

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

DENISE DÁVINI OLIVEIRA COSTA

**ESTUDO TEÓRICO SOBRE O USO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
NATURAL PARA REVITALIZAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OURO BRANCO

2018

DENISE DÁVINI OLIVEIRA COSTA

**ESTUDO TEÓRICO SOBRE O USO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
NATURAL PARA REVITAIZAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em
cumprimento às exigências do Curso de
Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos da
Universidade Federal de São João del-Rei

Orientador: Prof. Dr. Boutros Sarrouh

OURO BRANCO

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**ESTUDO TEÓRICO SOBRE O USO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
NATURAL PARA REVITALIZAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA**

DENISE DÁVINI OLIVEIRA COSTA

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Orientador – Prof. Dr. Boutros Sarrouh

Examinador – Prof. Dr. Enio Nazaré de Oliveira Junior

Examinador – Prof. Dr. Edson Romano Nucci

Ouro Branco, **28/06/2018.**

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo teórico a respeito de tecnologias baseadas em soluções naturais (degraus transversais, ilhas flutuantes e filtros orgânicos) para o tratamento de água em rios e lagos. Estas tecnologias possibilitam a sedimentação de sólidos suspensos, degradação da matéria orgânica, absorção e adsorção de substâncias tóxicas, formação de habitats perdidos, entre outros. Propõe-se uma Estação de Tratamento Natural (ETN) para revitalização de corpos d'água unindo essas tecnologias e seus benefícios.

A Estação de Tratamento Natural (ETN) busca a melhoria da qualidade das águas e é apresentada como uma solução sustentável, replicável, de baixo custo, que não utiliza produtos químicos e energia elétrica. Os materiais utilizados no desenvolvimento da ETN são de baixo custo e fácil acesso ou podem ser encontrados na própria natureza, a ETN pode ser utilizada para a revitalização de diferentes corpos d'água, desde que se adeque parâmetros como tipo de vegetação, quantidade e posicionamento das ilhas, para cada situação.

As partes que compõem a ETN são os degraus transversais, que atuam suavizando o fluxo das águas e contribuem para a sedimentação dos sólidos suspensos, diminuição da turbidez e promovem o aumento da biodiversidade, ilhas flutuantes fitorremediadoras e filtros orgânicos que juntos atuam, também, na redução de sólidos suspensos e da turbidez, bem como na redução dos contaminantes orgânicos e inorgânicos e favorecem o restabelecimento da flora e fauna local.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVO	02
3 REVISÃO DA LITERATURA	03
3.1 Degraus transversais	04
3.2 Ilhas flutuantes fitorremediadoras	06
3.2.1 Macrófitas aquáticas	10
3.2.2 Biofilme	12
3.2.2.1 Remoção de material carbonáceo	13
3.2.2.2 Transformações do Nitrogênio	14
3.2.2.3 Transformações do enxofre	15
3.3 Filtros orgânicos	16
4 PROPOSTA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO NATURAL PARA REVITALIZAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA	19
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	28

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história das civilizações, rios e córregos foram determinantes para o estabelecimento de assentamentos humanos. Como fontes de água doce, em condição de potabilidade, supriam diversas necessidades essenciais para a vida cotidiana, para saciar a sede de pessoas e animais, para a pesca e irrigação de alimentos, higiene, disposição e escoamento de resíduos. Mesmo a industrialização não teria sido possível sem uma fonte contínua de água com baixa salinidade e corrosividade. A baixa dinâmica das águas proporcionava um meio de transporte, lazer e recreação para as comunidades que se desenvolviam ao longo dos rios (COSTA, 2011).

Hoje os corpos hídricos e ecossistemas aquáticos tem sofrido pressão crescente devido aos processos de urbanização, que esgotam seus atributos naturais e deixam ambientes completa ou parcialmente descaracterizados, sem condições de continuarem com suas funções ambientais. Exemplos de alguns processos destrutivos são a contaminação da água, a canalização ou retificação da calha de rios, a perda da vegetação ciliar e a ocupação das Áreas de Preservação Permanente – APP, bem como das várzeas e margens de rios.

Grandes rios e lagos encontram-se, hoje, contaminados pelo lançamento dos esgotos, de resíduos industriais e também pelo escoamento superficial da água da chuva, que acaba carregando lixo e outros detritos. Diante disso, cada vez mais, são necessárias soluções eficientes e de baixo custo capazes de revitalizar corpos d'água.

O desenvolvimento deste estudo teórico propõe uma solução baseada em processos naturais de um ecossistema aquático em equilíbrio. Para estabelecer um ambiente saudável a solução baseia-se na natureza, porém, controlando e potencializando os parâmetros de qualidade do local, através de uma Estação de Tratamento Natural (ETN), para acelerar a sua reabilitação. A ETN realiza o tratamento *in situ* e trabalha em duas etapas, a primeira corresponde ao tratamento físico, utilizando degraus transversais, e a segunda à remediação biológica, através de zonas úmidas sobre ilhas flutuantes e filtros orgânicos.

Neste contexto este estudo teórico traz uma revisão de literatura a respeito da implementação de uma Estação de Tratamento Natural para revitalização de corpos d'água.

2 OBJETIVO

Avaliação teórica visando a implementação de uma Estação de Tratamento Natural (ETN) para a revitalização de corpos d'água contaminados, como uma solução sustentável, replicável e de baixo custo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Corpos d'água envolvem muito mais que água, são espaços vitais para muitas espécies da flora e fauna e permitem múltiplos aproveitamentos pelo homem além da dependência biológica, como para a geração de energia, sua locomoção, seus processos produtivos e o lazer (ALENCAR, 2017).

A água é um indicativo de qualidade de vida, para isso, é indispensável que as fontes de água sejam vistas e tratadas com mais cuidado, no entanto o que se vê na prática não traduz a importância desse recurso e o acesso à água potável não é uma realidade em todo o mundo (ALENCAR, 2017). O estado em que se encontram muitos rios é alarmante, há um crescente aumento das indústrias despejando poluentes nos cursos d'água, aumento da população despejando esgoto diretamente nas águas sem tratamento algum, uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes que são arrastados por meio da chuva para dentro de rios e córregos, desmatamento da mata ciliar causando assoreamento dos rios e consequentes danos à fauna e flora, má gestão e mau uso dos recursos hídricos (SILVA et al., 2016). Estes são os maiores contribuintes para a degradação dos rios de acordo com a Comissão Mundial de Águas.

Muito se fala, atualmente, da necessidade de revitalizar, preservar e conservar nossos corpos d'água. Revitalização passou a ser assunto recorrente na mídia, sobretudo depois da transposição de águas do Rio São Francisco para o chamado Nordeste Setentrional. Cada um usa esta palavra-chave de acordo com seus interesses. A palavra “revitalizar” não significa literalmente “devolver a vida perdida”, já que isso seria impossível, mas estabelece metas de recuperar a vitalidade e revigorar, dentro do possível, usando todas as tecnologias disponíveis, viáveis e que não causem impactos secundários ao ambiente (ZELLHUBER; SIQUEIRA).

No Brasil, o movimento de revitalização de rios e córregos inicia-se lentamente, mas vem se disseminando pelo país, em iniciativas difusas e distintas. Infelizmente, essas iniciativas contam com poucas diretrizes técnicas, ecológicas ou legais sistematizadas e oficiais que orientem os procedimentos utilizados. Dificultando assim a sua avaliação e uma auditoria dos resultados do pesado investimento de recursos necessários para recuperar uma área degradada, e também proporcionando pouco

conhecimento e aprendizado para iniciativas futuras (FRISCHENBRUDER; PELLEGRINO, 2006; TÂNGARI et al., 2007).

Segundo Grant (2008), nos Estados Unidos, investe-se 1 bilhão de dólares por ano apenas no setor de restauração de rios, sem haver uma clara avaliação e comprovação da relação custo-benefício desse uso de verbas públicas e privadas. Muitas vezes também, o próprio objetivo final de projetos chamados de revitalização ou renaturalização não é claro, realizando-se procedimentos desconectados, ainda que adequados isoladamente, mas que não fazem parte de um processo mais amplo de restauração do ambiente natural e integração à paisagem mais ampla.

