

# Jardins Filtradores

## Saneamento Ecológico

## Wetlands Construídos



[WWW.AMBIENTALDATERRA.COM.BR](http://WWW.AMBIENTALDATERRA.COM.BR)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ÁGUAS E SANEAMENTO</b> .....	<b>7</b>
2.1	TRATAMENTO DE ESGOTO .....	8
2.1.1	<i>Wetlands Construídos e Tratamento de Esgoto Descentralizado</i> .....	8
2.2	SERVIÇOS ECOLÓGICOS E SISTEMAS NATURAIS DE DEPURAÇÃO .....	12
2.3	PRINCÍPIOS DOS WETLANDS CONSTRUÍDOS.....	15
2.3.1	<i>Caracterização dos Wetlands Construídos</i> .....	17
2.3.2	<i>Configurações e Tipos de wetlands construídos</i> .....	26
2.4	WETLANDS CONTRUÍDOS NO BRASIL E NO MUNDO .....	38
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>

Material de apoio ao curso de Saneamento Ecológico – Jardins Filtradores.

Conteúdo Original/Referência para citação:

TIMM, J. M. **Estudo de casos de wetlands construídos descentralizados na região do Vale do Sinos e Serra gaúcha.** Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo, RS, 2015.



## 1 INTRODUÇÃO

Durante milhares de anos o ser humano esteve na condição de “caçador-coletor” quando através da caça, pesca, coleta de frutos e sementes, tirava seu alimento diretamente da natureza. Esta situação condicionou as populações humanas a uma vida nômade, dependente da produção de alimentos fornecida pelo ambiente, onde os recursos naturais regulavam o crescimento e distribuição da população no planeta.

Há cerca de 10.000 anos a humanidade passou a dominar e desenvolver técnicas de agricultura e produção de alimentos. Esta condição possibilitou que comunidades se assentassem em locais definitivos, deixando de depender dos recursos oferecidos pelo ambiente para alimentação. A “segurança” alimentar permitiu o aumento da população humana e a ocupação de praticamente todos os ambientes da terra (MAZOYER & ROUDART, 2008).

A população mundial, que até o ano 1000 era de cerca de 300 milhões de habitantes, praticamente triplicou nos últimos 800 anos, chegando a quase um bilhão de habitantes. Porém, foram os últimos 200 anos que mudaram a superfície do planeta. A população mundial quase dobrou entre os anos de 1800 e 1900, chegando a 1,6 bilhão de habitantes. De 1900 até 2012 a população aumentou cerca de cinco vezes ultrapassando os sete bilhões de habitantes e causando a maior explosão demográfica da história da humanidade (BERTRAND, 2009).

A sociedade organizou-se em grandes cidades adotando uma maneira de utilizar o ambiente que ignora completamente os fluxos energéticos e a manutenção dos sistemas que mantêm a vida na terra. No último século, a ação humana modificou, degradou ou destruiu boa parte dos ecossistemas do planeta, conduzindo-os ao colapso. Essa ação resulta em interferência e esgotamento dos fluxos energéticos naturais. Acaba por exaurir os sistemas, provoca desequilíbrio ambiental e compromete a manutenção e qualidade de vida das gerações futuras (BERTRAND, 2009).

Na segunda metade do século vinte o desenvolvimento urbano acelerou consideravelmente. A concentração da população em pequenos espaços gerou impacto sobre ecossistemas aquáticos e terrestres, atingindo a sociedade humana com problemas como inundações, proliferação de doenças e perda na qualidade de vida. A falta de controle sobre o desenvolvimento urbano provoca reflexos diretos sobre as infraestruturas de saneamento, que

incluem sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e gerenciamento de resíduos sólidos (TUCCI, 2005).

A água está relacionada à manutenção da vida, sendo fator essencial para o desenvolvimento socioeconômico, saúde e bem estar da população. Com a finalidade de promover ações integradas para o uso sustentável dos recursos hídricos o Brasil vem pautando discussões sobre a articulação de ações para garantia e manutenção da qualidade de vida das gerações futuras em âmbito local, regional e nacional (Brasil, 2006).

Segundo a Organização das Nações Unidas, a partir de 2008 a metade da população mundial já habitava zonas urbanas e até 2030 cerca de dois terços da população deve viver nessas áreas (ONU, 2008). A falta de planejamento destas cidades resulta em uma demanda não contemplada de serviços básicos de saneamento.

Nas últimas décadas a humanidade tem despertado para questão da degradação e esgotamento dos recursos naturais. A contaminação e perda de qualidade da água comprometem a distribuição e acesso para uma grande parcela da população. O Estado brasileiro tem compromisso com a conservação dos recursos hídricos, sob o princípio da cooperação e igualdade entre os povos, pela prevalência dos direitos humanos, preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2013).

A contaminação da água por esgotos domésticos é um problema ambiental e de saúde pública. Além da degradação dos ecossistemas a falta de saneamento torna a população suscetível às doenças relacionadas à veiculação hídrica (LEMES et al., 2008). A Fundação Nacional de Saúde destaca que, a cada R\$ 1,00 investido em saneamento, cerca de R\$ 4,00 são economizados em saúde (FUNASA, 2006).

Diferentes métodos podem ser aplicados ao tratamento complementar ou total de esgotos domésticos. Desde sistemas simples e descentralizados até sistemas complexos e de grande porte podem atender a demanda de saneamento para residências, comunidades e cidades. Desta forma, é possível um descarte seguro destas águas ou até mesmo um polimento para o reuso e reabastecimento da população.

Na atualidade os métodos mais empregados para o tratamento de esgotos na zona urbana consistem em estações geralmente centralizadas, que usam produtos químicos, equipamentos mecânicos e estruturas de alvenaria para tratamento de grandes volumes de efluentes. Além de empregar muitos recursos em obras de engenharia civil, energia e insumos para manutenção, eliminam a funcionalidade ecológica do local de implantação. Segundo



Samuel (2011), é necessário buscar alternativas aos sistemas convencionais de tratamento de esgoto tradicionalmente adotados em grandes cidades.

Algumas destas alternativas surgem nos conceitos de “Ecosaneamento” ou “Ecosan”, que propõe sistemas descentralizados e metodologias alternativas e adequadas à concepção local para tratamento de esgotos. Esta abordagem se baseia em uma visão ecossistêmica que evidencia os benefícios de sistemas que promovam a saúde ao tempo que recupera e recicla os nutrientes. Nesta concepção a excreta humana é tratada como recurso passível de reuso. Representa um princípio que valoriza o fechamento de um ciclo de forma semelhante às dinâmicas presentes na natureza, em contraponto aos sistemas tradicionais lineares que apresentam a perda destes recursos (ESREY et al 1998).

De acordo com Werner et al. (2004), os princípios de ECOSAN contemplam:

- Redução de riscos à saúde relacionados com falta de saneamento;
- Redução da poluição das águas superficiais e subterrâneas,
- Prevenção da degradação da fertilidade do solo;
- Otimização da gestão de nutrientes e energia.

Neste contexto estão os métodos de tratamento de esgoto descentralizado e o emprego de sistemas de tratamento com wetlands construídos. Sabe-se que a natureza realiza inúmeros “Serviços Ecológicos” dentre os quais está à purificação e reciclagem da água. Estes sistemas combinam plantas típicas de ambientes alagados (macrófitas aquáticas) e substratos filtrantes específicos em estações de tratamento de esgoto que simulam ambientes naturais.

O princípio básico da tecnologia consiste na construção de filtros, geralmente compostos por substratos de brita e areia e cobertos por vegetação específica. Além de reter os poluentes, o material filtrante serve de substrato para colonização de biofilmes que degradam o esgoto com auxílio das plantas. A vegetação de macrófitas aquáticas absorve nutrientes e disponibiliza oxigênio ao meio, favorecendo as reações aeróbias de decomposição.

Devido ao potencial paisagístico de diversas espécies, os Wetlands Construídos podem se integrar a paisagem urbana e residencial, constituindo jardins funcionais. Ainda colaboram para criação de microclimas e habitat para pequenos animais. Como são sistemas naturais, sua dinâmica de funcionamento está diretamente relacionada ao ambiente, tendo influência direta do clima local. Neste caso os índices de pluviosidade, temperatura, insolação

e convecção influenciam diretamente sobre os sistemas, alterando a dinâmica de funcionamento conforme o contexto geográfico.

A versatilidade deste tipo de sistema permite diferentes configurações aos leitos vegetados que constituem os wetlands. As variações podem ser quanto ao padrão de fluxo hídrico, quantidade de estágios, tipo de vegetação, características dos substratos entre outros. Torna-se importante entender a dinâmica destes sistemas, em diferentes configurações e situações, para definir seu potencial de aplicação no contexto local. Além disso, a integração destes sistemas em áreas residenciais merece avaliação quanto ao conforto ambiental dos moradores do entorno, já que odores e proliferação de insetos podem tornar inviáveis estes sistemas nas zonas urbanas.



## 2 ÁGUAS E SANEAMENTO

O consumo de água se relaciona a geração de efluentes, desta forma, a contaminação causada pela falta de saneamento compromete o acesso à água limpa. Conforme dados do SNIS (2013) o consumo médio de água no Brasil em 2013 foi estimado em 166 L/hab.dia. No Rio Grande do Sul o consumo per capita é estimado em cerca de 152 litros, chegando a mais de 250 L/hab.dia no Rio de Janeiro.

O SNIS estima os níveis de atendimento por sistemas de abastecimento de água, redes de coleta e afastamento de esgoto e esgoto tratado por região e na média para o Brasil, o que pode ser contemplado no Quadro 1.

**Quadro 1- Atendimento de água e esgoto estimados por região geográfica no Brasil.**

Região	Sistemas de Saneamento					
	Abastecimento de água (%)		Coleta de esgoto (%)		Tratamento de Esgoto (%)	
	Total	Urbano	Total	Urbana	Gerado	Coletado
<b>Norte</b>	52,4	62,4	6,5	8,2	14,7	85,3
<b>Nordeste</b>	72,1	89,8	22,1	29,3	28,8	78,1
<b>Centro-Oeste</b>	88,2	96,3	42,2	48,6	45,9	91,6
<b>Sudeste</b>	91,7	96,8	77,3	82,2	43,9	64,3
<b>Sul</b>	87,4	97,4	38,0	44,2	35,1	78,9
<b>Brasil</b>	82,5	93,0	48,6	56,3	39,0	69,4

Fonte: adaptado do SNIS 2013.

Os sistemas de abastecimento de água englobam captação, tratamento e distribuição da água tratada, enquanto os sistemas de esgotamento sanitário envolvem as redes de coleta e destinação dos efluentes, que podem ser tratados ou não. A falta de sistemas de tratamento de esgoto gera a poluição das águas, compromete a gestão das cidades e o desenvolvimento social.

Verifica-se que pouco mais de 82 % do total da população brasileira tem abastecimento de água e menos da metade é atendida por sistemas de coleta e afastamento do esgoto. Do total de esgotos gerados, apenas 39% recebe tratamento antes do lançamento no ambiente ou corpo receptor. As estimativas indicam que na região Sul apenas 35% do esgoto gerado recebe o devido tratamento, estando à frente apenas dos estados do Norte e Nordeste.

