



O USO DO TRATAMENTO DE ESGOTO SUSTENTÁVEL: O ESTADO DA ARTE DAS WETLANDS

Diego de Oliveira da Cunha - adm.diegoolivei@gmail.com
Rodolpho Lopes Merlim - rodolphomerlim@gmail.com
Ely Severiano Junior - elyseveriano@gmail.com

* Submissão em: 13/08/2018 | Aceito em: 31/08/2018

RESUMO

O objetivo do trabalho é apresentar uma ETE sustentável com uso da tecnologia da Wetlands, indicando o estado da arte, no contexto brasileiro, seus aspectos positivos e sua eficácia. O estudo foi desenvolvido em pesquisa bibliográfica. Conclui-se que as Wetlands, como tratamento construído, evoluíram durante as últimas décadas, tornando-se uma tecnologia de tratamento confiável que pode ser aplicada a todos os tipos de águas residuais, incluindo esgoto, águas residuais industriais e agrícolas, lixiviação de aterro e escoamento de águas pluviais. A poluição é removida através dos processos que são comuns naturalmente, mas, em Wetlands, esses processos prosseguem em condições mais controladas. Todos os tipos de Wetlands construídas são muito eficazes na remoção de orgânicos e sólidos em suspensão, enquanto que a remoção de nitrogênio é menor, mas pode ser melhorada usando uma combinação de vários tipos de Wetlands ou, ainda, após outros tratamentos.

Palavras-chaves: Tratamento de Esgoto Sustentável. Wetland. Estado da Arte. Vantagens.

THE USE OF SUSTAINABLE SEWAGE TREATMENT: THE STATE OF THE ART OF THE WETLANDS

ABSTRACT

The objective of the work is to present a sustainable ETE using Wetlands technology, indicating the state of the art in the Brazilian context, its positive aspects and its effectiveness. The study was developed in a bibliographical research. It is concluded that the Wetlands as built treatment have evolved over the last decades, becoming a reliable treatment technology that can be applied to all types of wastewater, including sewage, industrial and agricultural wastewater, landfill leachate and rainwater runoff. Pollution is removed through processes that are natural, but in Wetlands these processes proceed under more controlled conditions. All types of Wetlands built are very effective at removing organic and suspended solids, while nitrogen removal is minor but can be improved by using a combination of various types of Wetlands or, even, after other treatments.

Keywords: Sustainable Sewage Treatment. Wetlands. State of art. Benefits.

1 INTRODUÇÃO

A maioria das residências, em áreas urbanas, está conectada aos esgotos (separador absoluto). Este esgoto é transportado através de um sistema de tubulações até chegar ao seu destino final, que é a estação de tratamento de esgoto (ETE), sendo então tratado com processos químicos, mecânicos ou biológicos para remover contaminantes e o lodo (resíduo do sistema), que é separado do líquido. O líquido é descarregado no grande corpo hídrico mais próximo ou reutilizado, e a lama/lodo é incinerada, ou parcialmente utilizada na agricultura ou descartada em aterros sanitários, somente depois de estabilizada e desidratada.

Inicialmente, as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) foram chamadas de Estações Depuradoras de Água (EDA), e se ressaltava somente o aspecto positivo da ETE, dentro do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) em sua totalidade. Tinha-se somente a percepção de que por um viés ambiental, a ETE configurava-se como sendo uma avaliação mitigadora da rede coletora de esgotos. Entretanto, não se consideravam os impactos causados às populações vizinhas.

A partir desse contexto é que este trabalho propõe apresentar uma ETE sustentável. Essa ETE faz uso da tecnologia das *Wetlands*. Busca-se, então, com essa proposta aduzir os conceitos, noções e ideias que conformam uma ETE sustentável sob a égide das *Wetlands*, indicando o estado da arte no contexto brasileiro, os aspectos positivos envolvidos e a eficácia no uso de tal tecnologia.

Os sistemas de esgoto ecológico ou biológico (*Wetlands*) são baseados em ecossistemas naturais que utilizam processos ecológicos para a purificação de água e reciclagem de nutrientes. Seu design exato depende da localização, do clima e da população, mas todos envolvem as águas residuais passadas através de um ambiente gerenciado ou construído em que uma diversidade de organismos vegetais e animais que transformam os resíduos na água (BOHADANA et al, 2017).

Em consonância, Nava e Lima (2012) acrescentam que um dos maiores problemas ambientais enfrentados pelos habitantes brasileiros é a falta de tratamento dos esgotos sanitários, que lançados *in natura* nos solos acarretam contaminação das águas e conseqüentemente sérios problemas de saúde pública, como cólera, hepatites, verminoses e diarreias. A população pobre e a rural são as que mais sofrem com esse problema, devido à falta de conscientização e de investimentos governamentais. Esta ameaça ambiental, combinada com os processos intensivos em energia das usinas de esgoto convencionais, facilitou o desenvolvimento de sistemas de esgoto sustentável.

A consciência ambiental vem gradativamente se modificando e evoluindo para um olhar diferenciado. Antes era comum a consciência ecológica somente diante de acidentes ecológicos de

grandes magnitudes, especialmente aqueles envolvendo derramamento de produto químico, ou mesmo queimadas. Com o passar do tempo, essa consciência ambiental alteou-se ainda mais, e com isso, espargiu-se igualmente a necessidade de preservação à natureza, buscando soluções com foco nas necessidades da humanidade, sem ocasionar riscos nem malefícios para as gerações futuras. Ancorado nessa perspectiva, apresenta-se a do conceito de sustentabilidade, através de estratégias que não agridam o meio ambiente.

Nesta direção, o monitoramento ambiental corresponde a um instrumento para a realização de controle e avaliação, no sentido de identificar o estado e as disposições qualitativas e quantitativas dos recursos naturais e conseqüentemente, as influências desempenhadas pelas atividades humanas e ainda os fatores naturais sobre o ambiente, além de definir o cumprimento da legislação, identificando a real característica. No contexto brasileiro, os padrões de qualidade para os corpos de água são preconizados pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), de 17/03/2005, alterada e complementada pela Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011) que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes (CALEGARI et al, 2015).

A saúde humana está diretamente ligada aos recursos hídricos como: saneamento básico, água potável e hábitos de higiene. Com a precariedade desses serviços surgem várias doenças que são transmitidas pela água de baixa qualidade, o que ratifica a abordagem de um monitoramento mais efetivo estudo estatístico mais confiável.