Alguns procedimentos utilizados na revitalização de corpos d'água são a aplicação de técnicas da bioengenharia, aplicação isolada de ilhas fitorremediadoras em alguns pontos, recuperação das zonas úmidas, desvios do curso, ou parte de sua vazão, para passagem da água em estações de tratamento, injeção de oxigênio no corpo d'água, viabilizando o desenvolvimento de microrganismos, e o tratamento dos resíduos tóxicos antes de serem despejados nos cursos d'água. Porém algumas dessas técnicas apresentam alto custo, levam muito tempo para apresentar resultados satisfatórios e demandam alta capacidade técnica.

Tendo isso em vista, o conceito da ETN apresenta uma alternativa promissora, pois seus processos são naturais, não causando impacto negativo ao ambiente. É uma solução de baixo custo, que se integra ao ambiente onde é implantada e não necessita de profissionais altamente qualificados para sua operação e manutenção. A ETN é composta pelo conjunto de 3 tecnologias que já são aplicadas e apresentam eficiência comprovada, são elas os degraus transversais, ilhas flutuantes fitorremediadoras e filtros orgânicos.

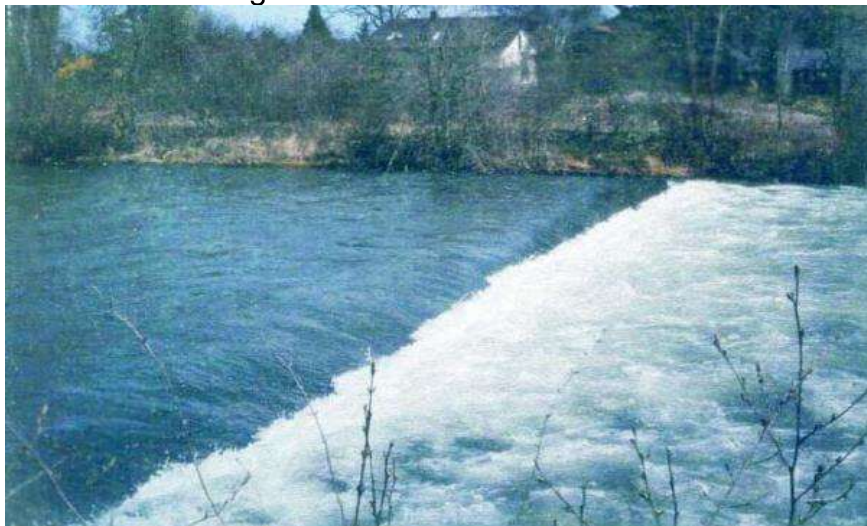
3.1 Degraus transversais

O tratamento físico dos corpos d'água, necessita de um sistema que possa suavizar o fluxo das águas, contribuir para sedimentação dos sólidos suspensos, diminuir a turbidez e promover aumento da biodiversidade. Para isso é possível a adoção de técnicas de bioengenharia, que atuam melhorando a velocidade da correnteza com a instalação de estruturas que reduzem a velocidade da água e

permitem a colonização de organismos aquáticos através da criação de novos micro habitats (ALENCAR, 2017).

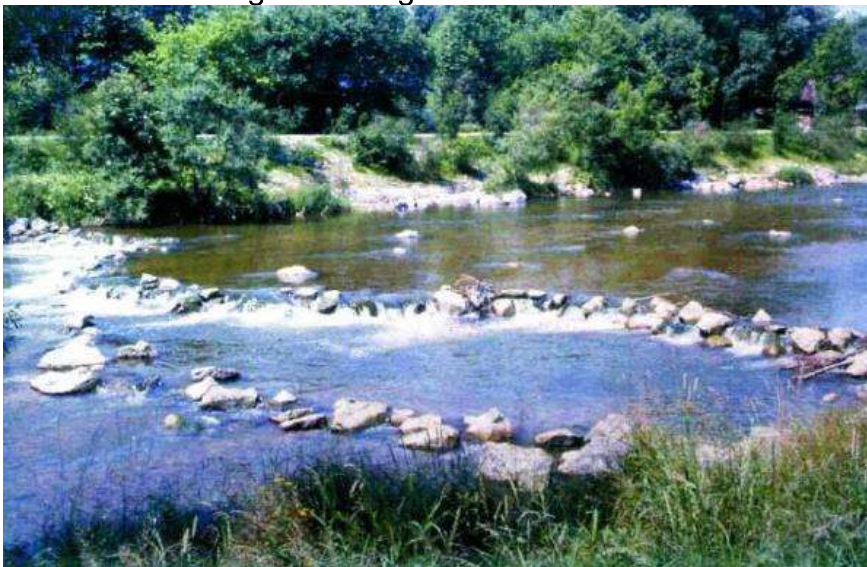
Uma das técnicas utilizadas na bioengenharia para isso são os degraus transversais. Estes surgiram como promissora alternativa ao uso de vertedouros de concreto (Figura 1), que impossibilitavam o fluxo de espécies migratórias (SELLES, 2001). Os degraus transversais (Figura 2) se tornaram a melhor escolha, por ser uma solução baseada na natureza, que não causa impacto e apresenta baixo custo para implementação.

Figura 1: Vertedor de concreto



Fonte: SELLES (2001)

Figura 2: Degraus transversais



Fonte: SELLES (2001)

O uso de técnicas de bioengenharia torna o processo de recomposição do ecossistema mais natural e de forma mais integrada ao meio, além de possibilitar o desenvolvimento imediato de nichos ecológicos e ter mínima interferência nos corpos d'água (COSTA, 2011). Estas técnicas são antigas e foram originadas nas civilizações sumária e romana. É possível encontrar registros dessas técnicas na China desde o século XIX, onde gravetos eram usados para estabilizar margens, e em países europeus a mais de cento e cinquenta anos. Nos Estados Unidos, tais medidas tiveram expansão a partir dos anos trinta (HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 2017).

Quando o uso da bioengenharia se restringe a cursos de água, pode ser chamada de manejo biotécnico de cursos de água, onde busca-se tirar proveito de materiais inertes e vivos para conseguir a estabilização ou recuperação das áreas tratadas, mas sem deixar de lado aspectos ecológicos, paisagísticos e econômicos envolvidos (DURLO; SUTILI, 2012). As obras de bioengenharia devem ser simples e de baixo custo possibilitando a utilização da mão-de-obra local na construção e instalação das estruturas, proporcionando assim um benefício social as comunidades da região (COSTA, 2011).

Os materiais utilizados para instalação desse sistema são incorporados ao ecossistema possibilitando crescimento de vegetação, abrigo e alimentação para a fauna (COSTA, 2011). O sistema pode ser construído utilizando pedras, troncos, árvores ou gabião, tais materiais devem ser escolhidos com base em suas características técnicas, facilidade de aquisição, abundância na região e em função do custo.

Através dos degraus transversais é possível obter redução na velocidade da água, sedimentação dos sólidos suspensos (DURLO; SUTILI, 2012), diminuição da erosão das margens (Maryland Department of the Environment, 2000), alterações no fluxo das águas que levam a formação de piscinas possibilitando o desenvolvimento de habitats aquáticos, além de aumentar a oxigenação, reter sedimentos e melhorar condições para o fluxo migratório das espécies de animais e a colonização da vegetação nativa (ROSGEN, 2006).

3.2 Ilhas flutuantes fitorremediadoras

As ilhas flutuantes são sistemas que imitam zonas úmidas e a forma como estas tratam e purificam a água, além de proporcionar beleza paisagística ao ambiente aquático. As zonas úmidas, são áreas de pântanos, charcos, brejos, turfas ou várzeas de rios, biomas de transição entre ambientes aquáticos e terrestres, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, onde inúmeros agentes como animais, plantas e solo, promovem a ciclagem e retenção de nutrientes continuamente (LOHMANN, 2011).

Essas áreas abrigam uma enorme variedade de espécies endêmicas, mas também, periodicamente, espécies terrestres e de águas profundas e, portanto, contribuem substancialmente para a biodiversidade ambiental.