O Plano Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07) objetiva reduzir pela metade o número de habitantes sem de saneamento básico até 2015. Dentro deste plano, cada município deve elaborar seu plano de saneamento, que deverá nortear a gestão dos recursos hídricos municipais quanto a abastecimento e saneamento. Entre os anos de 2007 e 2013 o Brasil apresentou aumento de 147,4 % nos investimentos em saneamento básico SNIS (2013).

A expansão das cidades sem um devido planejamento gera deterioração dos mananciais e redução da cobertura de água segura para população resultando na escassez qualitativa. É necessário o desenvolvimento de ações preventivas de planejamento urbano e ambiental, com vistas na minimização dos impactos e no desenvolvimento sustentável (TUCCI 2005).

## **2.1 TRATAMENTO DE ESGOTO**

Sistemas convencionais de saneamento combinam sistemas físicos, químicos e biológicos de tratamento. Von Sperling (1996) descreve a configuração destes sistemas a partir da rede coletora, bombas de água, gradeamento mecânico, caixa de retenção de areia, tanques de aeração, decantadores e adensadores de lodo. Os sistemas de gradeamento e caixa de areia retêm sólidos grosseiros e areia, utilizando processos físicos de retenção, enquanto os tanques de aeração utilizam equipamentos mecânicos para introdução de oxigênio na massa líquida do esgoto, estimulando a decomposição por parte de microrganismos aeróbios. Nos decantadores o lodo resultante dos processos de decomposição do esgoto sedimenta e o efluente tratado é coletado na parte superficial do tanque. O lodo é direcionado a um adensador ou a leitos de secagem.

Von Sperling (1996), ainda aborda outros sistemas, como lagoas facultativas, anaeróbias e de maturação, que utilizam processos naturais e dependem da luz solar e calor para condução das reações de decomposição. Embora representem baixos custos de implantação e operação estas lagoas ocupam grandes espaços o que muitas vezes inviabiliza seu emprego. Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente também são abordados e se mostram como opção. Estes geralmente apresentam menor eficiência quando comparados aos demais, porém, apresentam vantagem no que se refere ao espaço físico necessário para instalação do sistema.

### **2.1.1 Wetlands Construídos e Tratamento de Esgoto Descentralizado**

Embora não haja um consenso quando a denominação destes sistemas, o nome “Constructed Wetlands” tem sido o mais empregado pela comunidade científica internacional. Os artigos estudados na revisão bibliográfica deste trabalho empregam diversas denominações para se referir aos sistemas. No Brasil têm sido referenciados como “banhados construídos”, “sistemas solo-planta”, “zonas de raízes”, “leitos vegetados”, “biotratamento de efluentes” e “jardins filtradores”, entre outros. Outras denominações ainda são empregadas em países como Portugal e Espanha, que adotam nomes como “Phyto-etars” e “Humedales



artificiales”. Nesta pesquisa estes sistemas serão referenciados como Wetlands Construídos, o nome mais comumente empregado.

Nos sistemas de Wetlands Construídos, a combinação de plantas típicas de ambientes alagados (macrófitas aquáticas) e substratos filtrantes proporciona a criação de biofilmes na zona de raízes, onde microrganismos diversos atuam em conjunto na degradação da carga poluente, transformando-a em nutrientes para as plantas relacionadas (SOUZA et al., 2004). As plantas utilizadas compartilham a característica anatômica de possuírem desenvolvidas redes de aerênquimas, que ocupam até 60% do volume de seus tecidos. Estas estruturas conduzem o oxigênio até os tecidos submersos da planta, suprimindo as necessidades respiratórias destas estruturas e liberando oxigênio na rizosfera. Dessa forma, criam condições de oxidação no meio, auxiliando nos processos de decomposição da matéria orgânica (BRIX, 1994).

Zanella (2008) destaca os wetlands despontam como alternativa viável aos sistemas convencionais, ressaltando o potencial ornamental destes sistemas. Estes sistemas representam menor investimento de energia e recursos quando comparados às estações convencionais, já que empregam menos recursos naturais em comparação aos sistemas citados, tem processos construtivos mais simples e rápidos e menor manutenção operacional.

Conforme publicação da UN-HABITAT (2008) os sistemas de fluxo de água mais empregados em Wetlands Construídos são de fluxo vertical, horizontal e superficial, sendo a combinação destes diferentes sistemas a alternativa que costuma obter melhores resultados. Segundo a mesma publicação fatores como intermitência ou continuidade do fluxo de água e existência de ou não de pré-tratamento por decantação em fossas sépticas serão determinantes para o dimensionamento e configuração destes sistemas.

São considerados sistemas centralizados aqueles que recebem grandes volumes de efluentes provenientes de uma ou mais bacia hidrográfica. Para estas estações convergem todos os esgotos oriundos de áreas urbanas nos limites do sistema de esgotamento sanitário. (JORDÃO & VOLSCHAN, 2009)

Segundo Philippi et al. (2007) o modelo brasileiro de gestão de efluentes é extremamente centralizador e geralmente costuma adotar grandes estações de tratamento. Como os sistemas centralizados tem se mostrado inviáveis economicamente, o foco da gestão de efluentes tem sido direcionado aos sistemas descentralizados e periféricos.

Os sistemas descentralizados se associam a ideia de diversidade enquanto se contrapõe ao centralismo. Desta forma estão mais relacionados ao conceito de

desenvolvimento sustentável visto que promovem concepções locais integradas a realidade em questão. (LETINGA, 2001).

Observa-se grande variação no conceito de tratamento descentralizado, em países europeus eles costumam ser considerados quando atendem de 5 a 500 habitantes (ESREY, 1998). Segundo a legislação vigente no Brasil são consideradas estações descentralizadas aquelas com vazão menor ou igual a 50 L/s ou capacidade para atender até 30.000 habitantes, a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2006b).

Segundo IWA (1999) quando a coleta, tratamento e descarga de efluente são feitas em instalações próximas ao local de geração do esgoto considera-se um sistema descentralizado. É utilizado ainda o termo “*on site*” quando os sistemas de tratamento são instalados no local de geração do efluente, incluindo sistemas de pequeno porte residenciais ou coletivos. Crites e Tchobanoglous (1998) e IETEC (2007) apud Lima (2008) consideram como sistemas descentralizados aqueles construídos para atender bairros e comunidades. .

É consenso que os sistemas centralizados representam um maior risco ambiental, uma vez que problemas no sistema possam causar a interrupção do tratamento e resultar na descarga de grandes volumes de esgoto sem tratamento prévio no corpo receptor (MANCUSO e SANTOS, 2002; LIMA, 2008).

Os critérios para escolha entre os dois tipos de sistema devem levar em conta uma série de fatores, como espaço disponível, escoamento da bacia hidrográfica, custo e eficiência dos sistemas empregados. Na maioria dos casos é a concepção local que determinará se a metodologia adotada será centralizada ou não e qual o tipo de sistema a ser empregado.

Em geral os sistemas centralizados representam maior investimento no que se refere à construção de redes de coleta e transporte de esgotos e eventual necessidade de recalque do esgoto caso não haja topografia favorável ao escoamento.

Nos sistemas convencionais mecanizados o custo da descentralização costuma ser maior, devido às estruturas de alvenaria e equipamentos mecânicos necessários, se comparados aos sistemas alternativos que empregam Wetlands Construídos. Além disso, as instalações dos sistemas mecanizados costumam ser mais complexas e geralmente empregam maior mão de obra e energia elétrica para operação.

Outro fator a ser considerado no comparativo entre os sistemas convencionais e Wetlands Construídos é saída de resíduos ou produtos. Os sistemas convencionais produzem lodo, que precisa ser desidratado e disposto em aterros sanitários, ocupando espaço no ambiente e empregando transporte para destinação final. Os Wetlands Construídos não geram lodo, já que os poluentes são assimilados pelas plantas e transformados em biomassa. Em



contrapartida, os wetlands estão sujeitos a colmatção e precisam de manutenções como podas e monitoramento a fim de evitar problemas de operação.

Em termos de impacto ambiental e benefício ecológico os Wetlands Construídos se destacam, pois necessitam de menor investimento de recursos e reproduzem sistemas naturais, beneficiando o ambiente e criando áreas de biodiversidade. Os sistemas convencionais, em contrapartida, consomem grandes quantidades de recursos e constituem estruturas que não desempenham papel ecológico.

A centralização viabiliza uma redução no espaço físico necessário para o tratamento do mesmo volume de água, visto que se somado, o espaço necessário para a construção das estações descentralizadas costuma ser maior do que em um sistema centralizado capaz de tratar o mesmo volume de efluente. Segundo Von Sperling, (1996) lagoas facultativas e anaeróbias utilizam de 2 a 5 metros quadrados por habitante, enquanto lagoas aeróbias necessitam de 0,25 a 0,50 metros quadrados e reatores aeróbios entre 0,05 e 0,10 metros quadrados.

O espaço necessário para implantação de Wetlands Construídos ainda é bastante discutido, visto que o sistema sofre influência direta do clima local tendo diferentes dimensionamentos conforme a região de implantação. De toda forma, no Brasil, a maioria dos pesquisadores sugere entre 1 e 2 metros quadrados de superfície por habitante como a área necessária de tratamento (LEMES et al., 2008).

A descentralização beneficia uma melhor distribuição do efluente tratado em seu retorno ao ambiente, enquanto os sistemas centralizados conduzem o volume total da efluente tratado a um único ponto de lançamento. Esta descentralização dos pontos de lançamento pode ser positiva para o balanço hídrico local, colaborando na recarga de aquíferos, manutenção do fluxo de água de arroios e abastecimento de lagos e reservatórios.

Uma análise sobre os benefícios de cada tipo de sistema e do seu emprego, de forma centralizada ou descentralizada aponta algumas vantagens e desvantagens para cada metodologia e realidade. Fica evidente que o fator determinante para escolha do sistema a ser empregado é a realidade local. Em áreas rurais ou em desenvolvimento, o planejamento para o desenvolvimento sustentável pode prever a descentralização dos sistemas. Nestes casos, o planejamento prévio pode viabilizar a implantação de Wetlands Construídos como jardins filtradores, integrados a paisagem e colaborando na constituição de áreas verdes.

## 2.2 SERVIÇOS ECOLÓGICOS E SISTEMAS NATURAIS DE DEPURAÇÃO

Os chamados “Serviços Ecológicos” ou “serviços ecossistêmicos” são benefícios que os sistemas naturais proporcionam através dos fluxos energéticos que ocorrem entre fatores bióticos e abióticos e as interações ecológicas presentes na natureza. Estes serviços são fatores determinantes para o equilíbrio dos ecossistemas, geração de produtos e manutenção dos ciclos climáticos e geológicos (Costanza *et al.* (1997).

A partir de um ponto de vista antropocêntrico, pode-se identificar, avaliar e mensurar o valor desses serviços de acordo com os benefícios que proporcionam para o bem estar humano e desenvolvimento sócio econômico. Segundo estudos realizados por Costanza *et al.* (1997), o valor estimado para os serviços prestados pela natureza seria de US\$ 33 trilhões ao ano. Neste cálculo avalia-se serviços ambientais como controle de temperatura e pluviosidade, captura de carbono, oferta de oxigênio e água, ciclagem de nutrientes e outros fatores naturais dos quais a sociedade depende para sua manutenção. Deste ponto de vista seria possível estimar quanto valeriam estes serviços caso a natureza não os fornecesse gratuitamente, fornecendo assim argumentos plausíveis para conservação da biodiversidade e ecossistemas naturais.

