no tratamento residuário do efluente limpo (MELO JÚNIOR, 2003).

Segundo Salati (2003), este sistema é utilizado para diversas finalidades, entre elas:

- I. Sistema de tratamento terciário com a finalidade de remover nutrientes, nos quais só o fósforo e o nitrogênio são incorporados às plantas.
- II. Sistema integrando o tratamento secundário e terciário, com o intuito de remoção dos nutrientes e redução da DBO e DQO.

## 5. CRITÉRIOS DE PROJETO

Segundo Melo Júnior (2003) os critérios de projeto recomendados e normalmente utilizados em wetlands são os seguintes:

- Carga orgânica: de 50 a 300 Kg (quilogramas) de DBO  $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  (o que corresponde a uma faixa entre 5 a 30 g (gramas) de DBO  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), em função do tipo de água residuária a tratar e dos objetivos de tratamento;
- Tempo de residência: > 40 dias, para tratamento secundário (TS); 6 dias para tratamento secundário avançado (TSA); 6 dias para afinação terciária;

- Carga hidráulica:  $> 2 \text{ cm d}^{-1}$  para tratamento secundário (TS);  $8 \text{ cm d}^{-1}$  para tratamento secundário (TS); e Tratamento Secundário Avançado (TSA), em simultâneo;

Os autores Reed *et al.* (1988), Watson *et al.* (1989), Kadlec e Knight (1996) e Cooper *et al.* (1990) detalham que os critérios de dimensionamento recomendados e normalmente utilizados em wetlands de macrófitas aquáticas emergentes e com fluxo subsuperficial horizontal são comuns na bibliografia especializada.

Têm-se em seguida uma súmula dos principais critérios de dimensionamento destes wetlands (REED *et al.*, 1988; WATSON *et al.*, 1989; KADLEC e KNIGHT, 1996 e COOPER *et al.*, 1990):

- Pré-tratamentos à montante do leito: tratamentos preliminares (gradagem, desarenação, entre outros) e, necessariamente, tratamento primário (sedimentação primária);
- Carga orgânica:  $< 150 \text{ Kg de DBO ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (normalmente  $< 80 \text{ Kg de DBO ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ );
- Carga hidráulica: para tratamento secundário (TS):  $< 5 \text{ cm d}^{-1}$ ; para tratamento terciário (TT):  $< 20 \text{ cm d}^{-1}$ ;
- Área específica: para tratamento secundário (TS):  $2,0 \text{ a } 5,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ ; para tratamento terciário (TT):  $0,7 - 1 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ ;
- Tempo de residência:  $\pm 5$  dias;
- Relação Comprimento: largura de 3:1;
- Solo / substrato: baseados em solo, em areões;
- Profundidade do substrato: Entre  $0,6 \text{ a } 0,8 \text{ m}$  (em média);
- Condutividade do substrato: Entre  $1.10^{-3} \text{ a } 3.10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ ;
- Porosidade do substrato: Entre  $0,3 \text{ a } 0,45$ ;
- Declive do fundo: Entre  $1 \text{ a } 2\%$ ;
- Impermeabilização: Poliiolefinas e Bentonite.
- Vegetação mais frequente: especialmente *Scirpus* spp. e *Typha* spp. (EUA); *Phragmites australis* (Europa).

## 6. ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA EM WETLANDS

Tanto a parte estrutural quanto funcional dos wetlands é dominada por uma grande variedade de microrganismos, tais como: fungos e bactérias, além da planta típica (macrófita) responsável por parte da redução de matéria orgânica.

Segundo Kadlec e Knight (1996) a grande diversidade de nichos físico-químicos existentes nos alagados é diretamente responsável pela biodiversidade presente no sistema de wetlands. Os microrganismos, através de sua diversidade genética e adaptabilidade funcional, são capazes de absorver os constituintes poluidores das águas hostis ao uso humano, para promover seu crescimento e reprodução. Com isto, acompanha-se a modificação da qualidade da água, por meio das modificações químicas, físicas e biológicas.