Kellner et al (2009) destacam que a sustentabilidade diz respeito à relação entre sistemas ecológicos e sistemas econômicos, sendo os dois dinâmicos. Contudo, os sistemas ecológicos caracterizam-se por transformações lentas, em que a vida humana poderá permanecer indefinidamente, acomodando um desenvolvimento dos sujeitos e das culturas humanas, tendo em vista que os efeitos das atividades antrópicas podem se compatibilizar com a capacidade suporte, não danificando a diversidade, complexidade e eficácia dos sistemas ecológicos que dão suporte à vida. Tendo em vista a sustentabilidade como uma apreciação dinâmica que conglomera um processo de transformação, o conceito de sustentabilidade diz respeito a uma nova compreensão do reconhecimento, limites e das fragilidades do planeta, igualmente quando focaliza a satisfação das necessidades básicas das populações.

No caso do ETE, o bom emprego de critérios econômicos corresponde a um procedimento benquisto universalmente, tendo em vista a diversidade de métodos. Alguns desses métodos são implementados internamente nas empresas que realizam projeto e construção, a partir da

conhecimento acumulado na preparação de orçamentos e acompanhamento de custos construtivos. Contudo, os projetos de saneamento têm excedido a compreensão sanitária clássica, adotando uma abordagem ambiental com ênfase não apenas somente à promoção da saúde humana, mas também, à conservação do meio físico e biótico (KELLNER, et al, 2009)

Os *Wetlands* ecologicamente projetados são um bom exemplo de design sustentável. Eles são eficientes em termos energéticos, baratos, eficazes e ambientalmente amigáveis, e podem ser aplicados em qualquer escala, de uma única casa a uma cidade grande. No entanto, esta tecnologia não consegue tratar toda matéria de esgoto como recurso. Embora o esgoto contenha contaminantes, ele também contém nutrientes que podem ser usados para melhorar a fertilidade do solo, além da capacidade de produzir gás natural. Tecnologias como as plantas de biogás que maximizam o esgoto como fonte de energia e nutrientes precisam ser desenvolvidas em uma escala global (LOPES, 2017).

A tecnologia de tratamento de esgoto realizada por zona de raízes de fluxo sub-superficial - ou os *Wetlands* construídos é uma tecnologia nova no contexto brasileiro (MATTOSO, 2014).

O presente estudo se justifica, dentro desse contexto, por tratar uma tecnologia sustentável no tratamento de esgoto, uma vez que a sua metodologia leva em consideração a qualidade do meio ambiente, ou seja, não causando dano.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho que, ora, se apresenta é apresentar o sistema de uma ETE sustentável com uso da tecnologia da *Wetlands*, indicando o estado da arte, no contexto brasileiro, seus aspectos positivos e sua eficácia.

O estudo foi desenvolvido, baseado em pesquisa bibliográfica, com ênfase no estado da arte das *Wetlands*, como proposta para o tratamento de esgoto sustentável.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Esgoto sanitário

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986), o esgoto sanitário diz respeito ao despejo líquido composto de esgotos industrial ou doméstico, contribuição pluvial parasitária e água de infiltração.

De acordo com Nuvolari (2011), o sistema de coleta e o transporte desses despejos são feitos através de canalizações que recebem as contribuições e encaminham para as ETE. Essas estações são responsáveis pela retirada dos poluentes e lançam o efluente tratado. Quando ocorre o

lançamento, parte dele sofre o processo natural de degradação chamado autodepuração. O processo de autodepuração conglera mecanismos como dispersão, diluição, sedimentação, e outros.

A maioria absoluta dos sistemas públicos de esgoto sanitário do Brasil se caracteriza pelo descarte dos efluentes (tratados ou não) em cursos de água. O lançamento de efluentes líquidos não tratados, oriundos das indústrias e esgotos sanitários, nos rios, córregos e lagos geram grandes desequilíbrios ao ecossistema aquático, provocando a poluição térmica. Disso, verifica-se, conseqüentemente, o aumento da temperatura da água, a redução da concentração de oxigênio, o que contribui para o impacto dos organismos do meio (BARBOSA, et al, 2009).

Nava e Lima (2012) ressaltam que o esgoto doméstico se distingue do industrial, animal e hospitalar. O esgoto doméstico apresenta uma menor requisição de oxigênio para que degrade a matéria orgânica. Já o hospitalar, animal e industrial, precisam de tratamento apropriado, impedindo, portanto, a poluição e a contaminação do ambiente.

Panatto (2010), por sua vez, afirma que, de acordo com o tamanho e com a topografia da cidade, os sistemas de esgoto para serem implantados serão bem mais complexos, podendo dificultar sua execução. Nas cidades cuja topografia é elevada, o sistema de esgoto pode limitar-se somente as suas redes coletoras e ainda ser lançado através do emissário. Em contra partida, nas grandes metrópoles, ou ainda nas cidades com baixo declive, este sistema tende a ser mais complexo, passando por estações elevatórias, interceptores e emissários antes de entrar na estação de tratamento.

Segundo Vaz (2017), ultimamente no contexto brasileiro, os serviços de tratamento de esgotos são realizados pelo governo, associações comunitárias, municípios, companhias estaduais de saneamento básico ou concessionárias privadas. Comumente empregam tecnologias convencionais que adotam o padrão dos países desenvolvidos, empregam, ainda, pouca mão-de-obra e com pequena participação social.

Segundo Campos e Nunes (2017), nesse processo, é necessário advertir que parte dos conceitos de planejamento urbano estratégico tem origem no âmbito empresarial e que o desenvolvimento sustentável ampara-se com a legitimação de práticas que afiancem a institucionalização de desígnios de modelo de cidade. A interação entre as políticas de meio ambiente e também de saneamento básico manifesta-se através de importantes ações que têm a capacidade de gerar aspectos compatíveis do desenvolvimento social e econômico através da preservação da qualidade ambiental.

2.2 Tratamento

Segundo Silva Júnior e Amarin (2017), a classificação para o tratamento de esgotos se dá em níveis, cuja ação preliminar almeja somente a retirada de sólidos grosseiros. Já o tratamento primário visa à retirada de sólidos sedimentáveis e matéria orgânica. O tratamento secundário, por sua vez, intenta a remoção de matéria orgânica e às vezes, nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário, por fim, tem como objetivo remover poluentes ou ainda, a retirada complementar dos poluentes que não foram removidos eficazmente no tratamento secundário.

Pontes (2017) exemplifica o uso desse tratamento, considerando que o esgoto tratado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) é utilizado na irrigação dos canteiros ornamentais, depois de passar por processos secundários de tratamento, por unidades de filtração, o que permite a remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica. Por consequência, observa-se que o resultado é uma água de boa qualidade, que não apresenta o potencial nutricional dos esgotos, em função do tratamento recebido.