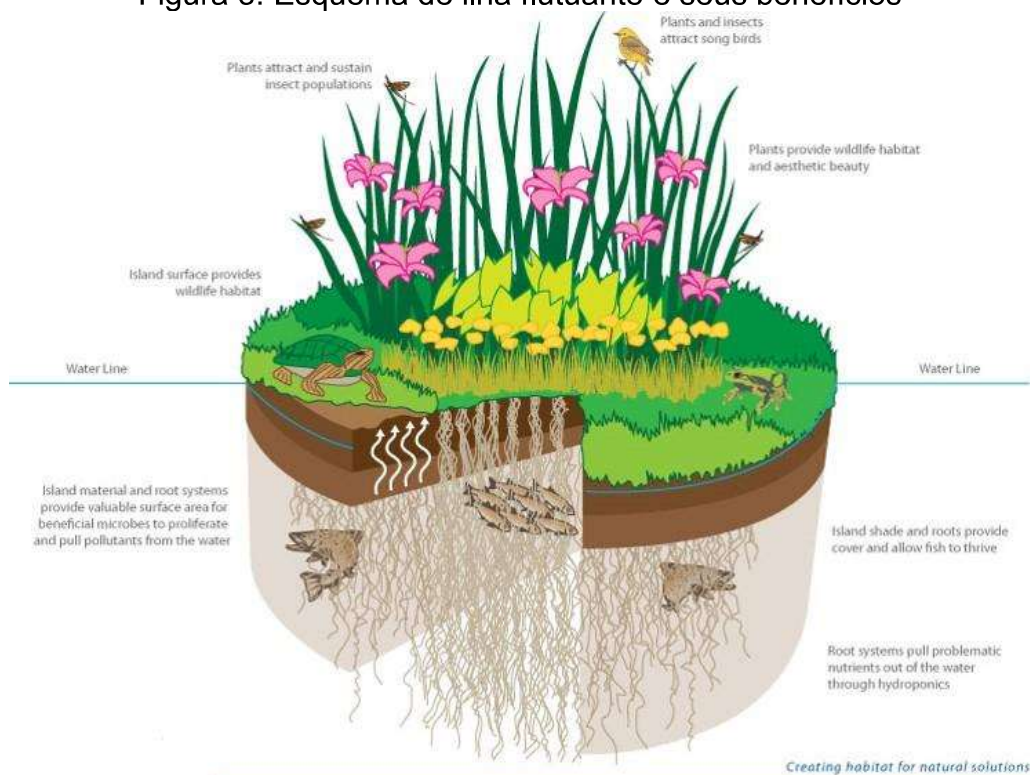
O uso de tecnologias que recriam zonas úmidas, vem tendo grande desenvolvimento, repercussão e receptividade, uma vez que o sistema se baseia em processos naturais, melhoram a qualidade da água, apresentam baixo custo e alta eficiência. Estes ambientes são formados basicamente por 4 elementos: água, substrato, estrutura vegetal e microrganismos.

As ilhas flutuantes são formadas por estruturas modulares que apresentam características como flutuabilidade, durabilidade, flexibilidade, fácil instalação e acessibilidade. Esta estrutura pode ser complementada, ou não, por um meio de plantio para o crescimento das plantas (SMITH; KALIN, 2000). Nas ilhas são fixadas uma série de plantas nativas escolhidas para criar um habitat para a fauna selvagem e enriquecer a biodiversidade aquática. Com o crescimento da vegetação, as raízes submersas se tornam uma superfície atraente para os microrganismos, que depuram a água através da decomposição, absorção e transformação metabólica de nutrientes e outros contaminantes (Somos Verdes, 2018). Essa área de superfície das raízes também ativa processos físicos como filtração e aprisionamento.

As ilhas flutuantes proporcionam diversos benefícios para o meio onde são instaladas através de seus componentes, como é possível observar na Figura 3. As plantas e a superfície da ilha fornecem habitat para a vida selvagem e beleza paisagística para o meio, as plantas também atraem e sustentam populações de insetos e pássaros. O material da ilha e os sistemas radiculares fornecem uma área superficial ideal para o desenvolvimento de microrganismos benéficos com

capacidade para degradar poluentes presentes na água, os sistemas radiculares também extraem da água nutrientes através da absorção e os utilizam para suprir suas demandas nutricionais. As sombras e raízes da ilha fornecem cobertura e propiciam a reprodução de peixes, sendo um excelente local para desova e obtenção de alimento (BIOHAVEN® FLOATING ISLAND, 2018).

Figura 3: Esquema de ilha flutuante e seus benefícios



Fonte: BIOHAVEN® FLOATING ISLAND.

Os sistemas de ilhas flutuantes desenvolvidos ao redor do mundo apresentam bom desempenho na remoção de sólidos suspensos (SS), Nitrogênio (N), Fósforo (P), redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), da demanda química de oxigênio (DQO) e alguns metais, além da criação de novos ambientes aquáticos (HEADLEY; TANNER, 2006).

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 são apresentados alguns exemplos de ilhas flutuantes instaladas em diferentes países.

Figura 4: Canal Paco em Manila, Filipinas



Fonte: <https://www.greenme.com.br>

Figura 5: Arroio Dilúvio em Porto Alegre, Brasil



Fonte: <https://ecotelhado.com>

Figura 6: Canal Urbano em Lincoln, Reino Unido



Fonte: <https://www.archdaily.com.br>

Figura 7: Canal de Gowanus em Nova York, Estados Unidos



Fonte: <http://ciclovivo.com.br>

3.2.1 Macrófitas aquáticas

A escolha das espécies vegetais usadas nas ilhas flutuantes é fundamental para a obtenção de bons resultados nesses sistemas de fitodepuração. Elas devem apresentar alta capacidade de absorver nutrientes. As espécies mais adequadas são as macrófitas, plantas aquáticas que crescem em zonas úmidas, lagos rasos e riachos, e podem ser emergentes, submersas ou flutuantes. É recomendado que sejam utilizadas espécies nativas, que apresentem bom crescimento em águas poluídas em condições climáticas locais (HEADLEY; TANNER, 2006).

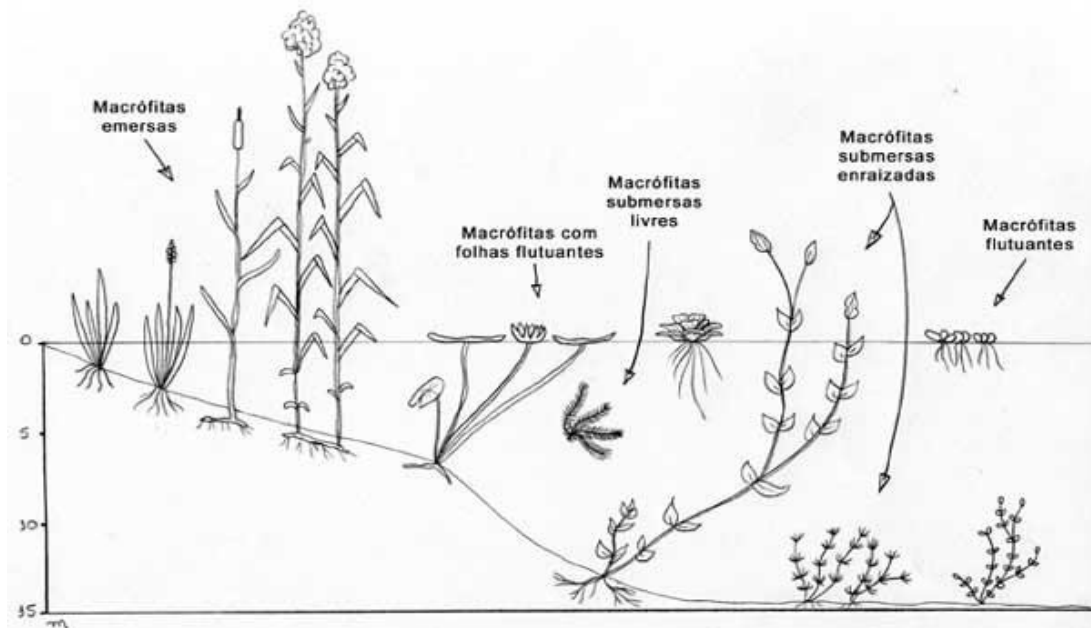
As macrófitas aquáticas constituem um importante componente dos corpos d'água, pois, além de contribuírem para a estruturação do espaço físico proporcionando locais de reprodução e refúgio para diversos organismos, interfere na ciclagem de nutrientes e participa da base das teias alimentares como importante produtora dentro do ecossistema aquático.