São inúmeros benefícios retirados dos ecossistemas. Kumar *et al.* (2010) citam quatro principais categorias de serviços ecológicos. Os serviços de provisão contemplam os produtos obtidos dos ecossistemas, como água fresca, alimentos, fibras e recursos genéticos; serviços de regulação incluem controle do clima, recursos hídricos, controle de doenças e equilíbrio dos ecossistemas; serviços culturais envolvem os benefícios de relação com a natureza, como recreação, bem estar espiritual, reflexão, beleza paisagística, desenvolvimento cognitivo e inspiração. Os serviços de apoio são aqueles necessários para produção de todos os demais serviços ecológicos. Estes incluem produção de biomassa, produção de oxigênio, formação do solo, controle de erosões, ciclagem de nutrientes e água e criação de habitat.

Os benefícios destes serviços podem atingir escalas locais, regionais ou globais e incluir as gerações futuras. Uma floresta, por exemplo, pode fornecer aos habitantes locais madeira, lenha, frutos e fibras. À população da região pode oferecer benefícios evitando deslizamentos, filtrando a água, regulando o microclima e oferecendo espaço de lazer. A nível global pode fixar carbono e manter a biodiversidade de espécies e produtos (HANSON *et al.*, 2008).



### 2.2.1 – Reprodução dos Sistemas Naturais

Segundo Brack (2011) é imperativo que se busque alternativas econômicas que se baseiem na diversidade socioambiental e no uso sustentável da flora em harmonia com as diferentes formações brasileiras e com interação com as populações humanas diversas. Cabe o uso de bom senso para perceber que as interações presentes na natureza funcionam a milhares de anos com sucesso. São portanto, a mais segura fonte de inspiração para criação de sistemas sustentáveis na provisão de recursos para humanidade.

Diversas vertentes de estudo se baseiam nos sistemas e elementos naturais para o entendimento e criação dos princípios que embasam a concepção de projetos de design e engenharia. Na busca pelo aprimoramento das metodologias, produtos e sistemas desenvolvidos para sociedade humana, pode-se unir conhecimentos advindos de áreas como a biofísica, biônica, biomimetismo, engenharia natural e Permacultura. Pode-se dizer que os princípios de biofísica se aliam aos conhecimentos oriundos da biônica e biomimetismo como a base para os projetos de engenharia natural e de Permacultura.

Segundo Duran (2003), pelos critérios clássicos de mecânica, acústica, eletromagnetismo e ótica, todo ser vivo pode ser visto como uma máquina. De forma mais coerente, poderia se dizer que toda máquina deveria ser vista como a reprodução de padrões presentes nos seres vivos. De certa forma, toda criação humana é o produto de conhecimentos advindos da natureza. A biofísica aborda as adaptações dos sistemas biológicos frente suas relações com as leis da física e os princípios da química. A biônica e o biomimetismo buscam aprender com a natureza as estratégias e soluções de ordem orgânica e estrutural.

A Federação Europeia de Engenharia Natural define a engenharia natural (ou bioengenharia) como uma disciplina da engenharia orientada pela biologia. Nesta ciência mesclam-se domínios da mecânica de solos, intervenções geotécnicas, de engenharia fluvial e hidráulica, de engenharia florestal, assim como as demais intervenções construtivas ao nível da compatibilização dos sistemas naturais com suas respectivas pressões de uso (FERNANDES et al. 2010).

A engenharia natural utiliza técnicas que empregam material vegetal vivo e materiais inertes em estruturas e construções. Este conjunto de técnicas se baseia nos sistemas naturais e tem como objetivo a contemplação de necessidades da sociedade, eliminando ou reduzindo riscos e degradações ambientais e antrópicas e maximizando a funcionalidade ecológica de áreas (FERNANDES et al. 2010).

A Permacultura é um método holístico que valoriza e emprega os serviços ecológicos para benefício da sociedade. As técnicas se baseiam na união do conhecimento empírico, advindo da observação e inspiração na natureza, aliado ao conhecimento tecnológico, resultante dos avanços da ciência. O resultado é uma ferramenta para o emprego de tecnologias que permitam a criação de sistemas de assentamentos humanos com fluxos energéticos eficientes e sustentáveis (MOLLISON e SLAY, 1994).

Conforme Hanson *et al.* (2008), um dos serviços ecológicos de relevância para sociedade se refere à purificação da água e tratamento de resíduos. Destaca-se o importante papel dos ecossistemas na filtração e decomposição de resíduos orgânicos, assimilação e decomposição de poluentes em processos no solo e subsolo. Os autores citam as áreas alagáveis (ou Wetlands Construídos) como elementos de significativo potencial na remoção de poluentes nocivos da água. Através de processos que resultam de filtração e interação entre plantas e micróbios do solo os poluentes são transformados na energia que abastece o sistema.

A reprodução de áreas alagadas naturais busca reproduzir os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem naturalmente em áreas alagadas. Nestas áreas uma série de agentes trabalha nos processos de decomposição e assimilação dos poluentes presentes na água (ZANELLA, 2008). Ainda segundo o mesmo autor, sabe-se que as águas residuárias normalmente tem elevadas cargas quando comparadas às águas naturais. Desta forma, os sistemas projetados demandam níveis mais elevados de produção biológica que aqueles que ocorrem naturalmente.

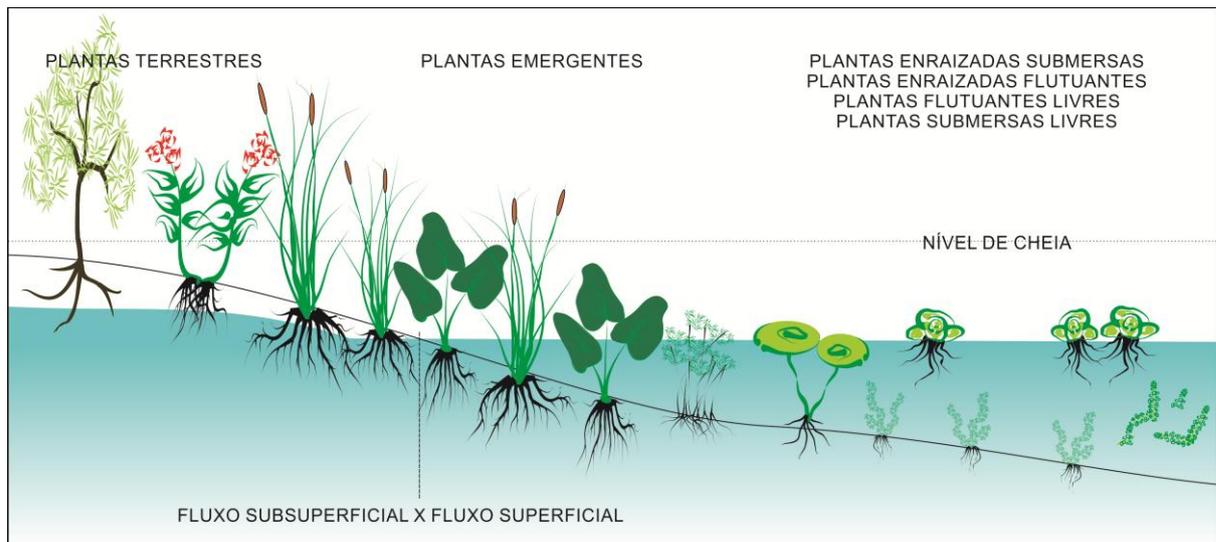
Uma combinação de todos estes princípios pode ser a ferramenta para construção de diversas estruturas que resultem em benefícios sociais e ecológicos. Os Wetlands Construídos, além de tratarem o esgoto e produzirem biomassa, atuam na retenção de CO<sub>2</sub>, retêm a água no ambiente e emitem umidade para atmosfera, interferindo no micro-clima local. O aumento das áreas vegetadas no meio urbano, principalmente se relacionada ao detrimento que representa a interferência ambiental de uma ETE convencional, representa um significativo aumento no número de serviços ecológicos disponíveis na área.

Entende-se que é viável e necessário o estudo e emprego destas técnicas, que corretamente combinadas e criteriosamente projetadas podem criar estruturas que tragam diversos benefícios. Como exemplo, a revitalização de áreas urbanas, com o incremento da vegetação ornamental dos Wetlands Construídos proporciona áreas de abrigo e forragem para a fauna.

### 2.3 PRINCÍPIOS DOS WETLANDS CONSTRUÍDOS

São consideradas áreas úmidas aquelas sujeitas à inundação temporária, de forma que permitam o estabelecimento de ecossistemas com plantas e organismos aquáticos ou tolerantes a esta condição. A Convenção de Ramsar, em 1971 propôs um acordo internacional definindo áreas úmidas como “extensões de brejos, pântanos e turfeiras, ou superfícies cobertas de água, em regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, estancadas ou correntes, doces, salobras ou salgadas, incluídas as extensões de água marinha cuja profundidade na maré baixa não exceda os seis metros” (ROLON e MALTCHIK, 2006).

Além de florestas e campos sujeitos a inundações as áreas úmidas incluem aquelas que se estabelecem em ambientes de transição entre terrenos mais altos e secos e terrenos mais baixos e alagados, portanto, mais susceptíveis às variações dos níveis de água. Este tipo de formação inclui banhados, charcos, pântanos, brejos e várzeas. Estes ambientes são colonizados por uma diversidade de espécies vegetais tolerantes e adaptadas a este meio, onde é constante a variação do nível de água (Figura 1).



**Figura 1 – Diversidade vegetal das áreas úmidas.**

Fonte: do Autor.

Segundo Carvalho e Ozório (2007), os banhados são áreas constante ou provisoriamente alagadas, de solo saturado e rico em matéria orgânica que resulta num ambiente físico-químico particular, colonizado por uma biota adaptada morfológica e fisiologicamente ao hidro período do sistema. São características inerentes das áreas úmidas:

- Presença de água rasa ou solo saturado;
- Acúmulo de matéria orgânica;

- Presença de plantas e animais aquáticos.

Os banhados também atuam como fonte e reservatório de carbono, liberam para a atmosfera terrestre gás metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e, através do processo da fotossíntese, aprisionam o CO<sub>2</sub> (IBAMA, 2000). Em termos de atividade biológica e produção energética, os banhados estão entre os mais produtivos ecossistemas do planeta, sendo comparados às florestas tropicais (WIDHOLZER, 1986 e RICKLEFS, 1993 apud CARVALHO e OZÓRIO, 2007).

Os banhados apresentam inter-relação com ambientes próximos por meio de processos ecológicos, como migração de fauna, dispersão de vegetais e de trocas de sedimentos, transportados pelo vento e fluxos hídricos, tanto na superfície quanto no subsolo (IBAMA, 2000). Dentre os fatores de influência ambiental e prestação de serviços ecológicos, pode-se afirmar que os banhados naturais estão relacionados à retenção de água, controle de inundações, recarga de aquíferos, purificação da água e estabilidade climática (MALTCHIK, 2003 apud. CARVALHO e OZÓRIO 2007).

Além das relações com a macrofauna e flora, os banhados comportam um complexo sistema de interações entre os substratos e uma diversidade de microrganismos que melhoram a qualidade das águas através de mecanismos como:

- Retenção de material em suspensão;
- Filtração e precipitação química;
- Sorção e troca iônica na superfície das plantas, substrato e sedimentos;
- Quebra, transformação e metabolização de poluentes e nutrientes;
- Redução de organismos patogênicos.