Atualmente as pesquisas têm o foco voltado para o aproveitamento de biogás, através do processamento do lodo que é gerado no tratamento de esgoto, e para a recuperação do fósforo, a partir de um processo de tratamento na própria estação de esgoto. “O Fósforo é um produto importante para a produção da agroindústria brasileira, já que as bacias fosfatadas estão cada vez mais restritas, devido à demanda de fertilizantes” (PONTES, 2017).

2.3 Wetlands

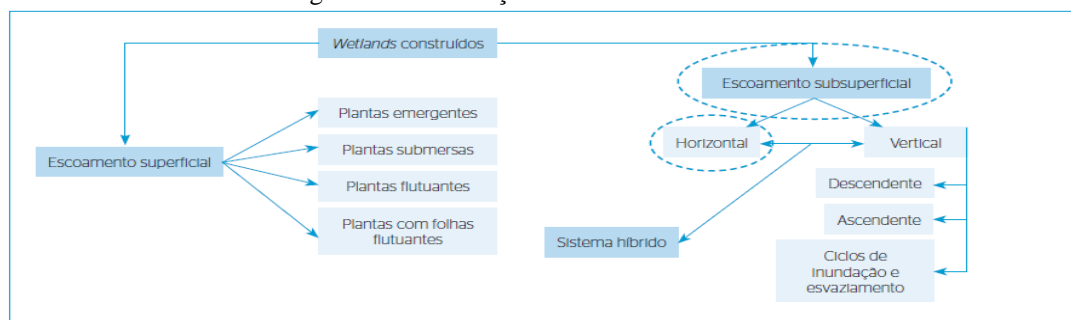
O sistema de tratamento de águas residuárias, versada como sistemas wetlands construídos, foi primeiramente criado na Alemanha pelo pesquisador Käthe Seidel do Instituto Max Planck em 1950, para a retirada de fenol e para adiminuição da carga orgânica de efluente de laticínio (SEZERINO, et al, 2015).

Diferentemente das tecnologias implementadas mundialmente, as *Wetlands* são decorrentes da ação da natureza. O sistema foi implementado com a intenção de reproduzir múltiplos processos de retirada de poluentes que acontecem naturalmente, em áreas alagadas já existentes, como por exemplo, o Pantanal Brasileiro (MATTOSO, 2014)

Segundo Kaick et al. (2017), a *Wetland* é uma tecnologia desenvolvida para o tratamento de esgoto realizado por zona de raízes de fluxo sub-superficial - ou os *wetlands* construídos. É um estudo novo no Brasil, perante as tecnologias convencionais.

Sezerino et al. (2015) destacam que, no contexto brasileiro, as primeiras experiências com o emprego dos *wetlands* para a melhoria da qualidade das águas e também para o controle da poluição foram dirigidas no começo de 1980 pelos pesquisadores Salati e Rodrigues. Contudo, os experimentos brasileiros se avivaram mais intensamente a partir de 2000, com aproveitamentos de sistemas *wetlands* construídos para o tratamento de diversas águas residuárias, difundidas ao longo de todo o território brasileiro, sob diversas formas e arranjos, e com vários materiais filtrantes e macrófitas empregadas. A Figura 1 exibe uma classificação dos *wetlands* construídos em 2 grandes grupos.

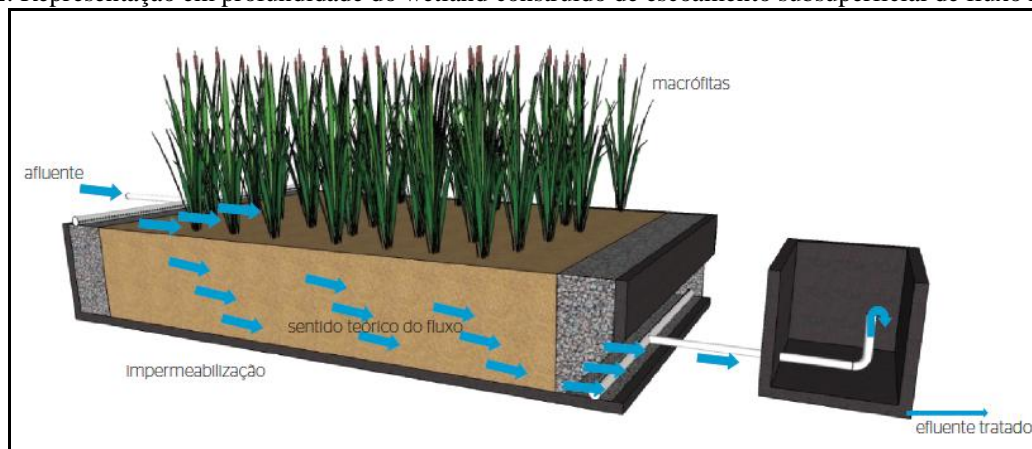
Figura 1: Classificação dos *wetlands* construídos



Fonte: Sezerino et al (2015)

Segundo Sezerino et al. (2015), nos *wetlands* construídos para o escoamento subsuperficial de fluxo horizontal (WCFH), o tratamento do efluente é organizado na porção inicial do leito, chamada zona de entrada, comumente composta por brita, por onde irá percolar pausadamente por meio do material filtrante até alcançar a porção final, também composta por brita e chamada de zona de saída. Essa percolação segue na horizontal, sendo impulsionada por uma declividade de fundo (Figura 2).

Figura 2: Representação em profundidade do wetland construído de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal

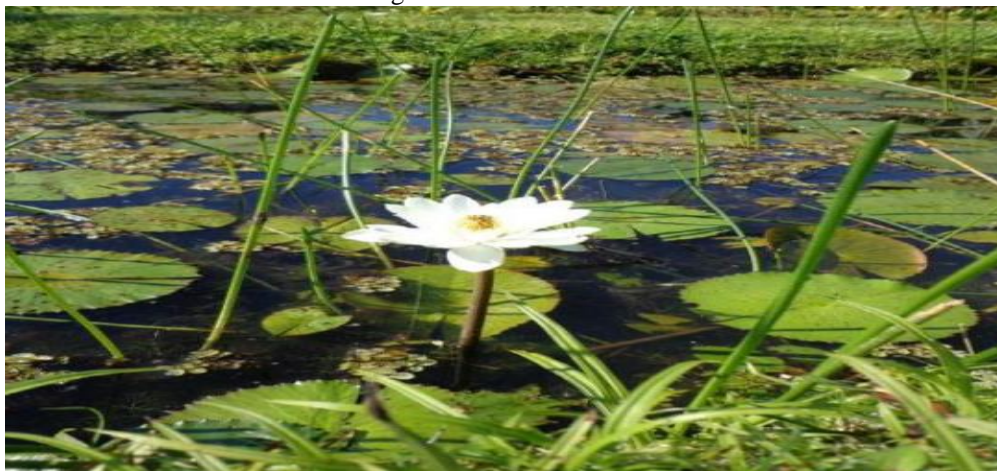


Fonte: Sezerino et al (2015)

Já Mattoso (2014), ao endossar a importância da tecnologia *Wetland*, ratifica que ela pode ser natural ou construída. Estes sistemas realizam um tratamento na água, e as mesmas passam por um processo de ecossistema com solo, biomassa, e plantas, que tem atuação eficaz na remoção de DBO, DQO, nutrientes e demais parâmetros de qualidade da água pelos elementos de filtração, interceptação, dentre outros.