Em todo o mundo as macrófitas vem desempenhando papel de “engenheiros biológicos” na restauração da qualidade de ecossistemas aquáticos. Assim, houve um aumento na utilização de várias espécies de macrófitas utilizadas na fitorremediação e como técnica alternativa para o tratamento de efluentes domésticos e industriais (CHAMBERS et al., 2008).

Nesses sistemas de tratamento há uma grande geração de biomassa vegetal, pois para otimizar a remoção de nutrientes as macrófitas precisam ser retiradas periodicamente. Tendo isso em vista, alternativas de aproveitamento dessa biomassa excedente podem ser implementadas, como na produção de papel e biogás, na alimentação de animais, na fertilização de solos (EL-SAYED, 1999) e até mesmo na fertilização de águas e fonte alternativa de proteína na criação de peixes (SANTIAGO et al., 1998).

Os principais grupos de macrófitas estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8: Macrófitas aquáticas



Fonte: http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html

As macrófitas aquáticas promovem a fitorremediação das águas através dos mecanismos de fitoacumulação, fitodegradação, rizodegradação, fitoestabilização, fitovolatilização, rizofiltração.

- a) Fitoacumulação é a retirada de um contaminante da água pela planta, onde este contaminante é deslocado para raízes, caule e folhas, resultando em acumulação na planta (USEPA, 2000; ITRC, 2001).
- b) Fitodegradação é a quebra de contaminantes, em sua maioria orgânicos, capturados através de produtos metabólicos, ou externamente à planta, através do efeito de compostos produzidos e excretados pelas plantas. A captura e o metabolismo vegetal são os principais mecanismos envolvidos neste processo. Os subprodutos gerados pela degradação na planta são armazenados em vacúolos ou incorporados ao tecido vegetal (USEPA, 2000; ITRC, 2001).
- c) Rizodegradação é a quebra de contaminantes orgânicos através da atividade de microrganismos, que é aumentada pela presença da zona de raízes. A atividade microbiológica na zona de raízes pode ser aumentada devido à presença de exsudatos como: açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, fatores de crescimento, enzimas e outros (USEPA, 2000).

- d) Fitoestabilização é a imobilização de um contaminante através de absorção e acumulação, adsorção ou precipitação na zona de raízes. O processo acontece pela microbiologia e química da zona de raízes e/ou das características da água e do contaminante (USEPA, 2000).
- e) Fitovolatilização é a capacidade que a planta tem de absorver e transpirar grandes volumes de água, e pode ser empregada para o controle da dispersão ou remoção de um poluente da água. Durante a transpiração as plantas convertem o contaminante a formas voláteis, removendo-o da água. Nesta rota o composto pode ser convertido em formas menos tóxicas pela ação de enzimas vegetais (USEPA, 2000; ITRC, 2001).
- f) Rizofiltração é a condução da água contaminada por leitos plantados com espécies específicas. Nestes sistemas ocorre a adsorção, absorção ou precipitação nas raízes de contaminantes que estão solubilizados na rizosfera, por processos bióticos e abióticos. Dependendo do contaminante pode ocorrer absorção, concentração e translocação no vegetal e exudatos vegetais podem promover a precipitação de metais. O primeiro resultado da rizofiltração é a contenção do poluente, imobilizados ou acumulados na planta. Em seguida, as plantas são removidas fisicamente do sistema e uma nova série de plantas é replantada (USEPA, 2000, ITRC; 2001).

3.2.2 Biofilme

Biofilmes têm sido utilizados no tratamento de água por mais de um século. Porém, somente no início dos anos 80, as vantagens deste tipo de bioprocessos tornaram-se foco de interesse para os pesquisadores, não só no tratamento de efluentes, mas também em muitas áreas da biotecnologia. Um grande número de projetos de pesquisa vem sendo conduzidos em reatores com biofilme para a produção de substâncias bioativas, para cultura de células animais e vegetais, produção de água potável e no tratamento de efluentes (AZEVEDO, 2008).

A definição mais usual de biofilme é o de uma matriz polimérica de aspecto gelatinoso, aderida a uma superfície, quase sempre imersa em meio líquido, constituída essencialmente por microrganismos, pelas substâncias extracelulares que esses excretam e por água (BRANDA et al., 2005). Os biofilmes também são

conhecidos como “filmes microbianos”, “depósitos biológicos”, “limo” entre outros. A água é o seu maior constituinte variando de 70 a 95% da sua massa total (FLEMMING, 1993).

As partes das macrófitas que ficam submersas na água (parte dos caules, raízes e rizomas) desempenham várias funções, onde provavelmente, as mais importantes são servir de suporte para a fixação do biofilme e fornecer oxigênio ao sistema de forma a promover a biodegradação (De VOS, 1997).

Os microrganismos, associados ao sistema ilhas flutuantes/macrófitas aquáticas, são capazes de usar os constituintes das águas contaminadas para seu crescimento e reprodução. Ao usar estes constituintes, os microrganismos mediam transformações químicas, físicas e biológicas e modificam a qualidade da água (MANSOR, 1998).

As bactérias são os microrganismos mais importantes na decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes (SPERLING, 1996), elas fixam-se nas raízes das plantas, onde recebem oxigênio e nitrogênio conduzidos pelas plantas do caule até as raízes, por meio dos aerênquimas. Em troca, as bactérias decompõem a matéria orgânica, transformando-a em nutrientes que são repassados às plantas (KAICK, 2002).

A caracterização dos microrganismos presentes e a determinação de grupos predominantes pode-se tornar uma ferramenta para a avaliação do sistema. Identificar grupos predominantes, como as bactérias heterotróficas, auxiliam na verificação da dinâmica de remoção de matéria orgânica e nutrientes no sistema de forma a atender os padrões exigidos.

Estes microrganismos são fundamentais para os aspectos biogeoquímicos que envolvem a ETN. Os principais ciclos biogeoquímicos envolvidos são relativos aos principais elementos que permitem ao sistema sua funcionalidade quanto à depuração do efluente.

3.2.2.1 Remoção de material carbonáceo

O ciclo do carbono dentro da ETN funciona, de forma genérica, através da utilização das formas de carbono orgânico como fonte de energia para os

microrganismos heterotróficos. De forma geral, o material orgânico é degradado nos processos aeróbios através de microrganismos aderidos as raízes da vegetação (PHILIPPI; SEVERINO, 2004).

Em estudo utilizando bactérias heterotróficas Silva, Bernardes e Ramos (2015) obtiveram eficiência média de remoção da matéria orgânica de 97% a 99% de um efluente de esgoto com tratamento prévio, a partir do processo de mineralização pelos microrganismos decompositores. Sendo a concentração de DBO no efluente comparável a estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05.

Já Sezerino, Oliyk, Kossatz (2007) apresentam reduções que variam de 57% a 97% na DBO, em cinco estações de tratamentos diferentes, onde utilizou-se zona de raízes. A diferença dos valores se justifica pela utilização de diferentes tipos de macrófitas, que apresentam influência sobre os microrganismos que irão compor o biofilme.

3.2.2.2 Transformações do Nitrogênio

O nitrogênio, em sistemas de raízes, encontra-se nas formas orgânicas e inorgânicas e as proporções destes são baseadas no tipo de efluente que passa pelo sistema (REDDY, 2000). A remoção do nitrogênio é realizada por intermédio de bactérias, necessitando de diferentes espécies e metabolismos anaeróbio, aeróbio e anóxico. O ciclo do nitrogênio é dividido em três fases principais: amonificação, nitrificação e desnitrificação.