Conforme Zanella (2008), várias dessas características são de interesse no tratamento de efluentes e esgotos. Segundo o autor este potencial conduziu o desenvolvimento de sistemas de tratamento de águas residuárias baseados nos banhados naturais, de forma que possam ser controlados e aplicados ao tratamento de efluentes.

Embora pouco usuais, os sistemas de tratamento de esgotos empregando banhados são bastante antigos, tendo sido utilizados pelos Astecas no México (PHILLIPI e SEZERINO 2004). As primeiras investigações científicas sobre o uso de Wetlands Construídos para o tratamento de esgotos datam da década de 1950, conduzidas pela bióloga alemã Käthe Seidel



no Instituto Max Planck, confirmando a eficiência de áreas alagadas naturais para o tratamento de esgotos domésticos e industriais (CAMPBELL e OGDEN 1999).

Desde esta época, uma série de estudos vem sendo realizados em todo o mundo acerca destes sistemas. A partir de experimentos e observações foram criadas classificações levando em conta características de forma de vida vegetal, fluxo hídrico, nível de inundação, tipos de substratos e as reações favoráveis a cada condição.

### **2.3.1 Caracterização dos Wetlands Construídos**

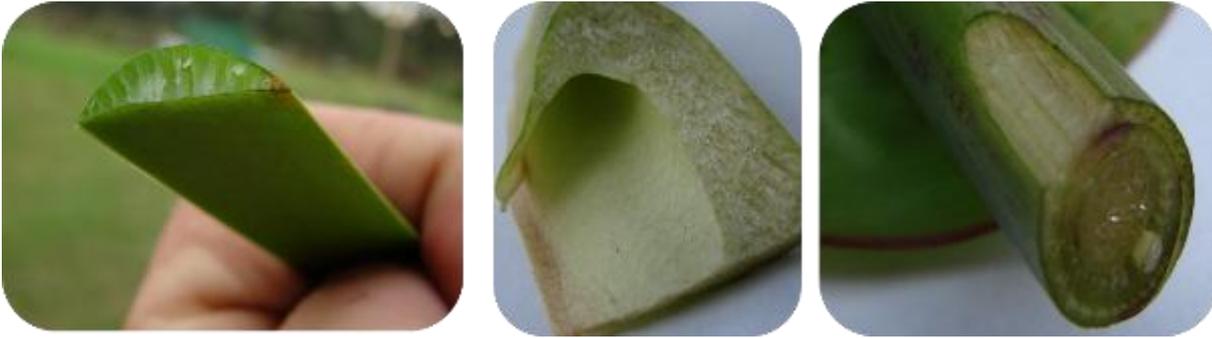
Os Wetlands construídos combinam a vegetação de banhados com substratos específicos, criando diferentes sistemas de depuração conforme os elementos e configuração empregada. A discussão decorrente aborda o efeito das plantas, substratos, e microrganismos e as aptidões das diferentes Configurações do sistema.

#### **2.3.1.1 Macrófitas Aquáticas**

O papel da vegetação nos sistemas de Wetlands Construídos se determina fundamentalmente pelo efeito proporcionado pela zona de raízes. As plantas são organismos foto autótrofos, atuando na transformação do carbono inorgânico em carbono orgânico (ARIAS, 2004).

Por habitarem áreas alagáveis e geralmente abundantes em matéria orgânica, as espécies empregadas nos Wetlands Construídos devem apresentar tolerância a ambientes eutrofizados e boa capacidade de absorção de poluentes, sendo desejável ainda a fácil propagação e crescimento rápido (SOUZA et al., 2004). A eficiência das espécies ainda se relaciona a extensão e forma dos sistemas radiculares, que devem ser preferencialmente fasciculados, e a produtividade de biomassa, que se relaciona a mobilização de nutrientes do esgoto.

A capacidade de sobrevivência nos ambientes alagados está relacionada à característica anatômica das plantas, que apresentam desenvolvidas redes de aerênquimas, que ocupam até 60% do volume de seus tecidos (Figura 2). Estas estruturas conduzem o oxigênio até os tecidos submersos da planta, suprimindo as necessidades respiratórias destas estruturas e liberando oxigênio na rizosfera. Desta forma criam condições de oxidação no meio, auxiliando nos processos de decomposição da matéria orgânica (BAHLO e WACH, 1996; BRIX, 1994, ARIAS, 2004).



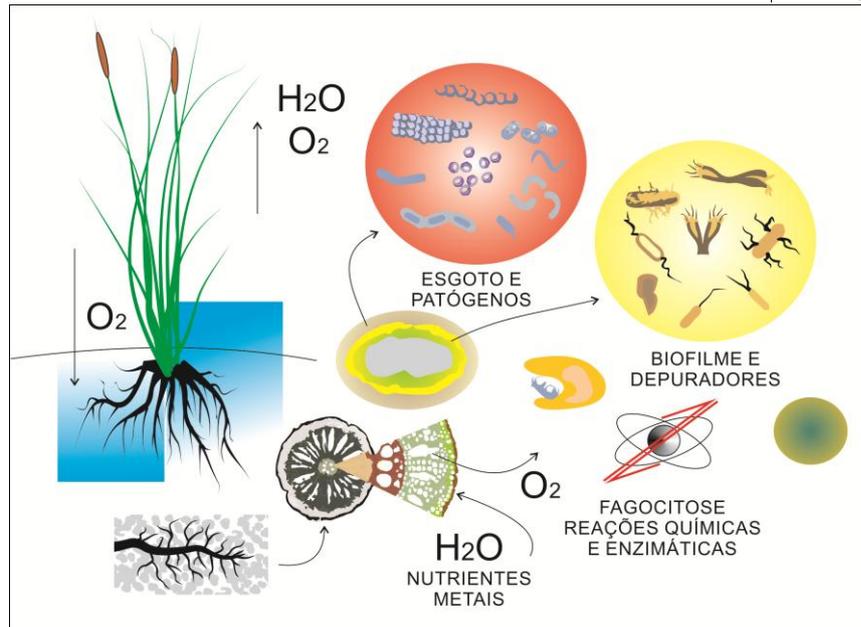
**Figura 2 - Aerênquima em três espécies de macrófitas aquáticas.**

Fonte: o Autor

Além das relações biológicas com o sistema, as plantas apresentam uma série de relações mecânicas com o sistema e ambiente. A superfície foliar destas espécies apresenta amplas áreas de trocas gasosas, favorecendo a evapotranspiração e altas taxas fotossintéticas, o que otimiza a produção de biomassa. Diversas pesquisas revelam diferentes capacidades de acumulação para diferentes espécies sugerindo que determinadas plantas possuam mecanismos específicos para remoção e translocação de nutrientes como fósforo (P), potássio (K) e até metais pesados (BARRETO, 2011).

Conforme Durlo e Sutili (2005), os vegetais interferem na movimentação do substrato ao qual estão fixados devido ao efeito alavanca, proporcionado pela movimentação da planta pelo vento. Desta forma, o efeito do vento sobre a planta pode proporcionar uma movimentação que auxilie na oxigenação da sua rizosfera (MATTOS, 2013). As macrófitas também atuam na estabilização da superfície do solo, contendo erosões e proporcionando melhores condições o processo físico de filtração, previnem a colmatção, constituem superfície para fixação de biofilmes, aeram a rizosfera e possuem potencial paisagístico (BRIX; 1994; PHILIPPI e SEZERINO; 2004).

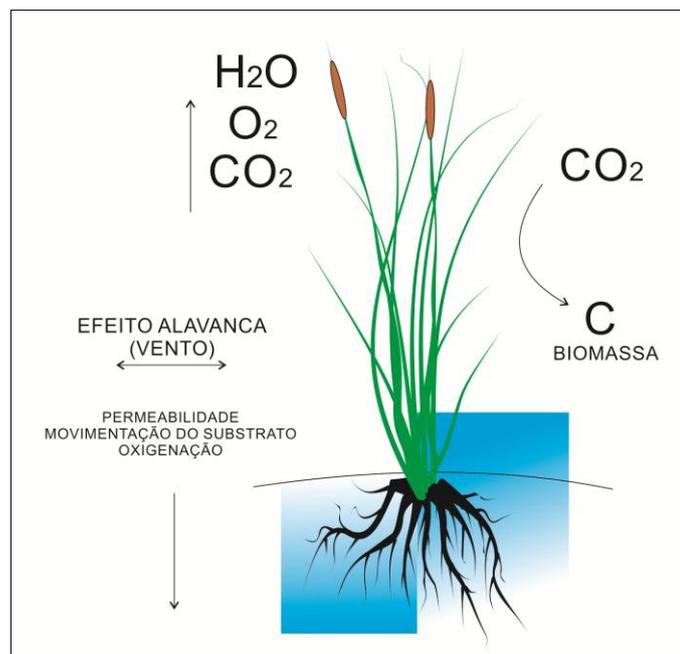
Processos de interferência da comunidade vegetal sobre o sistema condizem na modificação das propriedades do meio radicular pela liberação de exsudados, aumento do carbono orgânico, liberação de oxigênio, aumento da porosidade, retenção de poluentes e criação de meio de intensas reações metabólicas, enzimáticas e microbiológicas. (SUSARLA et al., 2002). Um esquema representando as reações na zona de raízes pode ser visualizado na Figura 3.



**Figura 3 – Reações na zona de raízes.**

Fonte: o Autor

Segundo Lohmann (2011), como seres fototróficos as plantas fixam o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera transformando-o em biomassa. As reações proporcionadas quebram as moléculas orgânicas formadas na fotossíntese em água e  $\text{CO}_2$ , que retorna à atmosfera para ser novamente fixado. A Figura 4 apresenta algumas das propriedades das plantas nos sistemas de Wetlands Construídos.

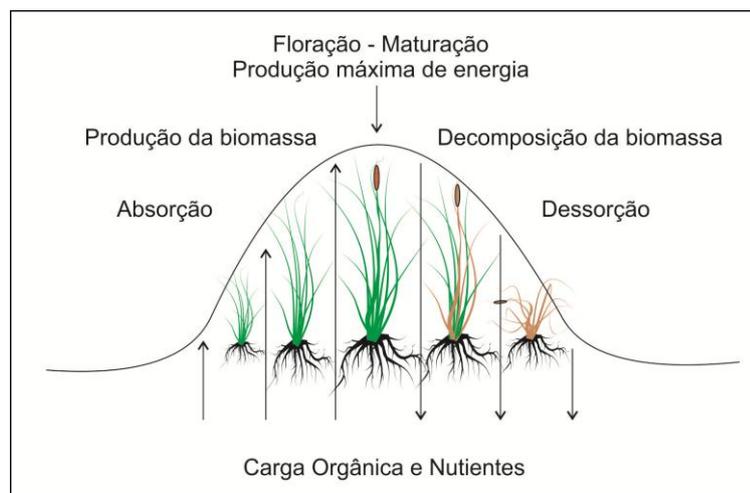


**Figura 4 – Algumas influências das macrófitas no sistema.**

Fonte: o Autor

Greenway e Woolley (1999) afirmam que diferentes espécies apresentam concentrações variadas de nutrientes em tecidos vegetais diferentes. Os autores investigaram 60 espécies e concluíram que as macrófitas emergentes apresentaram as menores concentrações de nutrientes. As concentrações de nitrogênio foram maiores em caules e folhas se comparadas às raízes e rizomas, enquanto as raízes apresentaram maiores concentrações de fósforo. Marmioli e Maestri (2008) ressaltam que diferentes organismos possuem diferentes requerimentos nutricionais, e por essa razão, alguns elementos podem ser essenciais para um organismo e tóxicos para outro.