A Figura 3 ilustra uma *Wetland* natural

Figura 3: *Wetland* natural



Fonte: Poças (2015)

O emprego da tecnologia *wetlands* para o tratamento de diferentes águas residuárias está em extenso crescimento no contexto brasileiro, especialmente na última década. Apesar disso, publicações alusivas às avaliações de desempenho para o tratamento e ainda os dados operacionais de longo prazo são ainda escassos, avigorando a necessidade de implantação de ações conjuntas entre os órgãos de apoio à pesquisa, universidades de pesquisa, setor privado, poder público e todos os envolvidos nesse processo (SEZERINO et al, 2015).

Segundo Salati et al. (2009), as estruturas conhecidas como *Wetlands* ainda possuem deivergências entre os pesquisadores da área, o que ratifica as diversas investigações científicas realizadas mundialmente. O autor em questão implementou um refinado estudo para a classificação das probabilidades construtivas de *Wetlands*, bem como das principais características hidráulicas dos mesmos.

2.4 Wetlands Construídas

Em razão de diferentes fatores, como eficácia final de retirada de nutrientes, contaminantes e demais poluentes, propriedades do efluente para serem tratados, emprego de biomassa produzida e atenção paisagística, diferentes técnicas de Wetlands construídas foram desenvolvidas, como, por exemplo, os sistemas que utilizam plantas aquáticas flutuantes e os sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes (MATTOSO, 2014).

Segundo Poças (2015) esses tipos de sistemas de *wetland* construídos apresentam baixo custo para sua implantação, operação e manutenção quando comparado aos sistemas convencionais. O Brasil é um dos países que apresentam extraordinárias condições climáticas e ambientais para implantação das *Wetlands* construídas, e ainda apresenta uma grande carência de tratamento de águas residuárias, notadamente em pequenos e médios municípios.

As *wetlands* construídas baseiam-se em filtros biológicos, que têm microrganismos apropriados para a promoção de reações de depuração da água. Os microrganismos e a sua heterogeneidade genética e adequabilidade funcional são adequadas para degradar diferentes substâncias presentes na água, causando, portanto, seu crescimento. A Figura 4 ilustra uma *Wetland* construída.

Figura 4: *Wetland* construída



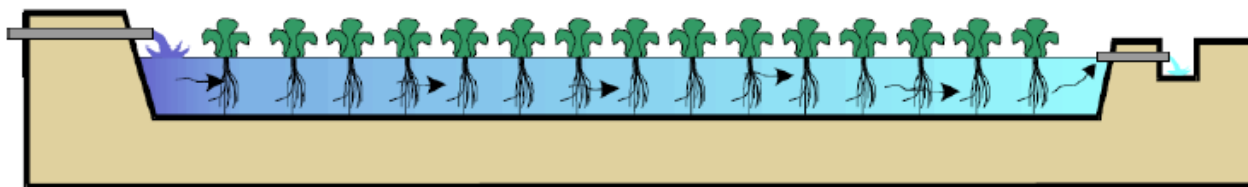
Fonte: Poças (2015)

2.4.1 Sistema *Wetlands* com emprego de Flutuantes

Comumente empregadas em canais rasos, o grupo das macrófitas flutuantes forma-se por várias espécies. Para o uso nas *Wetlands*, usa-se somente uma espécie ou uma variedade de espécies. A mais empregada, é a *Eichornia crassipes*, ou como é conhecida, o Aguapé (MATTOSO, 2014).

A Figura 5 ilustra um desenho esquemático de um canal com plantas flutuantes.

Figura 5: Esquemático de um canal com plantas flutuantes



Fonte: Mattoso (2014)

A Aguapé tem sido uma escolha possível para a flora da *Wetlands*, pelo fato da mesma ser resistente às águas altamente poluídas e tóxicas com ampla diferença de carga de nutrientes e pH, e à grandes modificações de temperatura. Oferece ainda capacidade de produção de biomassa, chegando a 5% ao dia (MATTOSO, 2014).

Nesse sistema é possível a integração de sistemas de tratamento secundário e terciário. Eles são projetados contendo aeradores, e as características do efluente determinam os tempos de residência, bem como os parâmetros almejados para o efluente final. Suas resistências podem variar de 5 a 15 dias (SALATI, 2009), entretanto, há casos em que somente 1 dia foi necessário (MATTOSO, 2014)

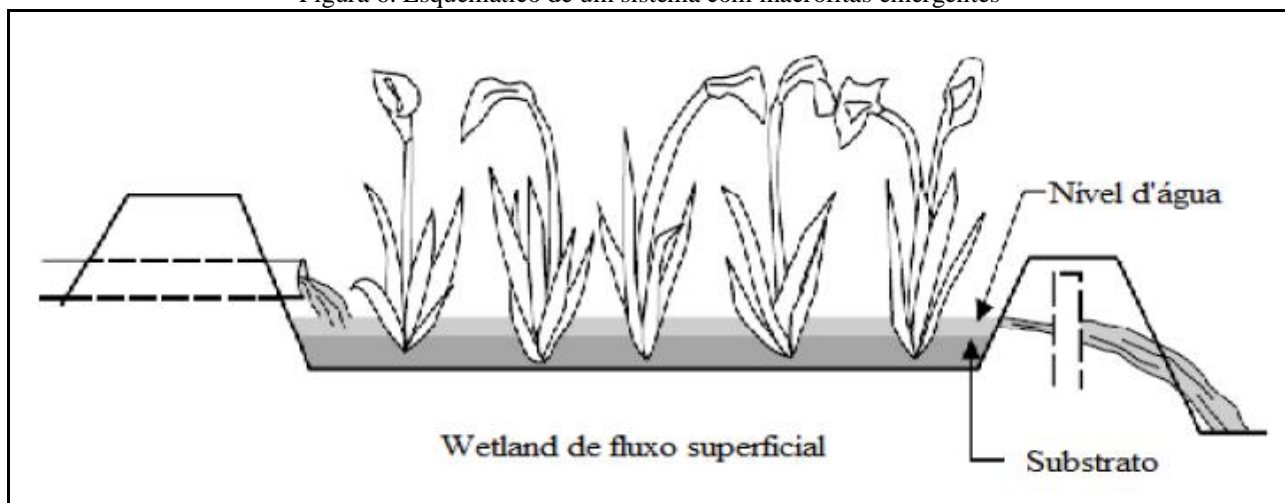
Os sólidos em suspensão têm a sua remoção através da decantação e por adsorção no sistema radicular das plantas (MATTOSO, 2014). Segundo Matoso (2014), as principais vantagens são:

- Custo reduzido para a implantação;
- Elevada eficácia para a melhoria da qualidade da água;
- Elevada produção de biomassa, podendo a mesma ser empregada para a ração animal, biofertilizantes e energia.