Dentre as bactérias mais importantes na modificação da qualidade d'água em wetlands sobressaem as fototróficas, encapsuladas, de brotamento, quimiotróficas gram-negativas, gram-negativas aeróbias, gram-negativas anaeróbias, gram-negativas facultativas anaeróbias, gram-positivas, produtoras de metano, formadoras de endósporos, actinomicetose e organismos correlatos (KADLEC e KNIGHT, 1996).

A maioria das bactérias é heterotrófica, isto é, obtém alimento e energia para seu desenvolvimento em compostos orgânicos; algumas bactérias são autotróficas, isto é, sintetizam moléculas orgânicas a partir de carbono. A maioria das bactérias está associada com as superfícies submersas das plantas, a matéria orgânica em decomposição e o meio suporte. Existe uma relação simbiótica entre as plantas aquáticas e as bactérias vivendo nas raízes e outras partes submersas (MELO JÚNIOR, 2003).

Kadlec e Knight (1996) comentam que os fungos representam os organismos do reino eucarionte (não possuem carioteca) e são abundantes nos ambientes alagados. Todos os fungos são heterotróficos e sua nutrição é predominantemente saprófita, ou seja, baseada no consumo e consequente degradação da matéria orgânica em decomposição. Eles são ecologicamente importantes nos alagados, pois participam de uma significativa proporção da reciclagem de carbono e outros nutrientes.

Os fungos vivem de forma simbiótica com espécies de algas (liquens) e plantas mais evoluídas, aumentando a eficiência e rendimento do hospedeiro na absorção de nutrientes da água, ar e meio suporte. Nos wetlands, os fungos são

normalmente encontrados em associação com restos de plantas em estágio de decomposição (MELO JÚNIOR, 2003).

## 7. PROCESSO DE ASSIMILAÇÃO DE POLUENTES EM WETLANDS

Nos sistemas biológicos, os principais responsáveis pela remoção da matéria orgânica das águas residuárias são os microrganismos (aeróbios, facultativos e anaeróbios) que a utilizam no seu ciclo vital, obtendo dela a energia necessária para sua síntese celular, sua locomoção, no seu transporte de materiais e outras funções.

A matéria orgânica é representada em sua composição por 40% de proteínas, 50% carboidratos e 10% de gorduras e óleos, além da uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros, sendo que a porcentagem varia de acordo com a origem do dejetos. Parte é encontrada em solução, os sólidos orgânicos dissolvidos (rapidamente biodegradáveis), e parte em suspensão, relativa aos sólidos suspensos no meio líquido (MELO JÚNIOR, 2003).

Cooper *et al.* (1990) afirmam que os sólidos orgânicos dissolvidos são utilizados diretamente pelas bactérias heterotróficas principais responsáveis pela redução da DBO<sub>5 20</sub> nos sistemas de wetlands.

Enquanto os sólidos em suspensão são convertidos em solúveis pelo mecanismo da hidrólise, que é realizada pela atuação de enzimas extracelulares produzidas pelas bactérias e que servem de catalisadores nas reações de oxidação (METCALF e EDDY, 1991).

Os processos de degradação da matéria orgânica nas águas são governados por vários receptores de elétrons disponíveis no meio, sendo que o sistema utiliza aquele que produz a mais alta quantidade de energia. Por essa razão, o oxigênio dissolvido é utilizado primeiramente, fazendo com que o sistema deixe de ser aeróbio. Caso haja nitratos disponíveis no meio líquido, os organismos aparelhados para utilizá-los na respiração passam a fazê-lo convertendo o nitrato a nitrogênio gasoso (desnitrificação), condição anóxica (ausência de O<sub>2</sub> dissolvido e presença de nitratos). Quando se extingue têm-se as condições anaeróbias estritas, sendo utilizados os sulfatos, que são reduzidos a sulfetos, e o CO<sub>2</sub> que é convertido a metano (METCALF e EDDY, 1991).

## 7.1. Relação dos coliformes fecais em esgoto

Para os autores Bitton (2005) e Cabral (2010) os coliformes fecais são bactérias exclusivas de origem fecal, entre elas: *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Proteus*.