A eficiência de remoção de poluentes em Wetlands Construídos está diretamente relacionada à capacidade extratora das plantas. A capacidade extratora é obtida pelo produto da concentração de nutrientes absorvidos e a produtividade de biomassa das plantas (MATOS et al., 2010). Considerando o princípio da transferência da carga orgânica do efluente para biomassa, relaciona-se a maior eficiência das plantas ao período do crescimento vegetal, sendo que esta capacidade tende a diminuir gradativamente conforme as plantas atingem seu porte máximo, indicado pela floração. Observando o ciclo de vida dos organismos vegetais, pode-se considerar que os mesmos tem períodos de produção da biomassa, onde crescem absorvendo nutrientes, até chegar ao período reprodutivo, onde florescem e frutificam. A partir daí, a vegetação tende a perder biomassa e está sujeita a liberação de nutrientes no meio por dessorção (Figura 5). Desta forma, são indicadas podas após a floração (e com a biomassa ainda verde) para a manutenção e eficácia dos sistemas em filtros vegetados (TIMM et al., 2013).



**Figura 5 – Algumas influências das macrófitas no sistema.**

Fonte: o Autor



Além da eficiência destas plantas na remoção da carga poluente, sabe-se que as mesmas geram grandes quantidades de biomassa. A fibra vegetal destas plantas pode ser utilizada em diferentes aplicações, que vão da produção de adubo orgânico e artesanato até a construção civil (ZANELLA, 2008). Embora se saiba da capacidade das plantas em purificar o esgoto, faltam informações que quantifiquem o papel desenvolvido por uma variedade de espécies vegetais potencialmente utilizáveis nas estações de tratamento (GERSBERG et al., 1986 apud ALMEIDA 2007).

#### 2.3.1.2 Substratos

Os substratos compõem uma parte essencial do sistema, que condiciona a criação dos filtros e meio suporte para plantas e biofilmes. Cada material empregado no sistema apresenta características específicas e o arranjo destes dentro dos leitos é determinante para o sistema. As particularidades de cada material filtrante definem processos como adsorção e degradação biológica, sendo importante o conhecimento das características destes materiais (OLIJNYK, 2008). Segundo Lohmann (2011), os substratos devem apresentar simultaneamente permeabilidade elevada, alta capacidade de troca catiônica e alta atividade microbiológica.

Utilizando uma sequente diminuição na granulometria dos materiais viabiliza-se a filtragem do efluente e retenção da carga poluente. As diferentes porosidades e superfícies dos substratos se mostram adequadas à fixação de distintas comunidades de microrganismos que decompõem o esgoto. Da mesma forma, os substratos servem para fixação das plantas e os vazios entre os materiais permitem a penetração e desenvolvimento do sistema radicular destas, formando as zonas de raízes (LOHMANN, 2011).

Os materiais mais comumente utilizados na composição dos filtros vegetados são brita e areia. Normalmente as britas constituem os filtros mais grosseiros que recebem diretamente o esgoto e servem também de substrato às plantas. As areias são usadas como filtros mais finos, geralmente no fundo ou porção intermediária dos leitos construídos. A disposição destes materiais pode variar conforme as Configurações do sistema.

Segundo Hoffmann et al. (2011), o leito de cascalho não tem como maior função a filtração, mas sim assegurar uma boa distribuição da água, auxiliar na drenagem, evitar poças e confinar a areia no leito filtrante. A área preenchida pela areia e raízes das plantas corresponde à zona ativa do filtro, onde se estabelecem e intensificam as interações do biofilme com o esgoto.

A brita utilizada na região da área de estudos é proveniente de rocha basáltica artificialmente particulada, ou seja, que passou por processo de britagem. O basalto é uma rocha ígnea composta por plagioclásio, piroxênio e por vezes olivina. Com presença de minerais como óxidos de ferro e titânio, a composição química destas rochas tende a variar o teor de Dióxido de Silício entre 45 e 55%. Contém elevados teores de Cálcio, Ferro e Manganês e baixos teores de Potássio. A rocha apresenta textura de grãos finos, podendo conter material vítreo em sua composição (OLIVEIRA e BRITO, 2002).

O basalto britado serve como suporte para enraizamento das plantas e tem emprego nos filtros mais grosseiros. O formato irregular dos fragmentos de pedra, apresentando grandes superfícies, aumenta a área de contato com o efluente. A textura deste material, apresentando poros na rocha, permite a fixação de comunidades específicas de microrganismos que auxiliam na decomposição do esgoto absorvido pela brita. Da mesma forma, os vazios entre os pedaços de pedra permitem uma boa penetração das raízes das plantas, percolação da água e o tratamento de um maior volume de esgoto (ZANELLA, 2008).

Esta camada do filtro cria ambientes que alternam zonas aeróbias e anaeróbias. Nos poros e superfície da brita concentram-se processos anaeróbios. Os processos aeróbios acontecem nos espaços entre os fragmentos de pedra. Isso ocorre por introdução do elemento  $O_2$  pelas raízes das plantas ou pela redução do nível do efluente dentro do tanque.

A areia é formada a partir do processo de fragmentação das rochas, ocasionada pela erosão, provocada pelo vento e água. Constituída basicamente de sílica (dióxido de silício) e normalmente encontrada na forma de quartzo. Sua composição pode variar conforme a rocha fonte e condições ambientais locais. Os grãos podem ter diversas formas, que estão relacionadas à sua origem, desde arredondadas e de superfície lisa até formatos mais angulosos ou sub-angulosos. Estes formatos irão influenciar na área de superfície dos grãos assim como o tamanho e formato destes terá influência nas propriedades de coesão do material (OLIVEIRA e BRITO, 2002).

Empregada nos filtros mais finos, a areia retém e adsorve os poluentes que são decompostos por biofilmes estabelecidos na superfície dos grãos. A coesão entre o material atua retendo a maioria dos poluentes de pequenas dimensões, que passaram pelo filtro de britas, permitindo que a água passe lentamente entre o substrato (ALMEIDA, 2005). Partículas pequenas e uniformes apresentam maior coesão, o que torna a percolação de água lenta e aumenta as chances de colmatação do filtro. Areias finas não são recomendadas para sistemas de Wetlands Construídos, que devem empregar areias de maior granulometria na

constituição dos filtros finos. Nesta parte dos filtros ocorre o processo de adsorção dos poluentes na superfície dos grãos de areia, onde também se estabelecem as comunidades de microrganismos. O processo de decomposição neste ambiente é anaeróbico, ou seja, ocorre sem a presença de oxigênio.

Como material alternativo e renovável para confecção de filtros mais grosseiros, anéis de bambu se mostram como interessante alternativa. Segundo Zanella (2008) o diâmetro das hastes, em torno de 5 centímetros, torna a espécie adequada para desempenho exigido. O corte das hastes em colmos de 10 centímetros cria estruturas tubulares conferindo substrato de ampla superfície para fixação de microrganismos. Com composição orgânica, as hastes de bambu depois de secas constituem-se basicamente de celulose e lignina. Conforme observado por Zanella (2008) os nutrientes e carboidratos presentes no material vegetal verde podem prejudicar o tratamento.

Experimentos com colmos de bambu como meio filtrante tem sido realizados com sucesso por Camargo (2000) assim como por Tonetti et al. (2005) e Sezerino et al. (2007) que destacam a eficiência de substratos como colmos de bambu, brita e areia (que podem ser visualizados na Figura 6) para fixação de bactérias e retenção de sólidos na filtração do efluente.



**Figura 6 – Substratos empregados em Wetlands Construídos.**

Fonte: o Autor

### 2.3.1.3 Microrganismos

Os Wetlands Construídos são mais heterogêneos do que os sistemas de tratamento biológicos convencionais por apresentarem maior diversidade de micro habitats, criando

ambientes favoráveis à colonização de microrganismos diversificados (DECAMP et al., 1999).

As características químicas do efluente, assim como a configuração do sistema são fatores de determinação para composição da microbiota na zona de raízes, regulando as condições para o desenvolvimento e a variabilidade de espécies de bactérias, fungos, algas, protozoários, rotíferos e nematóides (BENTO et al., 2002; McKINNEY, 2004). Embora as bactérias sejam o grupo mais representativo, também colonizam os sistemas microrganismos como protozoários e os micrometazoários (BENTO, 2000 apud PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

As bactérias atuam principalmente nos processos de decomposição da matéria orgânica, nitrificação e desnitrificação (OLIJNYK, 2008), enquanto os componentes da microfauna, protozoários e micrometazoários auxiliam na produção de flocos do material suspenso e reduzem a turbidez do efluente, aumentando a penetração de oxigênio (BENTO et al., 2002; PHILIPPI e SEZERINO 2004). As colônias de bactérias, protozoários, micrometazoários e outros microrganismos degradam a matéria orgânica, transformando-a em sais inorgânicos e disponibilizando nutrientes para as macrófitas relacionadas. Conforme Van Kaick (2002), a rizosfera pode aumentar a densidade de bactérias, assim como a água do esgoto é favorável ao aumento dos microrganismos.

As bactérias heterotróficas utilizam compostos orgânicos como principal fonte de carbono. Estas bactérias aeróbias oxidam a matéria orgânica a compostos mais simples como água e gás carbônico. Este processo é realizado com o consumo de oxigênio, do qual as bactérias obtêm energia para crescer e se reproduzir utilizando a matéria orgânica disponível (VON SPERLING, 2005).

Bactérias desnitrificantes são abundantes no esgoto doméstico, podendo colonizar também outros ambientes (ARCEIVALA, 1981 apud MENDONÇA, 2002). Promovem remoção de nitrogênio por meio da redução do nitrato ou nitrito a nitrogênio gasoso e melhoram a qualidade do efluente eliminando um agente da eutrofização (MENDONÇA, 2002). Os gêneros mais comuns de bactérias desnitrificantes encontrados na natureza são *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Mirococcus*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Proteusn* e *Spirillum*. (MENDONÇA, 2002; BITTON, 2005).

As comunidades de fungos, protozoários e micrometazoários, assim como sua dinâmica de relação com os sistemas de Wetlands Construídos ainda são pouco estudados. Constituindo organismos uni ou multicelulares, aeróbios ou facultativos, os fungos podem

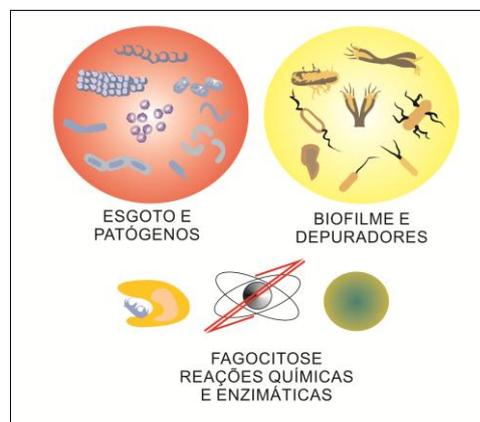


crescer em uma diversidade de ambientes, incluindo meios ácidos (TORTORA et al., 2005). Fungos obtêm carbono e energia a partir de compostos orgânicos e desempenham importante papel na ciclagem de nutrientes (BITTON, 2005).