O ciclo inicia-se com a amonificação, onde o N-orgânico é convertido em N-inorgânico através de hidrólise de proteínas e a oxidação de aminoácidos, resultando na produção de amônia, que é realizada por todos os organismos (RICKLEFS, 1996).

A nitrificação consiste na oxidação do nitrogênio. Primeiro a amônia é oxidada em nitrito em seguida o nitrito é oxidado formando nitrato. Esse processo ocorre através de bactérias específicas e em condições aeróbias. A oxidação do N-amoniacal para nitrito se dá através da *Nitrosomonas*, e a oxidação do nitrito a nitrato se dá através da *Nitrobacter* (RICKLEFS, 1996; PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

A desnitrificação ocorre também por processos biológicos, mediante bactérias quimioheterotróficas em ambiente anaeróbio (MONTEIRO, 2009). Uma das principais

bactérias responsáveis por esse processo é a *Pseudomonas denitrificans* (RICKLEFS, 1996). As bactérias desnitrificantes desenvolvem um importante papel em sistemas que tratam água. Elas são heterotróficas facultativas e promovem a remoção do nitrogênio por meio da redução do nitrato ou nitrito a nitrogênio gasoso, assim, melhoram a qualidade do corpo d'água eliminando o agente causador da eutrofização (MENDONÇA, 2002).

Ash e Truong (2003), utilizando tanques plantados para o tratamento de esgoto em Queensland, Austrália, observaram uma eficiência de 99% na remoção do nitrogênio amoniacal. Na mesma cidade, utilizando-se também tanques plantados para tratar o esgoto gerado em um pequeno aeródromo, o autor chegou a observar remoção de 99,7% do nitrogênio amoniacal (Truong, 2001).

Ucker, Almeida e Kemerich (2012) conseguiram demonstrar remoção de até 93,9% de nitrogênio em sistemas de tratamento do tipo zona de raízes. De acordo com Abrantes (2009) e Mendonça (2010), a eficiência na remoção de nitrogênio pode ser explicada pela transferência de oxigênio da atmosfera para o tratamento através das raízes das plantas, sendo o oxigênio utilizado pelas bactérias nitrificantes para oxidar o nitrogênio amoniacal durante a nitrificação.

3.2.2.3 Transformações do enxofre

O enxofre tem vários estados de oxidação, isso implica não só na forma como será assimilado pelas plantas como também na interferência deste em outros ciclos de nutrientes (RICKLEFS, 1996). A forma mais oxidada do enxofre é o sulfato; as mais reduzidas são os sulfetos e a forma orgânica (que seriam os tióis). As bactérias redutoras de sulfato são microrganismos quimiolitotróficos e obtêm energia a partir da oxidação de compostos inorgânicos reduzindo íons sulfato a sulfeto (HEGGENDORN, et al., 2009). Estas bactérias utilizam o sulfato como aceptor final de elétrons em um processo que envolve a incorporação de enxofre na proteína celular, este posteriormente é degradado nas atividades metabólicas (POSTGATE, 1965).

A principal rota de remoção do enxofre em ambientes aquáticos ou alagados é por meio da redução biológica do sulfato a sulfeto (GIBSON, 1990). O tratamento biológico de efluente com bactérias redutoras de sulfato permite a redução dos valores

de sulfato para limites inferiores aos observados nos processos de tratamento químico.

Utilizando o esgoto como fonte de carbono e bactérias redutoras de sulfato como agente biológico Oliveira, Mello e Masson obtiveram uma remoção de 31,2% na concentração inicial de sulfato. Durante a atividade das bactérias redutoras de sulfato os autores observaram também remoção de carga orgânica, uma redução de 26,4% no valor da DQO inicial, pois durante o processo os microrganismos necessitam consumir quantidades substanciais de matéria orgânica, que é convertida a CO₂.

Pinheiro, Gaidzinski e Souza (2008) demonstraram um processo, em três fases, de bioativação das bactérias redutoras de sulfato de um efluente, obtendo reduções médias de sulfato de 81%, 39% e 22%. Sendo esta redução na remoção causada pela substituição gradual do lactato de sódio por dejetos suínos como fonte de carbono.

3.3 Filtros orgânicos

O uso de material filtrante alternativo, oriundo de atividades agropecuárias, tem sido muito visado devido a sua abundância, baixo custo de aquisição e possibilidade de ser utilizado como adubo orgânico após sua utilização (MATOS, 2008). Dentre os resíduos que podem ser utilizados como filtros orgânicos estão o bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira, casca de arroz, triturado de sabugo de milho e fibra de coco verde (figura 9).

O uso de filtros orgânicos tem sido recomendado para que se promova a redução na concentração de sólidos suspensos nas águas residuárias. A ação mecânica de eliminação de sólidos suspensos por filtração está baseada no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas de dimensões menores do que as dos poros da camada filtrante (MAGALHÃES, 2002).

Cerca de 70% do lixo gerado no litoral dos grandes centros urbanos do Brasil é composto por casca de coco verde, material de difícil degradação e que, além de foco e proliferação de doenças, vem diminuindo a vida útil de aterros sanitários. Como a diminuição da geração desse resíduo implicaria na redução da atividade produtiva associada, o seu aproveitamento se torna uma necessidade. A utilização da casca do coco verde, resíduo industrial ou lixo urbano da orla marítima, poderia se tornar uma

atividade viável, gerando mais uma alternativa de lucro junto aos sítios de produção (PINTO, 2003).

Figura 9: Substrato de fibra de coco



Fonte: www.flickr.com

A fibra de coco verde, além de ser utilizada como meio filtrante, também desempenha importante papel como suporte para a formação do biofilme e como material bioissorvente. A bioissorção é uma técnica que remove espécies, compostos e particulados metálicos de uma solução através de material biológico (bioissorventes). Esta remoção precisa ser desprovida da ação do metabolismo do bioissorvente, do contrário seria melhor denominada “bioacumulação” (CALFA; TOREM, 2007).

Muitos estudos vêm sendo feitos acerca da utilização da casca de coco verde como sorvente para metais. Esse material apresenta grande potencial devido ao seu elevado teor de matéria orgânica composta, principalmente, por lignina (de 35 a 45%) e celulose (de 23 a 43%). A celulose e a lignina são biopolímeros reconhecidamente associados à remoção de metais pesados. A capacidade de remoção de metais pelas fibras de coco depende da composição química da sua superfície, onde grupos funcionais ativos são responsáveis pela sorção. Grupos funcionais tais como, carboxila, hidroxila, carbonila entre outros, presentes na casca de coco, facilitam a adsorção de metais pesados. A morfologia porosa da casca de coco facilita a remoção dos metais em solução devido à sua superfície irregular permitindo a adsorção dos metais nas diferentes partes do material (PINO, 2006).

A potencialidade do uso da casca de coco verde, que apresenta uma elevada capacidade de retenção de umidade e alta porosidade como suporte para biofilmes torna-se também uma alternativa viável e atrativa para se aliar a aplicação de um resíduo sólido bem abundante no Brasil ao tratamento de efluentes industriais ou sanitários (PINTO, 2003).

4 PROPOSTA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO NATURAL PARA REVITALIZAÇÃO DE CORPOS D'ÁGUA

Tendo como base conhecimentos da biotecnologia e engenharias a proposta é buscar uma solução inovadora, replicável, de alta eficiência e baixo custo, que não utiliza produtos químicos, nem energia elétrica, e seja baseada em processos naturais de um ecossistema em equilíbrio.

A Estação de Tratamento Natural (ETN) tem o objetivo de recriar um ecossistema ideal, onde ocorrem processos físicos, químicos e biológicos de forma natural. Através da ETN é possível controlar e potencializar parâmetros de qualidade do local, acelerando, assim, o processo de revitalização dos corpos d'água.

A ETN realiza o tratamento *in situ* e tem o processo dividido em duas etapas, a primeira corresponde ao tratamento físico, que utiliza degraus transversais, e a segunda a remediação biológica, feita através de ilhas flutuantes fitorremediadoras e filtros orgânicos.

As figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16, apresentadas na sequência, foram obtidas utilizando os softwares Sketchup e Lumion, softwares CAD para o desenvolvimento de projetos e softwares para modelagem de produtos.

Nas Figuras 10 e 11 são mostrados os degraus transversais, uma técnica muito utilizada na revitalização de rios, este sistema é proposto para suavizar a velocidade do fluxo das águas, e assim, potencializar a eficiência das ilhas flutuantes e filtros orgânicos.

Este sistema de degraus transversais também irá contribuir para a sedimentação dos sólidos suspensos e diminuição da turbidez. O sistema será construído utilizando pedras e troncos de árvore, materiais que podem ser encontrados na própria região. O uso dos degraus transversais não trará prejuízo para a biota do sistema aquático e com o tempo passará a fazer parte do ambiente recriando habitats antes perdidos.

Figura 10: Degraus transversais laterais utilizando troncos e pedras



Fonte: Próprio autor.

Figura 11: Degraus transversais utilizando enrocamento de pedras



Fonte: Próprio autor.

A técnica dos degraus transversais foi aplicada em um rio de Maryland, nos Estados Unidos, onde estavam ocorrendo problemas com excesso de sedimentos, devido a erosão da margem, e diminuição de peixes. Para a restauração foram utilizados materiais nativos como toras de madeira, pedras e estacas, sendo possível restaurar o habitat de peixes e conter a erosão da margem (ROSGEN, 1997).

Outro caso bem-sucedido de aplicação da técnica ocorreu na Califórnia, nos Estados Unidos, onde foram utilizadas rochas para conter sedimentos e restaurar o habitat perdido (ROSGEN, 1997).

As ilhas flutuantes, apresentadas nas Figuras 12 e 13, trarão de volta os benefícios das zonas úmidas perdidas no processo de degradação. Nas ilhas flutuantes serão utilizadas macrófitas aquáticas, visando o seu potencial fitorremediador. As macrófitas empregadas no sistema são selecionadas levando em

consideração as espécies de plantas nativas da região e propriedades físico-químicas da água a ser tratada, além de considerar o paisagismo local. As ilhas podem ficar ancoradas no meio ou fixadas as margens dos corpos d'água, dependendo de suas características.

O uso de macrófitas aquáticas terá papel fundamental na reciclagem de nutrientes, na adsorção e absorção de substâncias tóxicas dos ambientes a serem tratados. Adicionalmente, o sistema radicular dessas plantas contribuirá para diminuir a turbidez da água através de um processo de filtração dos sólidos suspensos. Por outro lado, o material adsorvido nas raízes pode proporcionar um excelente habitat para o desenvolvimento de microrganismos que decompõem a matéria orgânica. Em consequência, produtos mineralizados neste processo podem ser absorvidos pelas plantas para suprir suas demandas nutricionais, extinguindo completamente tais substâncias do ambiente por um processo natural e não invasivo.

Os tratamentos utilizando macrófitas aquáticas se mostram bastante promissores segundo Henry-Silva e Camargo (2006), e vêm sendo utilizados com êxito no tratamento de efluentes urbanos. Os autores avaliaram a eficiência de sistemas compostos de duas espécies de macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) no tratamento de efluentes gerados por um viveiro de manutenção de reprodutores de camarões canela. Em outro trabalho de Henry-Silva e Camargo (2008), os autores mostraram a remoção de nutrientes pelas macrófitas utilizadas em outros tratamentos, foram constatados valores de remoção para o fósforo total de 71,6% por *E. crassipes*, 69,9% por *P. stratiotes* e 72,5% por *E. crassipes* + *P. stratiotes*. Entre as formas nitrogenadas foram verificadas remoções para N-nitrito de 54,3% por *E. crassipes*, 54,5% por *P. stratiotes* e 51,1% por *E. crassipes* + *P. stratiotes*.

Redding et al. (1997), que avaliaram o tratamento de efluentes de piscicultura utilizando macrófitas aquáticas de diferentes grupos ecológicos, constataram que elevadas concentrações de N-amoniaco ($0,2 - 4,3 \text{ mg L}^{-1}$) e N-nitrato ($1,2 - 11,7 \text{ mg L}^{-1}$), reduziram formas nitrogenadas, respectivamente, de 4,3 e 3,3% por *Azolla filiculoides* (flutuante), 8,2 e 5,9% por *Elodea nuttalli* e 10,7 e 15,4% por *Rorippa asturtiumaquaticum*.

Henry-Silva e Camargo (2008) destacaram ainda a eficiência dos sistemas com *E. crassipes* e *P. stratiotes* na redução da turbidez, que pode ser atribuída principalmente ao grande desenvolvimento radicular dessas duas espécies e à pouca profundidade, que, provavelmente, criaram condições favoráveis para a adsorção e precipitação do material particulado em suspensão.

O crescimento e desenvolvimento de microrganismos, favorecido pela instalação do sistema ilhas flutuantes e macrófitas, terá um papel crucial na degradação dos poluentes orgânicos, na ativação de processos biogeoquímicos e atuação sobre outros microrganismos presentes nas águas.

Figura 12: Ilha flutuante e ilha flutuante com vegetação



Fonte: Próprio autor.

Figura 13: Ilhas flutuantes com vegetação no corpo d'água



Fonte: Próprio autor.

Existem vários pesquisadores que estudam as taxas de tratamento que ilhas flutuantes fitorremediadoras podem alcançar. Essas taxas podem variar dependendo de parâmetros como os tipos e níveis de poluentes e o volume e fluxo do corpo de água. No entanto todas as pesquisas indicam melhoria significativa na qualidade da água, reduzindo principalmente os níveis de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e metais.

Estudos realizados com a ilha flutuante da empresa Biomatrix mostram o percentual de redução que elas conseguem obter: Sólidos suspensos 55% (KARNCHANAWONG; SANJITT, 1995), Nitrogênio 64% (YANG et al, 2008), Fósforo 90% (LI et al, 2010), Amônia 51% (WU et al, 2006), Cobre 69% (HEADLEY; TANNER, 2007).

A BioHaven Floating Wetland Systems também disponibilizou resultados típicos de taxa de remoção para 92m² de corpo d'água com base em alguns estudos de caso utilizando ilhas de 2,7 m². As taxas de redução foram de 272 kg/ano de nitrogênio total em águas residuais, 227 kg/ano de fósforo total em águas residuais e 16 kg/ano em lagos, 90 kg/ano de DBO em águas residuais e 9 kg/ano em lagos.

Na tabela 1 são apresentadas algumas sugestões de macrófitas para serem utilizadas em uma ETN, estas espécies são nativas da região da Bacia do Rio Doce.

Tabela 1: Sugestões de macrófitas que podem ser utilizadas em ETN para retirada de nutrientes, absorção e adsorção de metais.

Nome popular	Nome científico	Sugestão do Potencial biorremediador	Registro
Alface d'água	<i>Pistia stratiotes</i>	Metais: Cd e Cr (SUÑE et al., 2007). Metais: Mn (Hua et al, 2011)	