Os coliformes fecais são bactérias Gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase negativas, que podem fermentar a lactose em 44,5°C e formam colônias quando expostas ao meio de Ágar que é um meio gelatinoso utilizado para formar grânulos de colônias bacterianas (BITTON, 2005; CABRAL, 2010).

Segundo Buma (2017) dentre os microrganismos pertencentes à família *Enterobacteriaceae*, *E. coli* é o indicador mais confiável na identificação da contaminação de origem fecal humano e animal porque é o único do grupo coliforme que é exclusivamente de origem fecal.

Diferente das espécies pertencentes aos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citobacter* que não são de origem exclusivamente fecal. No entanto, podem ser facilmente isolados no solo, em águas ambientais ricas em nutrientes, nas plantas, em matéria orgânica em decomposição e outras matrizes ambientais. Deste modo, a presença de coliformes termotolerantes em águas ambientais não significa categoricamente que tenha sido proveniente de origem fecal (BUMA, 2017).

A *E. coli* é caracterizada pelas técnicas laboratoriais por apresentar uma expressão da enzima  $\beta$ -glucuronidase quando exposta em meios de substratos específicos, produz indol a partir do aminoácido triptofano, sendo a única espécie do grupo coliforme termotolerante cujo habitat exclusivo e primário é o intestino de mamíferos e aves (CERQUEIRA *et al.*, 1999; CABRAL, 2010; COSTA *et al.*, 2011).

Dessa forma, segundo Buma (2017), a *E.coli* termotolerante é a enterobactéria utilizada mundialmente como indicador mais preciso de contaminação fecal em águas residuárias e, portanto, está presente nas normas de análise de qualidade de água.

## 8. METODOLOGIA

## 8.1. Experimental

O projeto utilizou um sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico constituído por *wetlands*, desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

O esgoto doméstico de alimentação do sistema de tratamento vem da própria FEAGRI.

Para o processo de escoamento de esgoto o mesmo utilizou declividade de 1% para ação da gravidade. Com isso, não necessitando bombeamento do resíduo para o *wetlands*.

Na figura 2 observa-se a caixa de coleta de esgoto do local.



**Figura 2** – Caixa de passagem de esgoto.

Foram utilizadas nove semanas de monitoramento e coleta de amostras, intercalando o período de 2 de janeiro de 2019 até 2 de março de 2019.

As amostras coletadas foram posteriormente analisadas quanto à presença e concentração de coliformes fecais existentes no esgoto doméstico.

As coletas foram realizadas às 14 horas pelo fato de Melo Júnior (2003) afirmar em seus estudos anteriores que tal horário propicia o melhor desempenho nos parâmetros de potabilidade devido ao efeito ecofisiológico da macrófita em relação ao leito cultivado.

Para o estudo foram retiradas amostras de entrada (afluente) e de saída (efluente) após o tratamento em duas *wetlands* que compõem o sistema de

dimensão superficial retangular, 4x1 (m), e quadrada 2x2 (m). Perfazendo uma área superficial de 4 m<sup>2</sup>, cada uma delas.

O resíduo coletado foi armazenado em garrafas PET, PoliEtileno Tereftalato, na temperatura de -5°C.

O método de análise utilizado foi o colilert® (COLILERT, 2000).

## 8.2. Tanque séptico à montante

O tratamento de esgoto inicia-se com a estabilização do lodo residual num tanque séptico modificado que funciona como um mini-reator anaeróbico para o tratamento primário.

Tal sistema foi construído de forma simplificada pela adoção de três caixas de água comum de volumes: 500 ml, 500 ml e 1.000 ml, respectivamente. Pode-se observar o tanque séptico modificado na figura 3.



**Figura 3** – Tanque séptico para distribuição da água residuária (esgoto).

## 8.3. Caixa de distribuição de esgoto

Após a estabilização do esgoto no sistema de tanque séptico modificado, as águas residuárias escoam até um sistema rudimentar, mas eficiente, de distribuição de esgoto no sistema de wetlands.