Os protozoários são organismos unicelulares e heterotróficos. Através da fagocitose, são capazes de absorver matéria dissolvida e particulada, assim como bactérias (BITTON, 2005). Autores como Philippi e Sezerino (2004) ressaltam a importância da identificação e quantificação dos protozoários nestes sistemas para o conhecimento da ecologia destes organismos, o que é de importância para manutenção e operação dos wetlands.

Conforme Philippi e Sezerino (2004), os micrometazoários auxiliam no tratamento de efluentes através de mecanismos como a manutenção da população de bactérias saudáveis, a recirculação de nutrientes, a penetração de oxigênio no sistema, o que previne condições anaeróbias, a diminuição da turbidez do efluente pela predação às bactérias dispersas, produção de muco que auxilia na biofloculação e redução de DBO através do consumo de bactérias e sólidos em suspensão. Este grupo que inclui organismos como rotíferos, tardígrados e anelídeos.

A descrição do lodo biológico, feita por Vazoller (1989) descreve as colônias de bactérias formando flocos biológicos, onde se fixam protozoários pedunculados e por entre os quais circulam ainda protozoários livre-natantes. No mesmo meio, os micrometazoários, também circulam e interagem. Este mesmo tipo de interação, formando complexas relações ecológicas entre microrganismos, está presente nos Wetlands Construídos. Através de mecanismos como fagocitose e liberação de enzimas e subprodutos, que favorecem reações químicas, os microrganismos do biofilme atuam sobre a carga poluente e patógenos decompondo e eliminando-os (Figura 7).



**Figura 7 – Interação entre esgoto e biofilme.**

Fonte: o Autor

### 2.3.2 Configurações e Tipos de wetlands construídos

Entre as possibilidades de configuração, considera-se os sistemas de fluxo superficial e sub-superficial, horizontal e vertical, comunidades de plantas e finalidades a que se prestam. Segundo Zanella (2008), estes sistemas buscam mimetizar os banhados naturais. As diferentes Configurações possíveis para os sistemas de Wetlands Construídos levam em conta principalmente os seguintes fatores:

- Forma de vida das macrófitas empregadas ou dominantes (Flutuantes, submersas ou emergentes);
- Padrão de fluxo hídrico (superficial, sub-superficial);
- Configuração dos sistemas (leitos alagados, leitos preenchidos com substratos, célula única, células múltiplas, híbridos, multi-estágios);
- Tipo de efluente a tratar (origem, vazão, tratamento primário, secundário ou terciário);
- Tipo de substratos (brita, areia, carvão, bambu, solo);
- Carga (contínua ou intermitente).

#### 2.3.2.1 Fluxo Superficial

Os sistemas de fluxo superficial são aqueles por onde a água flui livre de substratos, exposta diretamente aos tecidos das plantas e atmosfera. Trata-se de uma modificação dos sistemas de lagoas facultativas convencionais, diferenciando-se principalmente na profundidade (em torno de 0,60 a 0,70 m) e pela presença de plantas. Costumam ser empregados em tratamentos secundários ou polimento de efluentes para reúso. (CRITES e TCHOBANOGLIOUS, 1998). Este modelo costuma apresentar maior potencial paisagístico e ecológico, podendo integrar diversas espécies de plantas com animais como peixes, anfíbios, aves e uma diversidade de invertebrados, formando um complexo sistema de interações biológicas (DELGADILLO et al., 2010). Considera-se que a baixa velocidade de escoamento e a exposição do filme d'água a atmosfera pode permitir a indesejada proliferação de mosquitos nos tanques alagados.

Sem vegetação os tanques alagados permitem a penetração de luz solar e a exposição da lamina d'água a atmosfera, favorecendo o desenvolvimento de algas em meio aeróbio e trocas gasosas entre o meio líquido e o ar, principalmente na superfície da coluna d'água. Na porção inferior da coluna d'água predominam reações anaeróbias decorrentes do



acúmulo de sedimentos e pouca penetração de luz e oxigênio. (ZANELLA, 2008; USEPA, 1999; IWA, 2000).

A introdução de macrófitas aquáticas agrega ao sistema uma série de propriedades técnicas advindas da vegetação. Embora em muitos casos as plantas promovam a cobertura da lâmina d'água, diminuindo a penetração de luz e trocas gasosas, uma densa cobertura vegetal reduz efeitos de mistura e a malha de raízes reduz o movimento do material em suspensão na água (DINGES, 1982 apud SALATI, 2007).

A superfície de caules, folhas e raízes colabora na retenção de poluentes e confere substrato para estabelecimento de biofilmes que atuam na depuração dos poluentes. As plantas podem transferir oxigênio ao meio através das raízes, permitindo a colonização de organismos aeróbios nestas áreas (ZANELLA, 2008; BRIX, 1997). A vegetação ainda aumenta a disponibilidade de carbono, proporcionando diferenças entre os ciclos biogeoquímicos presentes nos sistemas de Wetlands Construídos e de lagoas facultativas (IWA, 2000).

Segundo Zanella (2008) os sistemas que empregam Wetlands Construídos com fluxo superficial permitem o uso de plantas de diferentes hábitos, dando origem às seguintes subclasses de acordo com a vegetação:

Plantas Flutuantes (enraizadas e livres): Podem empregar plantas flutuantes fixas ou livres. As plantas flutuantes livres ocupam a superfície dos tanques, formando uma densa cobertura vegetal e malha de raízes, por entre a qual a água transcorre o sistema. Esta malha de raízes reduz a velocidade da água, colaborando na retenção e sedimentação dos poluentes e agindo em conjunto com o biofilme nela estabelecido para depuração dos mesmos. A cobertura da superfície auxilia na redução de odores, manutenção da temperatura e redução das misturas pelo vento. Podem ser aplicados em tratamentos secundários produzindo elevadas quantidades de biomassa. As plantas flutuantes enraizadas são ainda pouco estudadas e geralmente empregadas em sistemas de polimento de efluentes em conjunto com plantas submersas e emergentes (ZANELLA 2008).

Plantas Submersas (enraizadas e livres): As plantas submersas ocupam a coluna d'água e favorecem a oxigenação do meio. Além da liberação do oxigênio produzido na fotossíntese as plantas constituem superfície para colonização de biofilmes que auxiliam na depuração dos poluentes. Nestes sistemas ocorre fluxo de água pela superfície dos tanques favorecendo o contato com a atmosfera e por consequência trocas gasosas.

Como dependem da penetração da luz solar, as plantas submersas geralmente não suportam águas turvas e eutrofizadas, desta forma esta configuração se indica principalmente

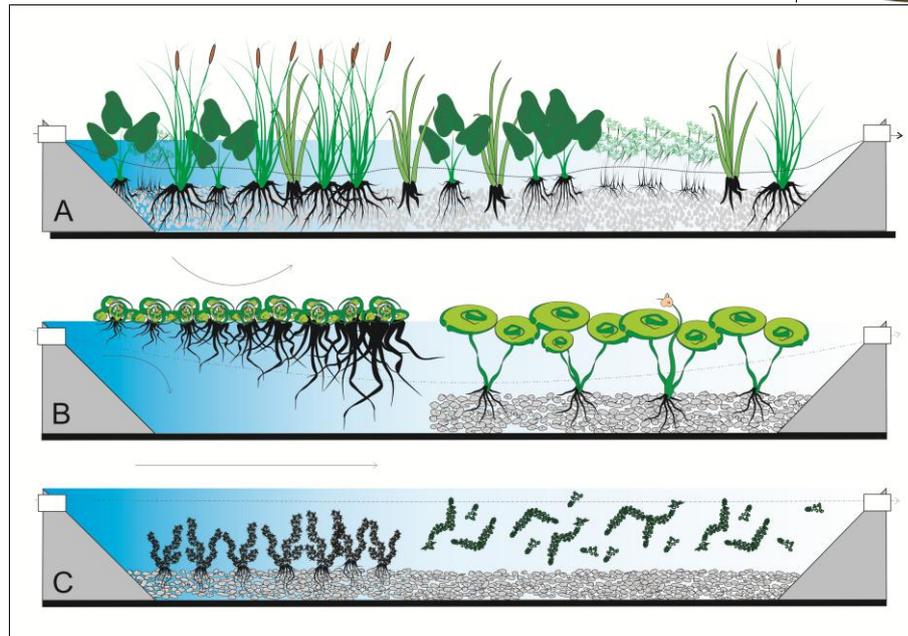
para o polimento de águas oriundas de tratamento secundário (VYMAZAL, 2010). Segundo Zanella (2008), estes sistemas apresentam frágil equilíbrio ecológico e demandam maior esforço para controle e manutenção.

Segundo IWA (2000) e UN-HABITAT (2008), esta configuração tem eficiência na remoção de amônia do esgoto pré-tratado devido à intensa taxa fotossintética proporcionada por esse tipo de vegetação. A significativa quantidade de oxigênio transferida pelas plantas ao meio líquido facilita a nitrificação e o consumo de CO<sub>2</sub>, elevando os valores de pH e conduzindo a amônia à sua forma volátil não ionizada, o que facilita sua difusão para atmosfera.

Plantas enraizadas emergentes: A vegetação emergente é típica dos brejos naturais, servindo como atrativo e habitat para fauna local e proporcionando benefícios estéticos à estação de tratamento. As profundidades empregadas nesta configuração variam de alguns centímetros até um metro (IWA 2000). Nesta configuração, a oxigenação do meio promovida na superfície livre do líquido em contato com o ar atmosférico, é a maior fonte de oxigênio presente no processo (VYMAZAL, 2010; ZANELLA, 2008).

Estes sistemas constituem canais, geralmente estreitos e longos, com plantas tolerantes ao alagamento, que tem suas partes aéreas emergindo a partir da coluna de água. Nestes sistemas a coluna de água mantida sobre o solo pode variar entre 10 e 40 centímetros. Os microrganismos fixados nas raízes, na superfície do solo e na submersa dos caules e folhas das plantas são importante agente neste tipo de tratamento.

A Figura 7 representa os sistemas descritos anteriormente, sendo o esquema representativo “A” referente às plantas emergentes e os esquemas “B” e “C” referentes a plantas flutuantes e submersas respectivamente.