2.4.2 Sistema *Wetlands* com emprego de plantas emergentes

Neste sistema são utilizadas plantas que têm seu sistema radicular fixo ao sedimento, sendo que o caule e as folhas continuam somente parcialmente submersos. Dentre os sistemas de *Wetlands* construídas, este é o mais antigo, com mais de 30 anos empregado na Holanda (SALATI, 2009 apud Mattoso, 2014). Comumente, seu dimensionamento conta com um canal de 3 a 5 metros de largura, e algo em torno de 100 metros de comprimento. O esquema geral incide em conservar uma lâmina d'água sobre a superfície do solo, contribuindo para que o substrato seja tratado por meio de mecanismos de ação microbológica. A Figura 6 ilustra o esquemático de um sistema com macrófitas emergentes.

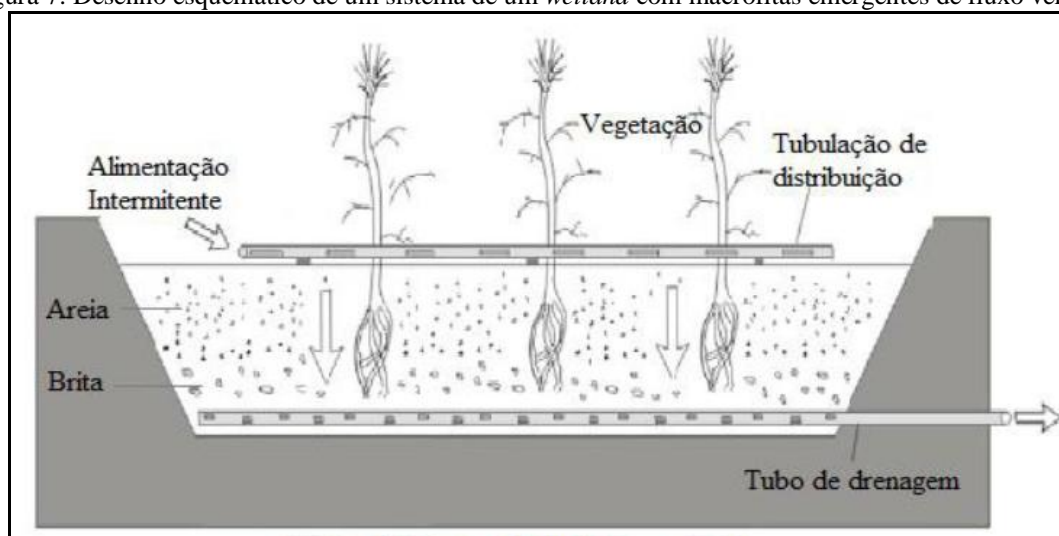
Figura 6: Esquemático de um sistema com macrófitas emergentes



Fonte: Mattoso (2014)

Como vantagens deste tipo de *Wetland*, destaca-se a maior eficácia para a remoção de DBO, nitrogênio, fósforo amoniacal e sólidos em suspensão. Já no contexto construtivo existe a menor necessidade de área em comparação com outros métodos de *Wetlands* construídas. O tratamento da água ocorre em um fluxo vertical, em uma camada de solos que será lançada sobre a brita, daí são cultivadas as plantas emergentes. O projeto pode alterar, contudo dominam os panoramas de canal longo com pouca profundidade (MATTOSO, 2014). O cuidado principal na operação deste tipo de sistema é prevenir a formação de um fluxo superficial, que comumente acontece, e as obstruções no sistema que podem ocasionar redução da condutividade hidráulica. A Figura 7 ilustra um esquemático com macrófitas emergentes de fluxo vertical.

Figura 7: Desenho esquemático de um sistema de um *wetland* com macrófitas emergentes de fluxo vertical



Fonte: Mattoso (2014)

Para a escolha do material filtrante para um sistema de *wetland*, deve-se ter conhecimento de suas características físico-químicas. No campo físico, são importantes as características que envolvem o fluxo, quer dizer, o meio para conservar adequadamente a condutividade hidráulica, e o regime hidráulico, que será conservado com adequada permeabilidade, a fim de acomodar o fluxo necessário, considerando que fluxo comumente se dá em detrimento das propriedades das partículas sólidas. O pedregulho e a areia têm sido os materiais mais comuns. No domínio químico, atributos como capacidade de adsorção potencializará intensamente a retirada de poluentes como nitrogênio amoniacal e fósforo solúvel, especialmente em detrimento da adsorção que o meio propiciará (MATTOSO, 2014).

2.5 Composição das Wetlands

2.5.1 Material filtrante

Segundo Ormonde (2012), para o uso do material filtrante de um sistema de *wetland*, é imprescindível o conhecimento de suas características físico-químicas. No domínio físico, devem-se considerar suas condições de fluxo, ou seja, sua boa condutividade hidráulica, bem como o regime hidráulico, que deve ser conservado com sendo de boa permeabilidade, e acomodar o fluxo necessário, este comumente se dá em detrimento das propriedades das partículas sólidas. Geralmente tem sido utilizado pedregulho e areia. No domínio químico, deve-se levar em consideração a capacidade de adsorção, já que a mesma influenciará categoricamente na eficiência para a remoção de poluentes (fósforo solúvel, nitrogênio amoniacal), especialmente decorrente da adsorção que o meio irá proporcionar.

Ainda de acordo com Ormonde (2012), para os sistemas de distribuição é imprescindível que se utilize materiais mais grosseiros e que apresentem maior índice de vazios, de modo que se permita a prevenção de colmatção, bem como o entupimento de vias entre os vazios do solo, e por conseguinte, a manutenção de um regime de escoamento adequado.