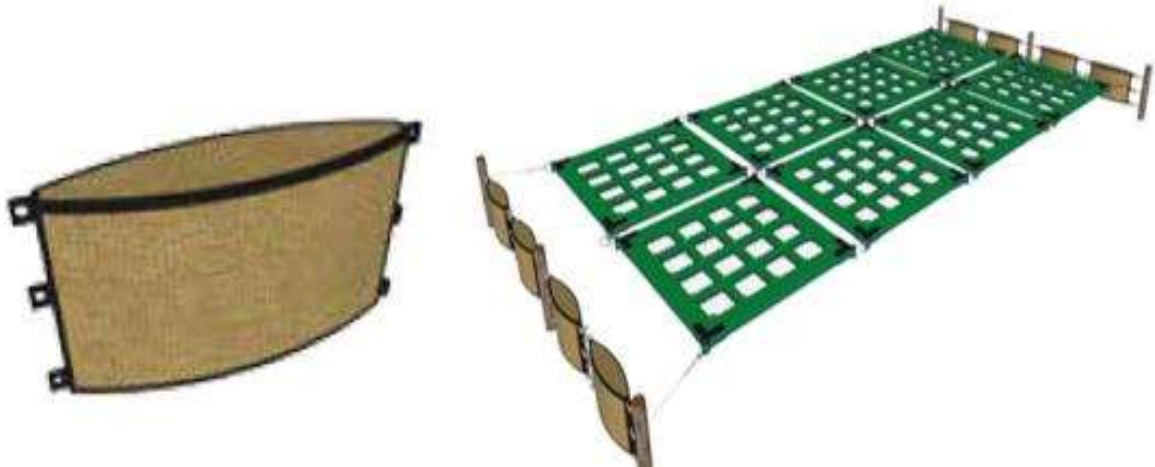
Orelha de onça	<i>Salvinia</i> spp <i>S. auriculata</i> <i>S. biloba</i> <i>S. minima</i>	Metais: Pb e Cd (AMARAL & BITTRICH, 2002).	
Taboa	<i>Thypha</i> spp	Metais: Co e Mn (HUSSAR et al., 2002). Metais: Al (Golet et al., 2005 - <i>Typha latifolia</i>) Metais: Cu, Ni e Zn (Kumar et al, 2008 – <i>T.</i> <i>angustata</i>)	
Aguapé	<i>Eichhornia</i> <i>azurea</i> e <i>azurea</i>	Metais: Hg (LEMOS et al., 1998). Metais: Co, Cu, Ni, Zn (Kumar et al, 2008 – <i>E.</i> <i>crassipes</i>)	

Fonte: Próprio autor.

Em conjunto com as ilhas flutuantes, serão utilizados os filtros orgânicos, como mostrado nas Figuras 14 e 15, compostos por fibra de coco verde. A fibra, atua como um bioissorvente, possibilitando a adsorção de substâncias tóxicas. Além de apresentar elevada capacidade de retenção de umidade e alta porosidade, se tornando excelente suporte para o crescimento e manutenção do biofilme, que será responsável por degradar a matéria orgânica presente no efluente.

Os filtros orgânicos irão formar uma densa rede capaz de reter as mais finas partículas em suspensão, contribuindo assim para a redução da turbidez na água. O uso da fibra de coco se justifica por ser um subproduto abundante, renovável, biodegradável e de baixo custo.

Figura 14: Filtro orgânico e filtros orgânicos em conjunto com ilhas flutuantes



Fonte: Próprio autor.

Figura 15: Ilhas com vegetação em conjunto com filtros orgânicos no corpo d'água



Fonte: Próprio autor.

Azevedo (2008), verificou em seus estudos que o sistema de filtros utilizando fibras de coco verde foi eficiente na remoção de matéria orgânica, os valores médios de concentração obtidos para DBO e DQO estavam dentro do estabelecido pela legislação. Através da microscopia eletrônica de varredura, pode-se também confirmar a formação do biofilme sobre a fibra de coco.

O sistema também mostrou alta remoção de sólidos suspensos, e percentuais de 28% de remoção de Nitrogênio, 58% de remoção de fósforo (LO MONACO et al., 2009). A utilização da fibra de coco apresenta eficiência significativa também na

remoção de metais tóxicos chegando a atingir percentuais de 95% de adsorção de Ni e 98% de adsorção de Pb (SILVA; FERREIRA; LIMA, 2013).

A biomassa gerada pelas plantas aquáticas, utilizadas nas ilhas flutuantes, e pelos filtros orgânicos quando removidos do sistema de tratamento, poderão ser analisados quimicamente em laboratório para quantificar os elementos químicos acumulados (através do processo de digestão ácida). Classificando e excluindo a parte da biomassa com presença de elementos tóxicos, o restante poderá ser utilizado em compostagem e adubação verde.

Na Figura 16 é possível ter uma visão geral da Estação de Tratamento Natural implantada em um curso d'água.

Figura 16: Visão geral da ETN



Fonte: Próprio autor.

O desenvolvimento e aplicação da ETN busca a revitalização de corpos d'água degradados pelo despejo de efluentes domésticos e industriais, pela sedimentação das margens devido a retirada da mata ciliar, e qualquer outro evento que venha a degradar aquele ambiente. As tecnologias que compõem a ETN apresentam eficiência comprovada por estudos acadêmicos e em conjunto apresentam grande potencial em aumentar essa eficiência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por utilizar recursos naturais, renováveis e de baixo custo, além de apresentarem simples operação e manutenção, estes sistemas podem ser indicados para utilização em qualquer tipo de corpo d'água. Desde que tenha alguns parâmetros adaptados ao local, como espécies de plantas e forma de fixação da ilha.

Em vista de sua simplicidade conceitual, facilidade de construção, não utilização de produtos químicos e incorporação harmônica à paisagem a ETN pode ser inserida em rios e lagos para o tratamento de diferentes tipos de contaminações e reparação de danos sem causar interferência negativa ao meio.

Os métodos mais naturais e biológicos de tratamento têm se apresentado como uma alternativa aos tratamentos clássicos que são utilizados hoje. Além de apresentarem menores custos, apresentam alta eficiência de remoção devido a sensibilidade que normalmente apresentam, gerando soluções de qualidade e adequadas para o tratamento de águas.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALENCAR, J. C. **Potencial de corpos d'água em bacias hidrográficas urbanizadas para renaturalização, revitalização e recuperação:** Um estudo da bacia do Jaguaré. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

AMARAL, M. C. E.; BITTRICH, V. Laguinhos. **Mini-ecossistemas para escolas e jardins.** Ribeirão Preto: Ed. Holos. 2002, 89 p.

ASH, R.; TRUONG, P. **The use of vetiver grass for sewerage treatment.** In: SEWAGE MANAGEMENT QEPA CONFERENCE, 5-7 April, 2004.

AZEVEDO, Bianca de Souza Manhães de. **Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para a formação de biofilme visando o tratamento de efluentes.** 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BIOHAVEN® FLOATING ISLAND: 5X5 FOOT. Disponível em: <<http://floatingislandswest.com/ipo500-5-x-5-ft/>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

BRANDA, S.S.; VIK, A.S., FRIEDMAN, L.; KOLTER, R. Biofilms: the matrix revisited, **TRENDS in Microbiology**, v.13, p. 20-26,2005.

CALFA, Bruno Abreu; TOREM, Maurício Leonardo. **Uso de biomassas em processo combinado biossorção/flotação para remoção de metais pesados:** Relatório de atividades do projeto de iniciação científica. Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro: 2004 a 2007. 69 p. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2007/relatorios/dcm/dcm_bruno_alfeu_clfas.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2018.

CHAMBERS, R. M., K. J. HAVENS, S. KILLEEN, AND M. BERMAN. Common reed phragmites australis occurrence and adjacent land use along estuarine shoreline in chesapeake bay. *Bio One*, Washington, v. 29, n. 4, p. 1097-1103, July 2008. Disponível em: <<http://www.bioone.org/doi/abs/10.1672/07-61.1>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

COSTA, Ronaldo Cataldo. **Parques fluviais na revitalização de rios e córregos urbanos**. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.

SILVA, Gabriela Pires da et al. **Ações práticas que objetivam a revitalização de rios**. In: XXI JORNADA DE PESQUISA, 2016, Ijuí. **Ensaio teórico**. 2016.

DE VOS, J. **Secagem e tratamento biológico de lodos em leitos de macrófitas**. Portugal, 1997.

DURLO, Miguel A.; SUTILI, Fabrício J. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água**. 2. ed. Santa Maria: Edição do Autor, 2012.

EL-SAYED, A. F. M. **Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.*** *Aquaculture*, v. 179, p. 149-168, 1999.

FLEMMING, H.C. **Biofilm and Environmental Protection**, *Water Research*. v. 27, p.1-10, 1993.

FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO, P. **Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities**. *Landscape and Urban Planning* Nos. 1-4, Amsterdam: Elsevier, 2006. pp. 67-78.

GRANT, G. E. **A framework for evaluating disciplinary contributions to river restoration**. *Proceedings from the 4 th ECRR Conference on River Restoration*. Veneza, Itália, 16-21 junho, 2008.