**Figura 8 – Wetlands de fluxo superficial com diferentes Configurações de vegetação.**

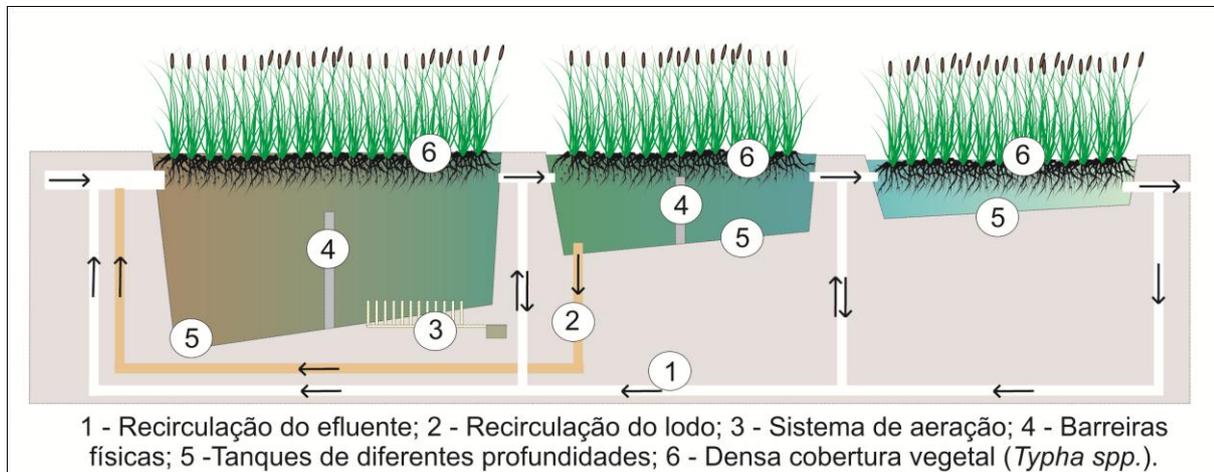
Fonte: o Autor

Tecnologias recentes tem empregado sistemas de “balsas” para viabilizar o uso de espécies de macrófitas emergentes e de maior porte como vegetação flutuante. Esta adaptação permite o emprego de propriedades técnicas da vegetação que estão ausentes nas macrófitas flutuantes livres. Algumas destas propriedades estão relacionadas a um maior volume de biomassa ativa em contato com o esgoto, sistemas radiculares mais extensos e maior rede de aerênquimas, já que as plantas utilizadas chegam a mais de 2 metros de altura. Este tipo de wetland ainda é pouco estudado e tem apresentado diversas possibilidades, a exemplo da combinação com diferentes tipos de sistemas de aeração e variação na profundidade dos tanques.

São exemplos os sistemas desenvolvidos por empresas como a escocesa Biomatrix que patenteou a tecnologia denominada “Jardins Flutuantes”, que utiliza balsas com espécies diversificadas de macrófitas para tratamento direto em rios e lagos, e a tecnologia de Filtros de Macrófitas Flutuantes (FMF), desenvolvida pela empresa espanhola Macrofitas SL (BIOMATRIX WATER, 2014; MACROFITAS SL, 2014).

Os sistemas de FMF combinam tanques de diferentes profundidades, sistemas de aeração para movimentação de lodo e uma cobertura de biomassa onde se estabelece a vegetação, sendo que se submetem a diferentes possibilidades de recirculação do efluente entre os tanques sequenciais através de bombeamento. Embora não tenham sido obtidos dados referentes a princípios de projeto e parâmetros de eficiência do sistema FMF foi elaborado um esquema representando os princípios básicos da tecnologia (Figura 8). O sistema emprega

tanques profundos seguidos de tanques cada vez mais rasos, com pontos de aeração, barreiras físicas e cobertura densa de macrófitas, com uso exclusivo da espécie *Typha domingensis* Pers.



**Figura 9 – Wetland com Sistema de Macrófitas Flutuantes.**

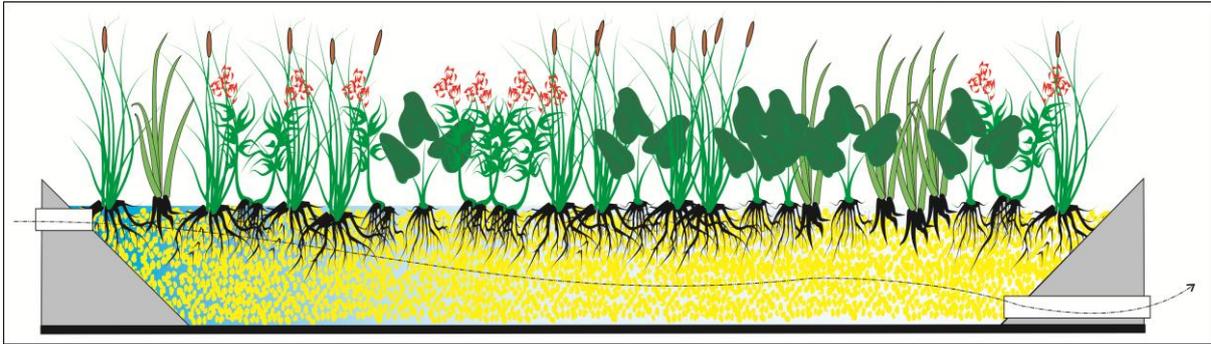
Fonte: o Autor

### 2.3.2.2 Fluxo Sub-superficial

Esta configuração de sistema consiste na aplicação do esgoto em filtros preenchidos com meio suporte sobre o qual se estabelece a vegetação e biofilme. Os filtros de fluxo sub superficial mantêm lâmina d'água abaixo do nível do leito, diminuindo o risco de geração de odores, proliferação de vetores e doenças. Por constituir filtros com amplas áreas para colonização de biofilmes, o meio suporte funciona como área ativa no tratamento dos efluentes culmina na utilização de menores áreas quando comparados com outras concepções de Wetlands Construídos (UN-HABITAT 2008, VYMAZAL 2010).

Os sistemas de fluxo sub-superficial geralmente tem o esgoto difundido por uma grande área, de profundidade variando de poucos centímetros até cerca de 1 metro, vegetada, capaz de reter e sedimentar o material sólido transportado, devido às baixas velocidades impostas ao sistema (IWA, 2000). Os sistemas de fluxo sub-superficial podem ser do tipo fluxo horizontal ou fluxo vertical.

Sistemas de Fluxo Horizontal: Os sistemas de WFH são leitos compostos de maneira a permitir que o efluente percole lentamente por entre os substratos em sentido horizontal desde a área de entrada até a saída (Figura 9). Em geral são construídos canais largos e curtos cujas dimensões dependem do projeto em particular.



**Figura 10 – Banhados de Fluxo Horizontal.**

Fonte: o Autor

Durante a percolação do efluente por entre o meio deve ocorrer o contato com uma rede de zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias. As zonas aeróbias em torno dos rizomas permitem o tratamento do esgoto pela ação microbiológica de fito-depuração. Os sistemas de WFH podem ser bastante eficientes na remoção de poluentes orgânicos (SST, DBO e DQO) do efluente. Devido à transferência limitada de oxigênio dentro da zona úmida a remoção de nutrientes, especialmente o Nitrogênio, é limitada. No entanto este sistema se mostra eficaz na redução de nitratos (UN-HABITAT, 2008).

Segundo Hoffmann et al. (2011), em sistemas de operação contínua o nível da água no interior do leito não deve exceder 1/3 da altura total do material filtrante, evitando assim a criação de condições anaeróbias. O controle do nível de água no interior do leito pode ser feito por um sistema ajustável na saída do tanque.

Alguns fatores colaboram para que os sistemas de fluxo horizontal requeiram uma área maior em comparação aos sistemas verticais. Ao tempo em que a área de distribuição dos sistemas verticais corresponde a toda superfície dos tanques, nos sistemas de fluxo horizontal a área de distribuição corresponde à largura e profundidade do leito. Outro fator relevante é a menor capacidade de transferência de oxigênio do meio externo dos sistemas horizontais, que trabalham alagados, em relação aos sistemas de fluxo vertical, sujeitos a drenagem e consequente oxigenação do meio filtrante.

Embora os sistemas de fluxo horizontal sejam mais simples de se construir do que os sistemas de fluxo vertical exigem atenção em alguns fatores que podem ser determinantes para o sucesso do projeto e extensão da vida útil do sistema. A maior parte dos problemas se relaciona a um pré-tratamento deficiente, erros de dimensionamento, cargas hidráulicas maiores que as suportadas ou materiais muito finos na composição dos filtros e podem resultar em problemas de colmatção e escoamento superficial. A concepção de uma

adequada área de distribuição e pré-filtragem é fundamental para um escoamento uniforme do efluente no leito filtrante.

Os pontos a seguir fornecem as principais recomendações em relação à configuração de um projeto básico de wetland de fluxo horizontal segundo Hoffmann et al. (2011):

- As macrófitas devem ser selecionadas de forma adequada ao tipo de filtro e local de implantação;

- O pré-tratamento deve ser eficiente a ponto de não permitir cargas maiores que as suportadas pelos leitos vegetados;

- A superfície dos filtros deve ser plana e nivelada a fim de evitar erosões e formação de poças;

- Fundo dos leitos deve ter inclinação da entrada para saída variando entre 0,5 e 1%, com a finalidade de facilitar a drenagem do efluente;

- Profundidade dos leitos deve ser de cerca de 60 centímetros de substrato filtrante, considerando um adicional de 15 centímetros de espaço livre até a borda para eventuais acúmulos de água;

- As longitudes ideais para filtros horizontais variam de 5 a 8 metros, sendo que filtros mais longos tendem a apresentar problemas hidráulicos;

- A largura dos leitos não deve exceder 15 metros, tendendo a problemas de distribuição em grandes larguras. Recomenda-se a compartimentalização dos leitos no caso de maiores vazões;

- A granulometria do material filtrante deve ter tamanho adequado para permitir o fluxo de água ao tempo que garante a eficácia do tratamento;

- A zona de entrada pode ser preenchida por pedras e brita, a fim de garantir uma pré-filtragem e distribuição uniforme do efluente em toda largura do leito;

- Ao empregar canos no sistema de distribuição é necessário atentar ao nível, tamanho e distância dos orifícios;

- Pode-se construir uma pequena barragem nivelada na porção inicial do leito, garantindo uma distribuição uniforme e diminuindo chances de colmatção;

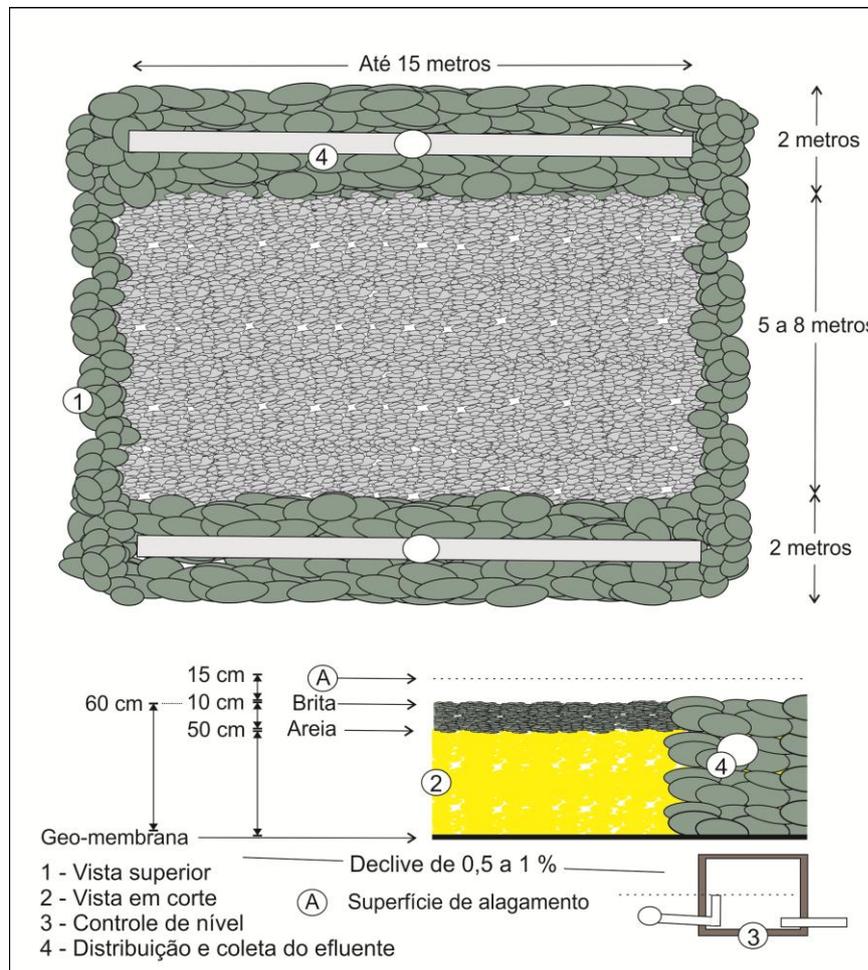
- A área superficial requerida está relacionada à carga do efluente e temperatura do local, podendo variar entre 3 e 10 m<sup>2</sup>/pessoa e não devendo ser menor que 5 m<sup>2</sup>/pessoa em climas frios.