A figura 4 apresenta uma visão da caixa de distribuição e um panorama do sistema de wetlands instalado.



**Figura 4** – Vista da caixa de distribuição em 4a e vista dos wetlands em 4b.

O sistema de wetlands é formado por seis mini-reservatórios na superfície com perfis superficiais de dimensão retangular e quadrada. Cujas plantas baixas são de 4x1 m para os retangulares e 2x2 m para os quadrados (figura 4b).

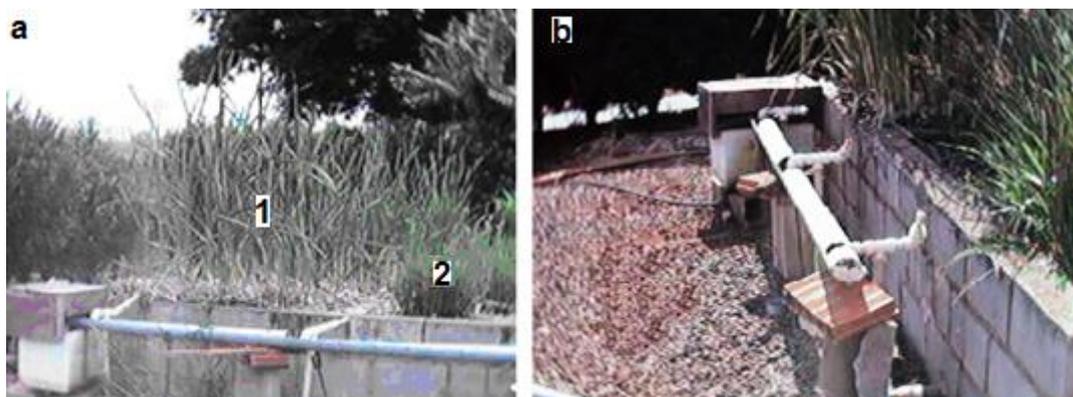
Foram utilizados no sistema de wetlands duas culturas de macrófitas distintas, sendo elas: *Eleocharis* e *Typha sp.*

Contudo, devido ao maior potencial de evapotranspiração da *Typha sp.*, e sua atividade ecofisiológica, optou-se por estudar apenas essa macrófita.

Sendo assim, durante as nove semanas de estudo se coletaram amostras afluentes (entrada) e efluentes (saída) dos wetlands retangular e quadrado com *Typha sp.* (figura 5a), totalizando 27 amostras residuais em garrafa PET.

Em cada leito existe um dreno com tubo de PVC de 2", com furos de 10 mm de diâmetro espaçados de 10 cm em 10 cm, localizados na parte superior e nas laterais do tubo, permitindo um acúmulo de líquido no interior dos wetlands e assim, impedindo uma drenagem total do esgoto.

O esgoto é captado ao final de cada wetland em uma calha de PVC (figura 5b) que se encarrega de enviar o esgoto para uma caixa de areia coletora.



**Figura 5** – Em 5a observa-se wetlands com Typha sp. (1) e com Eleocharis (2). Dreno do leito e detalhe da calha coletora em 5b.

Como critério adicional de projeto, deve-se salientar que a altura da lâmina d'água dentro de cada wetlands é regulada por um dispositivo com deslocamento angular de 180° em relação ao eixo y, de onde saem mangueiras de 1 polegada, que desviam o fluxo para o sistema de drenagem e deste para a rede coletora.

O sistema projetado tem um tempo de detenção hidráulico ( $\theta_h$ ) estimado em 1,5 dias para o sistema, pois o sistema possui uma vazão afluyente de escoamento de 2 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>.

O tempo de detenção hidráulico é determinado pela aplicação da equação 1, que leva em conta o volume compartimentado (V) da *wetlands* e a vazão (Q) de escoamento (PORTO, 1999).

$$\theta_h = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação 1 (PORTO, 1999)}$$

#### 8.4. Método - Cartela Colilert para detecção de coliformes fecais

O método Colilert consiste na quantificação dos coliformes totais e fecais presentes em uma dada amostra, através da mistura entre a amostra e o reagente Colilert patenteado, com posterior transferência da solução para uma cartela estéril (100 ml), a qual é selada e mantida incubada a  $35\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas (1<sup>o</sup> leitura) e 48 horas (2<sup>o</sup> leitura-confirmação).