Matoso (2014) enfatiza que a literatura recomenda que o solo aportado à *Wetland* caso seja possível, seja retirado de *Wetlands* existentes na bacia, e ainda seu perfil de aplicação, de tal modo que os parâmetros de alternativa deste tópico serão levados em consideração quando a análise de disponibilidade de solos na bacia for concretizada.

2.5.2 Plantas

Segundo Ormonde (2012), a preferência por uma ou outra espécie de macrófita deve levar em consideração determinados parâmetros essenciais, como:

- Se possível escolher espécies nativas em detrimento da adaptação ao meio;
- Maior tolerância à inundações;
- Elevada taxa de fotossíntese;
- Elevada capacidade para transportar oxigênio;
- Maior capacidade para assimilação de poluentes compatíveis com o tratamento (fito-remediação);
- Resistência às pragas e doenças;
- Sistema radicular desenvolvido.

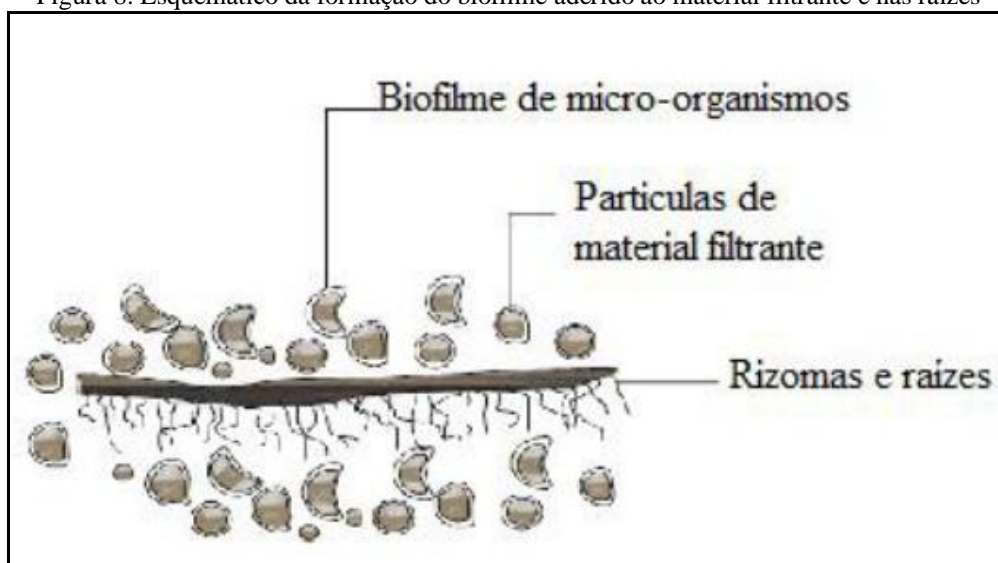
Como já ressaltado, algo bastante considerável, , quando há ausência de dados relevantes, é a escolha por vegetação nativa presente em *Wetlands* naturais. Um exemplo disso ocorre em áreas como o Pantanal brasileiro, que possui áreas alagáveis naturalmente, abrigando vegetação com maior chance de adaptação à *wetland* construída, uma vez que tais espécies poderão ser incluídas no sistema artificial. Geralmente é realizado um teste de adaptação da espécie que se pretende usar (ORMONDE, 2012).

2.5.3 Organismos

Ormonde (2012) *apud* Matoso (2014) enfatiza que os micro-organismos empregados apresentam sua classificação como procariotos, eucariotos e archaea, tendo em vista a sua estrutura celular e seu funcionamento. Os procedimentos efetivados em tratamentos biológicos visam essencialmente à retirada da DBO carbonácea do efluente, fósforo e nitrogênio. Os eucariotos diz respeito às plantas, protistas e animais, e os integrantes mais importantes deste grupo para o tratamento são os protozoários, fungos, plantas, algas e rotíferos.

Matoso (2014) adverte que nas *wetlands*, os micro-organismos presentes comumente associam-se às raízes ou aos caules das plantas, desenvolvendo uma película chamada de Biofilme. A figura 8 ilustra um esquemático deste sistema.

Figura 8: Esquemático da formação do biofilme aderido ao material filtrante e nas raízes



Fonte: Mattoso (2014)

Ormonde (2012) enfatiza que os protozoários são maiores que as bactérias e comumente consomem bactérias como fonte de energia. Em função disso, os protozoários atuam como polidores dos efluentes para os processos de tratamento biológico, acarretando o consumo de matéria orgânica particulada e bactérias.

2.6 Metodologia para Dimensionamento das Wetlands

As teorias recuadas para o dimensionamento de Wetlands divergem entre os estudiosos, especialmente em razão das diferenças regionais para os locais que serão implantadas. A teoria mais aceita diz respeito ao pressuposto de que o dimensionamento possa ser realizado de forma similar a reatores biológicos existentes, levando em consideração o emprego de reatores de fluxo em pistão para os quais as reações são estimadas de primeira ordem, e os parâmetros de resposta fornecidos pelo tempo de detenção hidráulico e da temperatura do sistema. O tempo de detenção hidráulica ocorre em função da porosidade e do material filtrante, do volume do filtro e da vazão afluyente (MATTOSO, 2014):

$$t = n (V/Qm) \quad (1)$$

onde:

t = tempo de detenção hidráulica (dias)

n = porosidade do material filtrante em % (volume de vazios/volume de material)

V = volume do filtro (m³)

Qm = vazão média afluente ao sistema (m³/d)

Segundo Ormonde (2012) apud Mattoso (2014) a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) aconselha tempos de detenção de seis a sete dias, tendo em vista que tempos maiores induziriam as condições anaeróbias e de tempos menores não provocariam a degradação da matéria orgânica solicitada para o sistema.

2.7 Monitoramento e Manutenção

Segundo Matoso (2014), o monitoramento da *Wetland* é importante para sua eficácia e seu bom funcionamento. Esse monitoramento prevê táticas de prevenção que irão impedir que a eficiência do tratamento seja diminuída, e a sobrevivência de todo aquele ecossistema constituído na área. Cada projeto deve levar uma frequência aceitável de manutenção, que poderá ser feita quatro vezes no primeiro ano, e para o segundo ano em diante, pode ser realizado um monitoramento anual.

Matoso (2014) ainda acredita que três ideias principais devem orientar as atividades de manutenção, quais sejam, a retirada de espécies indesejadas, o replantio de espécies almeçadas e a retirada dos sólidos sedimentados. Ocorrendo dessa forma, o monitoramento deverá conservar as seguintes peculiaridades do projeto: percentual de sobrevivência das espécies plantadas, percentual de cobertura das espécies plantadas, percentual de cobertura de espécies indesejáveis, biota existente e a utilização da vegetação, investigações sobre a qualidade das águas com indicadores que admitam alertar sobre a precisão de remoção de sedimentos e demais ações imprescindíveis.