Headley, T. R. & C. C. Tanner. **Applications of floating wetlands for enhanced stormwater treatment: a review**. Auckland Regional Council, Technical Publication, Auckland. 2006.

Headley, TR e Tanner, CC, 2007. **Zonas húmidas flutuantes para tratamento de águas pluviais: Remoção de cobre, zinco e partículas finas**. Relatório Técnico ARC 2008-030. Conselho Regional de Auckland, Nova Zelândia.

HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 2017, Vila Real, Portugal. **Reconhecimento das técnicas de bioengenharia passíveis de serem**

aplicadas em cursos de água urbanos, visando a sua renaturalização. São Caetano do Sul: 2017. 9 p.

HEGGENDORN, F. L.; GONÇALVES, L. de S.; LUTTERBACH, M. T. S.; DIAS, E. P. **Processos fisiológicos e patológicos das bactérias redutoras de sulfato do gênero *Desulfovibrio* sp.** Brasília Médica, vol. 3, n. 46, p. 247-252, 2009.

HENRY-SILVA, G.G e CAMARGO, A.F.M. **Composição Química de Macrófitas Aquáticas Flutuantes Utilizadas no Tratamento de Efluentes de Aqüicultura.** Centro de Aqüicultura da UNESP, Fundação Instituto de Terras do Estado de São Paulo – ITESP e Departamento de Ecologia. Rio Claro, SP, 2006.

HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. **Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.2, p.181-188, 2008.

Junk, W.J; Piedade, M.T.F; Lourival, R; Wittmann, F; kandus, P; Lacerda, L.D; Bozelli, R.L; Esteves, F.A; Cunha, C.N; Maltchik, L; Schöngart, J; Schaeffer-Novelli, Y; Agostinho, A.A. 2013. **Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification, for research, sustainable management, and protection.** Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment wetlands.** 2nd. ed. Boca Raton: CRC, 2009.

KAICK, T. S. V. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná.** Curitiba, PR: 2002. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Tecnologia – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002. 116 p.

Karnchanawong, S. e Sanjitt, J., 1995. **Estudo comparativo das eficiências de tratamento de águas residuais domésticas entre a lagoa facultativa e a lagoa de espinafre de água.** Ciência e Tecnologia da Água, Vol 32, pp 263-270.

KUMAR, J.I.N.; SONI, H.; KUMAR, R.N. 2006. Biomonitoring of selected freshwater macrophytes to assess lake heavy metal contamination: a case study of Nal Sarovar Bird Sanctuary, Gujarat, India. **Jornal of Limnology**, 65: 9 16.

Lemos, R.M.A.; Pinto, F.N.; Guimarães, J.R.D.; Bianchini Jr, I.; Forti, M.C. E Lins, A.L.F.A.; Potiguara, R.C.V.; Rosa, N.R.; Ribeiro, I.C. **Macrófitas aquáticas de uma área de Barcarena, Pará, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. V.5, n.2. 134-144p. 1989.

Li, XN, Canção, HL, Li, W., Lu, XW e Nishimura, O. 2010. **Uma planta ecológica de leito flutuante integrada, molusco de água doce e portador de biofilme para a purificação de água eutrófica**. Ecological Engineering, Vol 36, pp 382-390.

LO MONACO, Paola Alfonsa Vieira et al. **Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Viçosa, 2009. 7 p.

ROSGEN, David L. **A geomorphological approach to restoration of incise drivers**. 1997

MAGALHÃES, Marcos Alves de. **Parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. 103 f. Viçosa: UFV, 2002.

MANSOR, M. T. C. **Uso de leito de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. Campinas, SP: 1998. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 1998. 106 p.

Maryland Department of the Environment. **Maryland's Waterway Construction Guidelines**. Water Management Administration, Baltimore, 2000.

MATOS, A.T. **Tratamento de resíduos na pós-colheita do café**. In: BORÉM, F.M. (Ed.). Pós colheita do café. Lavras: Ed. UFLA, 2008. cap. 6, p.159-202.

MENDONÇA, L. C. **Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido**. São Carlos, 2002. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, R. O.; MELLO, M. C.; MASSON, I. O. C. **Uso de bactérias redutoras de sulfato no tratamento de efluentes contendo sulfato e metais.**

PHILIPPI, L. S.; SEVERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** Florianópolis: Editora do autor, 2004.

PINHEIRO, A. C.; GAIDZINSK, R.; SOUZA, V. P. **Utilização de bactérias redutoras de sulfato para o tratamento biológico de efluentes provenientes da indústria de mineração de carvão.** 2008

PINO, G.A.H.; MESQUITA, L.M.S.; TOREM, M.L.; PINTO, G.A.S. Biosorption of cadmium by green coconut shell powder. **Minerals Engineering**, v. 19, p. 380-387, 2006.

PINTO, G.A.S. **Rotas Tecnológicas para o Aproveitamento da Casca de Coco Verde.** EMBRAPA, 2003.

POSTGATE, J. R. **Recent Advances in the study of the sulfate-reducing bactéria.** Bacteriological Reviews, American Society for Microbiology, vol. 29, n. 4, p. 425-441, Dec. 1965. Disponível em <<http://mmbr.asm.org/cgi/reprint/29/4/425.pdf>> Acesso em 10 abr. de 2018.

REDDY, K. R., E. M., D'Angelo and W. G. Harris. Biogeochemistry of wetlands – Handbook of Soil Science. P. 89-119, 2000

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

SANTIAGO, C. B. et al. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry to diets containing Azolla meal. In: INTERNATIONAL. SYMPOSIUM ON TILAPIA IN AQUACULTURE, 2., 1998, Philippines. **Proceedings.** Philippines: 1998. p. 377-382.

SELLES, Ignez Muchelin. **Revitalização de rios:** Orientação Técnica. Rio de Janeiro: Semads, 2001.

SEZERINO, P. H.; OLIJYK, D. P.; KOSSATZ, B. **Eficácia dos tratamentos de esgoto doméstico e de água para o consumo humano utilizando Wetlands considerando períodos diferentes de instalação e de diferentes substratos e plantas utilizadas.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

SILVA, Nathan Alves da; FERREIRA, Deusmaque Carneiro; LIMA, Alexandre de Faria. **Absorção de metais tóxicos pelas fibras de coco *nucifera* L.** Goiânia, 2013.

SILVA, Selma Cristina da; BERNARDES, Ricardo Silveira; RAMOS, Maria Lucrécia Gerosa. **Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído.** 2015. Engenharia Sanitária Ambiental.

Smith, M. P. & M. Kalin. **Floating wetland vegetation covers for suspended solids removal. Treatment wetlands for water quality improvement.** In Proceeding of Quebec 2000 Conference, CH2MHILL, Canadá, 2000.

Somos Verdes. **Ilhas artificiais purificam água de rios e córregos urbanos.** 2016. Disponível em: <<http://somosverdes.com.br/ilhas-artificiais-purificam-agua-de-rios-e-corregos-urbanos/>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

SUÑE, N. et al. **Cadmium and chromium removal kinetics from solution by two aquatic macrophytes.** Environ. Poll., v. 145, p. 467-473, 2007.

TÂNGARI, et al. **Águas Urbanas: uma contribuição para a regeneração ambiental como campo disciplinar integrado.** Rio de Janeiro: Universidade federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2007.

UCKER, F. E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. **Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver.** Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 87-98, 2012

VON SPERLIN, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Princípios do Tratamento Biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 1v.

Wu, QT, Gao, T., Zeng, S. e Chua, H. (2006). **Vala de oxidação Plantz-biofilme para tratamento in situ de águas poluídas.** Ecological Engineering, Vol 28, pp 124-130.

Yang, Z., Zheng, S., Chen, J. e Sun, M. 2008. **Purificação do escoamento agrícola rico em nitratos por um sistema hidropônico.** Bioresource Technology, Vol 99, pp 8049-8053.

ZELLHUBER, Andrea; SIQUEIRA, Ruben. **Rio São Francisco em descaminho: Degradação e revitalização.**