Os resultados são obtidos pela relação de valores positivos entre os quadrados maiores e menores da cartela, com aqueles verificados na tabela padrão para o teste Colilert.

Para a aplicação do método foram utilizados:

- Seladora para cartelas Colilert;
- Autoclave vertical;
- Câmara escura equipada de radiação UV;
- Incubadora termo-regulável ( $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ );
- Balão de fundo chato (esterilizado\*); e
- Proveta 100 ml.

O tempo de utilização em autoclave foi de 15 minutos, onde os frascos foram totalmente vedados com tampões (preparados com gases), papel alumínio e papel kraft (camada dupla).

Durante o procedimento de análise de coliformes fecais pelo método Colilert foram utilizados 50 ml de amostra de água residuária que passaram pelas etapas abaixo:

- Transferiu-se o volume de amostra num balão volumétrico de 100 ml de fundo chato estéril para diluição pretendida, de modo que o volume final fosse de 100 ml;
- Em cada amostra, adicionou-se uma cartela do reagente Colilert e agitou-se até a dissolução completa;
- Transferiram-se os 100 ml finais para uma cartela Colilert estéril, colocando sobre o suporte da seladora e selando-se a mesma;
- Manteve-se a cartela em incubadora termo-regulável a  $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ ;

- Após 24h na incubadora, anotaram-se os valores positivos nos quadrados grandes (49 espaços) e pequenos (48 espaços). Os valores positivos foram aqueles nos quais uma coloração amarela forte se desenvolveu;
- O mesmo procedimento foi realizado observando-se as cartelas em uma câmara escura equipada de luz UV, de modo que, para este caso, os quadrados grandes e pequenos a serem anotados foram aqueles que desenvolveram uma luminescência azul característica (figura 6);
- Anotaram-se os valores registrados; e repetiu-se o procedimento após 48 horas para confirmação dos resultados;



**Figura 6** – Colônias características de *E. coli* em 4a e em 4b diferença de poços positivos e negativos de *E. coli*. (OLIVEIRA, 2013).

### 8.5. Cálculo do número mais provável

Os resultados são obtidos a partir da cartela padrão do método que correlaciona os valores observados nos quadrados grandes com aqueles observados nos quadrados pequenos. Por exemplo, em uma análise que utilizou 50 ml de amostra foram observados 10 quadrados positivos grandes com 15 quadrados positivos pequenos para coliformes totais e 5 quadrados positivos grandes com 3 quadrados positivos pequenos para coliformes fecais (OLIVEIRA, 2013).