2.8 Alguns exemplos de implantação de *Wetlands* no Brasil

O primeiro projeto de *wetlands* implantado no contexto brasileiro foi concretizado por Salati e Rodrigues no ano de 1982 através da construção de um lago artificial próximo ao rio Piracicamirim, que apresentava muita poluição, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba. Depois desta data, vários outros projetos foram implementados no Brasil. Há diversas ETEs implantadas com *wetlands* construídos, como as do Instituto de Ecologia Aplicada de Piracicaba (SP). Segundo Sezerino et al (2015) apud Rubim (2017), grande parte dos estudos brasileiros usam *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal.

Para ilustrar um caso real de retirada de poluentes, Matoso (2014) utilizou o trabalho de Mascarenhas (2013) que implantou duas *Wetlands* em braços de um afluente de rio, localizado na bacia do córrego Jaguaré, bacia vizinha a do Pirajussara. No específico caso,, as *wetlands* mostraram-se eficientes, considerando, sobretudo, o modo com o qual o trabalho foi proposto, ou seja, baterias de *wetlands* margeando o córrego,

Ressalta-se que as *Wetlands* são um tratamento admissível de ser implantado na Bacia em estudo, com retirada eficaz de poluentes. Não é possível afirmar que seja o melhor método para tratamento para a região em questão, já que o estudo não propôs o comparativo de técnicas. Contudo, vale salientar que as *Wetlands* em estudo foram capazes de influenciar de maneira positiva a melhora de parâmetros de qualidade da água nas duas frentes de problema das bacias urbanas, bem como a poluição dos rios por aporte pontual, e os despejos de esgotos, e a diminuição da carga de poluição longa que os alcança, interceptando o *first flush* e realizando o tratamento desta carga segundo o nível de retirada dos poluentes possíveis de serem alcançados.

Poças (2015) em sua pesquisa ilustra um sistema de *Wetlands* criado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) em série piloto na ETA em Baixo Cotia no mês de novembro de 1996, com objetivo de aferir a eficiência do sistema para enquadrar as águas do Rio Cotia com os parâmetros determinados para rios Classe II. Esses parâmetros são preconizados pelo Decreto Estadual 8.468 de 1977, que visa a controlar os picos de cheia, detectar e conter possíveis contaminações de recursos hídricos, bem como servir como sistema de barragens para sedimentos e recebimento de efluente da ETE Barueri, distinguindo-se como um reuso de planejamento indireto potável.

A Figura 9 ilustra o fluxograma do processo construído, em que a água captada do Rio Cotia é conduzida para uma *wetland* de fluxo superficial com macrófitas flutuantes, em que a mesma direciona-se para um sistema de solo filtrante, em seguida passa para *wetland construída* e finalmente, passa novamente por um sistema de solo filtrante. No relatório não é confirmado quais foram as macrófitas e os materiais filtrantes ou suportes empregados neste projeto (SABESP, 1998 apud POÇAS, 2015).

Figura 9: Fluxograma de processo do projeto piloto da ETA Baixo Cotia



Fonte: SEBESP (1998) apud Poças (2015)

Segundo Poças (2015) o piloto trabalhou por quase seis meses e a qualidade da água teve monitoramento da equipe da SABESP (1998). Eles concluíram que os resultados alcançados para a diminuição de nitrogênio e fósforo em um sistema de *wetlands* construída na Estação Piloto da ETE Barueri foi aceitável.

Reis et al (2015) também mencionam o interesse para os tratamentos alternativos, como os Alagados, construídos pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e pela Companhia de Saneamento Básico do Paraná (SANEPAR), que começaram seus estudos com auxílio do Instituto Terramax para concretizar um projeto de recuperação de recursos hídricos por meio de sistema de *Wetlands* construídos.

Segundo Reis et al (2015) no estado de Santa Catarina, o emprego dos *Wetlands* construídos está tendo um extenso crescimento. A Empresa de Pesquisa, Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), vem gradativamente implantando, na zona rural de alguns municípios os *sistemas de Wetlands construídos para ETE*. Como exemplos, as *Wetlands* do município de Balneário Camboriú, Agronômica, Tubarão, Videira e São Joaquim. Outros casos de aplicação de *Wetlands* construídos em áreas rurais estão sendo implementados na cidade de Campos Novos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função dos bons resultados obtidos, bem como de uma operação e conservação eficientes em caso de implantação, ressalta-se que as *Wetlands* são um tratamento viável.

Apesar dos custos não terem sido objeto de estudo, constatou-se entre os achados que eles incluem a terra, a investigação do local, o projeto do sistema, o trabalho de terraplanagem, os

forros, a filtração ou os meios de enraizamento, a vegetação, as estruturas de controle hidráulico e os custos diversos (por exemplo, cercas e estradas de acesso). No entanto, as proporções dos custos individuais variam amplamente em diferentes partes do mundo. Além disso, para aplicação em sistemas maiores, os resultados demonstram maiores economias em escala significativa, o que ratifica uma interessante proposta para tratamento de esgoto sustentável.

As *Wetlands* como tratamento construído evoluíram durante as últimas décadas em uma tecnologia de tratamento confiável que pode ser aplicada a todos os tipos de águas residuais, incluindo esgoto, águas residuais industriais e agrícolas, lixiviação de aterro e escoamento de águas pluviais. A poluição é removida através dos processos que são comuns naturais, mas, em *Wetlands*, esses processos prosseguem em condições mais controladas. Todos os tipos de *Wetlands* construídas são muito eficazes na remoção de orgânicos e sólidos em suspensão, enquanto que a remoção de nitrogênio é menor, mas pode ser melhorada usando uma combinação de vários tipos de *Wetlands*.

As *Wetlands* construídas requerem uma entrada de energia muito baixa ou zero e, portanto, os custos de operação e manutenção são muito menores em comparação com os sistemas de tratamento convencionais. Além do tratamento, as *Wetlands* são muitas vezes projetadas como ecossistemas de múltiplos ou múltiplos propósitos que podem fornecer outros serviços de ecossistemas, tais como controle de inundações, sequestro de carbono ou habitat da vida selvagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto. Rio de Janeiro:ABNT, 1986

BOHADANA, Ingrid P. B; PROFES, Marcos B; ZANIN, Nauíra Z; NERBAS, Patrícia F); ECKER, Vivian; SATTLER, Miguel Aloysio. **Estratégias mais sustentáveis aplicadas ao projeto do condomínio Harmonia Residencial Park**, Harmonia – RS. IV Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. Disponível em:<http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-/anais_artigo_076.pdf> Acesso em: out. 2017.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. Decreto nº 553 de 16 de janeiro de 1976. Aprova o regulamento dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário do estado do rio de janeiro, a cargo da CEDAE.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

BRASIL. Diretriz 215.R04 – Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem não industrial. 08 de novembro de 2007.