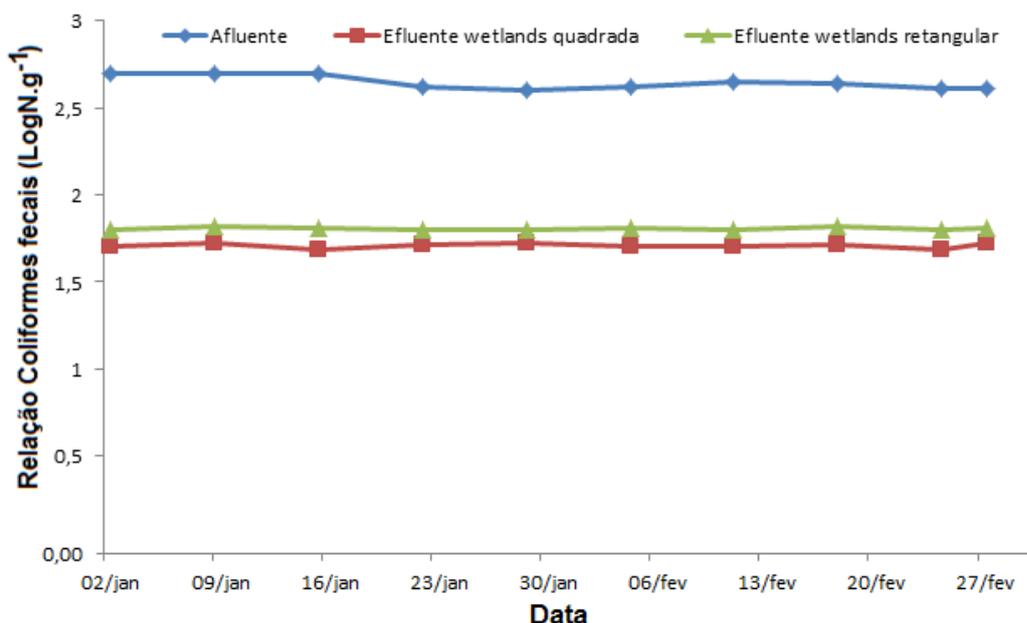
## 9. RESULTADOS

A partir das análises das amostras pelo método de Colilert, os resultados quanto a concentração de coliformes fecais presentes foi realizado com base na relação logarítmica de base decimal com o número de microrganismos (N/g) detectados para o período de coleta de amostras.

Na figura 7 são apresentados os valores obtidos pelo procedimento Colilert para as nove semanas de estudo de amostras de afluente (entrada) e efluente (saída) das wetlands de perfil quadrada e retangular.

Nota-se pela figura 7 que os valores de coliformes fecais pelo método empregado tiveram uma grande diminuição na concentração das águas residuárias após a passagem pelo sistema de wetlands, independente do tipo de perfil empregado: quadrado ou retangular.

Contudo, em relação ao perfil quadrado o desempenho na remoção de coliformes fecais foi ligeiramente superior em comparação ao perfil retangular.



**Figura 7** – Relação de coliformes fecais pelo método de Colilert.

Em relação ao real valor de desempenho de cada sistema de wetlands quadrado ou retangular pode-se notar sua eficiência em relação aos valores percentuais obtidos durante o período de estudo, a partir da tabela 1.

**Tabela 1:** Porcentagem (%) de eficiência na remoção de coliformes fecais.

Data	Wetlands quadrada	Wetlands retangular
02/01/2019	37,04	33,33
09/01/2019	36,30	32,59
16/01/2019	37,41	32,96
23/01/2019	34,73	31,30
30/01/2019	33,85	30,77
06/02/2019	35,11	30,92
13/02/2019	35,85	32,08
20/02/2019	35,23	31,06
27/02/2019	35,25	31,03
02/03/2019	34,10	30,65

Os valores médios percentuais de remoção de coliformes fecais nas wetlands quadrada e retangular foram de 35,49% e 31,67%, respectivamente.

Os valores de depuração foram bem próximos, mas a ligeira melhora no sistema em perfil quadrado deve-se entre outros fatores, na melhor distribuição espacial das macrófitas. O que fez com que o sistema radicular das plantas em melhor distribuição homogênea garantissem uma ligeira superioridade no processo de remoção de coliformes fecais.

Os valores percentuais de remoção quando comparados aos estudos de Albano (2014) revelam que tal diminuição ocasiona num efluente de melhor qualidade que pode ser utilizado em sistemas de sedentação de gado bovino ou mesmo para uso em culturas de cana-de-açúcar ou reuso em lavagem de maquinário pesado.

Mais estudos de viabilidade devem ser incrementados de tal modo que encontrem-se um perfil de máximo utilização.

## 10. CONCLUSÃO

Os testes iniciais de utilização de wetlands para remoção de coliformes fecais em esgoto doméstico foram promissores.

Pelo processo de depuração houve remoções altas para a presença de coliformes fecais, sendo que em média para os dois perfis de wetlands quadrado e retangular, o valor geral de ambos em média foi de 33,58% para ambos as wetlands.

O processo de tratamento por wetlands propicia uma melhor potabilidade da água resultante para reutilização no processo de reuso em atividades não nobres, ou seja, que não necessitem de água potável.

Pelo grau de decaimento geral para presença de coliformes fecais, o produto final desse tratamento poderia, por exemplo, ser utilizado para descarga de vasos sanitários ou lavagem de maquinário. O que permite a conservação dos recursos hídricos para abastecimento público.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIZZATI, E. C.; MEIRELLES, T. P.; TELES, W. M. **Comparativo entre estações de tratamento de efluentes convencionais e jardins filtrantes.** BE\_310 CIÊNCIAS DO AMBIENTE – UNICAMP, p. 1,4, Campinas, 2012.

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.

BITTON, G. **Microbial indicators of fecal contamination: Application to microbial.** Florida Stormwater Association, p. 7. 2005.

BUMA, E. L. L. **Identificação e distinção de fonte de poluição fecal na Bacia Hidrográfica Ribeirão João Leite por metodologias moleculares.** Dissertação. Universidade Federal de Goiás. 2017.

CABRAL, J. P. S. **Water microbiology. Bacterial pathogens and water.** Environ. Res. Public Health, v. 7, p. 3657-3703, 2010.

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

COOPER, P.F. & FINDLATER, B.C. (Eds.). **Constructed Wetlands in Water Pollution Control.** Pergamon Press, Oxford, U.K., 1990.

COSTA, R. **Coagulase-positive Staphylococcus and enterobacteria in fresh shrimp Litopenaeus vannamei,** p. 566-571, 2011.

COLILERT **IDEXX Quanti Tray,** 2000.

CERQUEIRA, D.A. et al. **Perfis de ocorrência de coliformes termotolerantes e Escherichia coli em diferentes amostras de água.** 1999.

FERREIRA, C. A.; PAULO, P. L. **Eficiência de wetlands construídos para o tratamento domiciliar de água cinza com configuração diferenciada.** Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, p.1,2, Campo Grande – MS, 2009.

IDEC Laboratories, Inc. **Manual de instruções para análises de coliformes total e fecal utilizando Colilert.** F.E. Division, Brasil. 2004.

KADLEC, R.H. & KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 1996.

METCALF e EDDY, **Wasterwater engineering – treatment, disposal and reuse**. New York: McGraw Hill Inc, 3ª edição, 1991.

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

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

OLIVEIRA, C. F. P. M. **Aplicação do Colilert® à enumeração de *Escherichia coli* em alimentos**. Dissertação. Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar – Peniche. Instituto Politécnico de Leiria. 2013.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, 2 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.

PHYTORESTORE. **Despoluição de água e efluentes através de jardins filtrantes**. Revista Hidro, p. 6,7, agosto de 2010.

PHYTORESTORE. **Vantagens dos Jardins Filtrantes® sobre outros tipos de ETE**. Documentação interna da empresa, Campinas, 2012.

REED, S.C.; MIDDLEBROOKS, E.J. & CRITES, R.W. **Natural Systems for Waste Management and Treatment**. Mc-Graw-Hill Book Company, New York, 1988.

SALATI, Eneida. **Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para Tratamento de Águas**. *Biológico*, V.65, nº.1/2, p.113-116, São Paulo, janeiro a dezembro de 2003.

FILHO, E. S; SALATI, E. **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas**. Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais LTDA, p.1-15, Piracicaba/SP, 04 de Abril de 2009.

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A.C. van; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. **Utilização de *Wetland* construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.** Engenharia Sanitária e Ambiente. Volume 9, no4, Rio de Janeiro, Outubro a Dezembro de 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522004000400004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000400004)>. Acesso em: 08 de dezembro de 2018.

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

VALENTIM, M. A. A. **Uso de wetlands no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** 119p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

WATSON, J.T. & HOBSON, J.A. Hydraulic design considerations and control structures for constructed *wetlands* for wastewater treatment. **In** *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Municipal, Industrial and Agricultural*, editado por Hammer, D.A., Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 379-391, 1989.

**Recebido em:** 20/03/2019

**Aceito em:** 09/08/2019