BRASIL. Diretriz.202.R10 – Diretriz de Lançamento de Efluentes Líquidos do INEA, 04 de dezembro de 1986.

BRASIL. Conama nº 357, de 17 de Março de 2005. 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. Brasília, 2005.

BRASIL. Conama nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências. Brasília, 2011.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CALEGARI, R.P. et al. Caracterização da água da microbacia do Rio Lonqueador avaliada por parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v. 19, n. 2, mai - ago. 2015, p. 1284-1291.

CAMPOS, João Batista Neto de; NUNES, Luiz Antonio de Paula. Desenvolvimento sustentável e saneamento – uma experiência de tratamento do esgoto doméstico em Bertiooga. Disponível em: <<http://copec.eu/congresses/cbpas2003/proc/pdf/T130.pdf>>. Acesso em: out. 2017.

COLET, K. M.; SOARES, A. K. Diagnóstico e índices de qualidade ambiental da Bacia do Córrego do Barbado, Cuiabá – MT. **Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 022-040, 2013.

GIORDANO, Gandhi, et al. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. Rio de Janeiro, RJ, p. 5-6, 2011. Disponível em: <xa.yimg.com/kq/groups/.../name/Apostila++Tratamento+de+efluentes+industriais.pdf> Acesso em: set. 2017.

KAICK, Tamara Simone Van ; MIODUSKI, Janaíne; SÁ, Patricia Zeni de; SERPE, Fabiano Ramiro ; STEDELE, Marcelo; TEIXEIRA, Clarice; SERPE, Adloff; HINOJOSA, Eduardo Alberto Lazo. Levantamento preliminar do estado da arte dos Wetlands construídos no Brasil.



Disponível em: < www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/eventos/.../201>. Acesso em: out. 2017.

KELLNER, E.; CALIJURI, M.C.; PIRES, E.C. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. **Eng Sanit Ambient**. v.14 n.4 , out/dez 2009 .

LEMES, João Luiz Villas Boas Lemes; SCHIRMER, Waldir Nagel; CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler; KAICK, Tamara Van; BOSnei Abele, Rozenilda Romaniw Bárbara. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-179, abr./jun. 2008

LOPES, Michele. Tratamento de esgoto: os processos de reaproveitamento residencial. Disponível em: <<http://www.temsustentavel.com.br/tratamento-de-esgoto-os-processos--residencial/>>. Acesso em: out. 2017.

MASCARENHAS, L.C. e VIEIRA, A. Desempenho de *Wetlands* visando a melhoria da qualidade da água em rios urbanos. São Paulo, 2013

MATTOSO, Fernando Dell'agnolo B. **Estudo de eficiência de Wetland no córrego Pirajussara**. Trabalho apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2014. Disponível em: <www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=8363>. Acesso em: out. 2017.

NAVA, L; LIMA, C de. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de esgoto por zona de raízes (ETEZR) instalada no horto florestal de Caçador-SC. **Ignis** | Caçador | v. 1 | n. 1 | jan./jun. 2012.

NUVOLARI, Ariovaldo; MARTINELLI, Alexandre. **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2011.

ORMONDE, VANUSA S. Avaliação de 'Wetlands' construídos no pós-tratamento de efluentes de lagoa de maturação". Cuiabá, MT. Março, 2012.

PANATTO, L.A. V. Estudo sobre as interferências subterrâneas na implantação de rede coletora de esgoto no município de CRICIÚMA/SC Trabalho apresentado para Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. CRICIÚMA, dezembro de 2010. Disponível em: <www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D38.%20Panatto.pdf> Acesso em: set. 2017.

POCAS, Cristiane. **Utilização da tecnologia de wetland para tratamento terciário: controle de nutrientes** - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: < www.teses.usp.br/teses/disponiveis/pdf>. Acesso em: nov. 2017.

PIMENTA, S. P. **Estudo Preliminar para Implantação de Sistema de Tratamento de Esgotos em Universidades: O Caso da Universidade Federal de Itajubá**. Disponível



em:http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/57a47bdd656808f75a2c8f38a07bc65c_8cd0ad40dd6211015e37d78b3d514f25.pdf>. Acesso em: out. 2017.

PONTES, Arthur. **Projeto Águas de Reuso:** economia e visão de futuro para os alunos da Escola Politécnica. Disponível em:< <http://www.poli.ufrj.br/noticias/noticias.php?numnews=756>> Acesso em: out. 2017.

REIS, Arieleen; SERBENT, Maria Pilar; RODRIGUES, Eduardo Bello. **Proposta de utilização de wetlands construídos para o tratamento de efluentes da Floresta Nacional de Ibirama/SC**^{2º} Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos – 11 a 13 de Junho de 2015.

RUBIM, Cristiane. **Tratamento de efluentes com Wetlands e jardins filtrantes construídos artificialmente.** Disponível em:<<http://www.incubadora.coppe.ufrj.br/wp-content/Aquafluxus-Revista-TAE.pdf>>. Acesso em: nov. de 2017.

SALATI, Eneas. Utilização de sistemas de *wetlands* construídas para tratamento de águas. **Instituto Terramax.** Consultoria e Projetos Ambientais LTDA – Piracicaba, SP, 04 de abril de 2009.

SALATI, E. Controle de Qualidade da água através de Sistemas de Wetlands Construídos. 2011. 19 . **FBDS** - Fundação Brasileira Para o Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, 2011.

SEZERINO, Pablo Heleno; BENTO, Alessandra Pellizaro, DECEZARO, Samara Terezinha, MAGRI, Maria Elisa; PHILIPPI, Luiz Sérgio. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 20, n. 1, p. 151-158, Mar. 2015

SILVA JÚNIOR, Arício Vieira da; AMORIN, Fausto Rodrigues de. Proposta de implantação de um sistema de tratamento de esgoto na Universidade De Rio Verde. Disponível em:< <http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files>>. Acesso em: out. 2017.

VAZ, A. J. **A Importância da Rede Coletora de Esgoto na Promoção da Qualidade Sócio-Ambiental.** Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/ Procesos ambientales /Impactoambiental/71.pdf>>. Acesso em: out. 2017.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós tratamento de efluentes sanitários:** Wetlands Construídos utilizando brita e bambu como suporte. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.