- O dimensionamento hidráulico do leito filtrante deve ser feito pela lei de Darcy;

- A carga orgânica não deve exceder 10 g DBO/m<sup>2</sup>/d ou 16g DQO/m<sup>2</sup>/d em climas frios, sendo que faltam dados para determinar as cargas aplicáveis em climas tropicais (que podem ser maiores);

- A carga hidráulica aplicada de águas cinzas pode ser maior do que a de águas residuais (ou negras) nos sistemas horizontais devido a menor carga orgânica, que caracteriza cargas hidráulicas variando entre 60 e 80mm/d em águas cinzas e cerca de 40 mm/d em águas negras;

A Figura 10 foi criada com a finalidade de resumir as informações acerca de um projeto básico de wetland de fluxo horizontal subsuperficial conforme a abordagem supracitada.

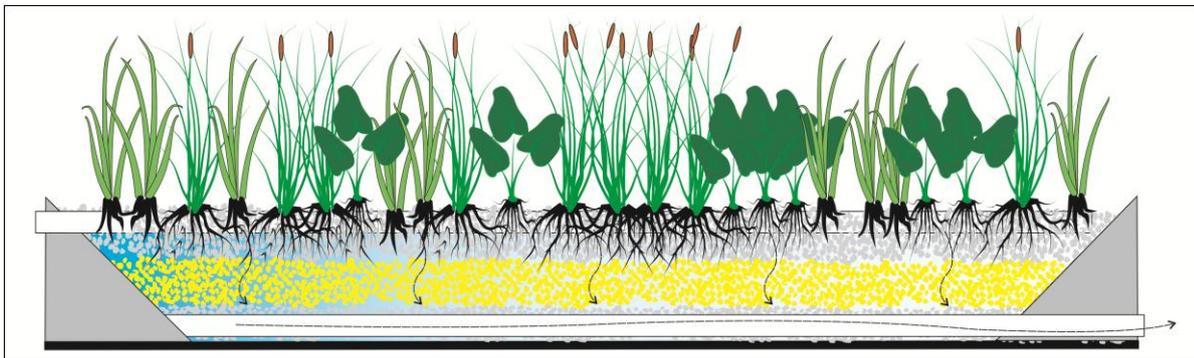


**Figura 11 – Projeto Básico de Wetland Horizontal.**

Fonte: o Autor

Sistemas de Fluxo Vertical: Os sistemas de WFV se constituem em filtros compostos geralmente por brita e areia, dispostos em camadas, sobre a qual se estabelecem as plantas e sob a qual é disposto o efluente (Figura 11). Nestes sistemas é feito um arranjo de forma que o esgoto seja disposto de forma uniforme na superfície dos tanques e infiltre no

solo. Durante este processo o efluente é filtrado e posto em contato com os substratos e biofilme. O efluente tratado é recolhido por um sistema de drenagem no fundo dos leitos.



**Figura 12 – Banhados de Fluxo Vertical.**

Fonte: o Autor

Estes sistemas costumam ser alimentados de forma intermitente, sendo que esta inconstância na aplicação do esgoto causa uma boa disponibilidade de oxigênio e consequente capacidade de nitrificação. A redução do nível da água nos leitos permite a entrada de oxigênio na rizosfera e poros dos substratos. Conforme estudos de Platzer (1998) e Brix (1997), a intermitência na aplicação do efluente tem maior potencial de transferência de oxigênio para o meio do que as plantas empregadas no sistema.

Estes sistemas apresentam boa remoção de sólidos suspensos, DBO, Amônia e Fósforo (SALATI 2009). Principalmente devido a maior capacidade de transferência de oxigênio, os sistemas de WFV se mostram como de maior eficiência entre as diversas configurações, podendo empregar áreas consideravelmente menores em relação aos sistemas de FH (UN-HABITAT, 2008).

Os sistemas de fluxo vertical são mais eficientes e ocupam menores áreas do que os sistemas de fluxo horizontal. Nestes sistemas o efluente é disposto na superfície dos tanques e infiltra verticalmente por entre substratos, zonas de raízes e biofilme, sendo coletado no fundo do tanque.

Especialmente quando sob aplicação intermitente do efluente se sujeitam a infiltração do efluente, que permite que o solo deixe de ficar saturado e favorece a transferência de oxigênio e a alta atividade de degradação aeróbica. Embora necessitem de sistemas de bombeamento para alimentação e tenham sistemas de distribuição do efluente mais complexos, os sistemas de fluxo vertical com aplicação intermitente permitem uma redução considerável na área requerida para implantação.

Os sistemas intermitentes tendem a ser abastecidos de 4 a 12 vezes por dia, passando por períodos de descanso. Sistemas para mais de 50 pessoas devem ter de 2 a 4



leitos, submetidos a períodos de 6 semanas de uso seguidos de períodos de 2 semanas de repouso.

Os pontos a seguir fornecem as principais recomendações em relação à configuração de um projeto básico de wetland de fluxo vertical segundo Hoffmann et al. (2011):

- As macrófitas devem ser selecionadas de acordo com o tipo de filtro e local de implantação, estando adequadas à função de manter e restaurar a condutividade do leito filtrante;
- O pré-tratamento deve ser eficiente a ponto de não permitir cargas maiores que as suportadas pelos leitos vegetados;
- A superfície dos filtros deve ser plana e nivelada, com a finalidade de permitir uma distribuição uniforme do efluente e evitar a formação de poças;
- O sistema de distribuição deve ser nivelado prevendo a distribuição uniforme do efluente em toda superfície do sistema e estar coberto por brita, evitando áreas alagadas e odores;
- O sistema de distribuição deve ter um arranjo adequado à vazão no que se refere a tamanho e diâmetro de tubulações e distancia e diâmetros dos furos do sistema de distribuição;
- O sistema de drenagem deve ter distanciamento máximo de 5 metros, sendo coberto por brita para maior eficiência de drenagem;
- Fundo dos leitos deve ter inclinação da entrada para saída variando entre 0,5 e 1%, com a finalidade de facilitar a drenagem do efluente;
- O leito de areia corresponde à zona ativa dos filtros, devendo ter cerca de 50 centímetros de profundidade;
- A superfície dos tanques deve ser coberta por uma camada de cerca de 10 centímetros de brita, a fim de uniformizar a distribuição do efluente e evitar alagamentos;
- Deve-se deixar uma altura de borda de cerca de 15 centímetros acima do substrato para eventual para alagamento dos tanques;
- No fundo dos tanques, abaixo do leito de areia deve ser disposta uma camada de 20 centímetros de brita, entre a qual deve ser instalado o encanamento do sistema de drenagem;
- A área de superfície requerida para esta configuração no Brasil é de cerca de 1,2 metros quadrados por pessoa, variando entre 3 e 4 metros em climas frios e 1 a 2 metros em climas quentes e podendo variar conforme carga aplicada e demais fatores de influência;

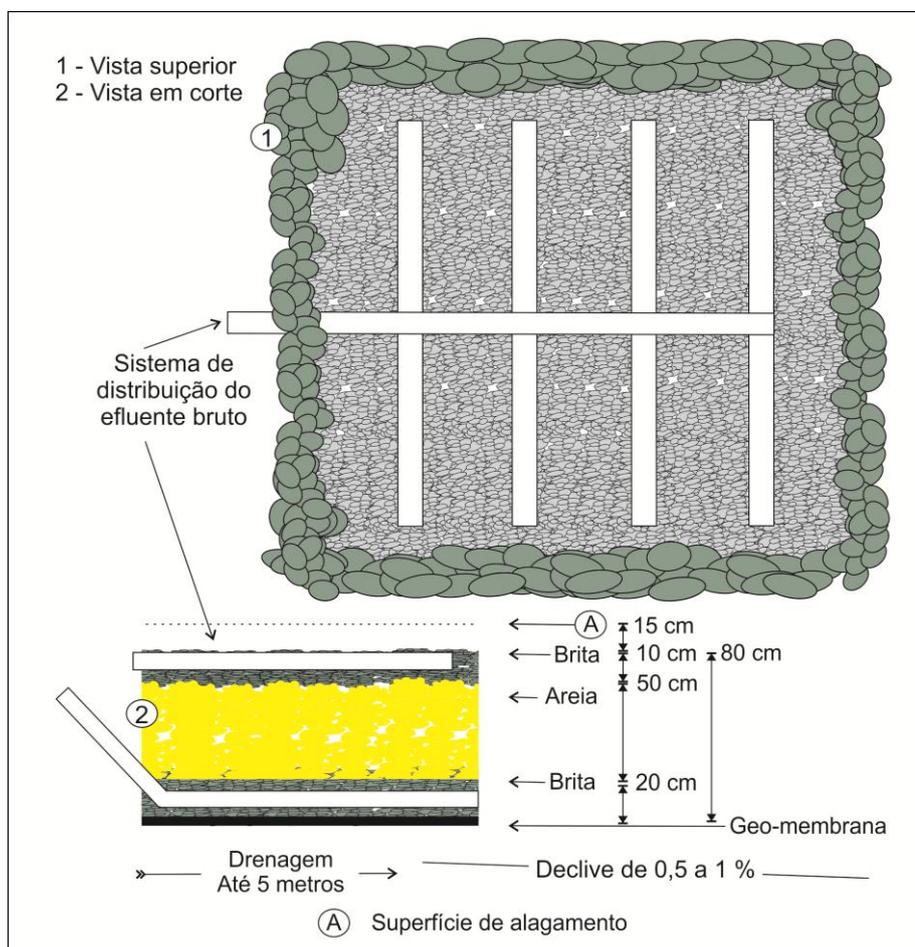
- A carga orgânica aplicada deve ser de até 20 g/DQO/m<sup>2</sup>/d em climas frios e de 60 a 70 g/DQO/m<sup>2</sup>/d em climas tropicais;

- A carga de sólidos deve ser de até 5 g/m<sup>2</sup>/d;

- A carga hidráulica aplicada pode ser de até 120 mm/m<sup>2</sup>/dia em climas frios e 200 mm/m<sup>2</sup>/dia em climas tropicais;

- O fator de diluição de eventos de chuva pode permitir aplicação de cargas rápidas de até 500 mm/m<sup>2</sup>/dia;

A Figura 12 resume as informações acerca de um projeto básico de wetland de fluxo vertical subsuperficial conforme abordagem supracitada.



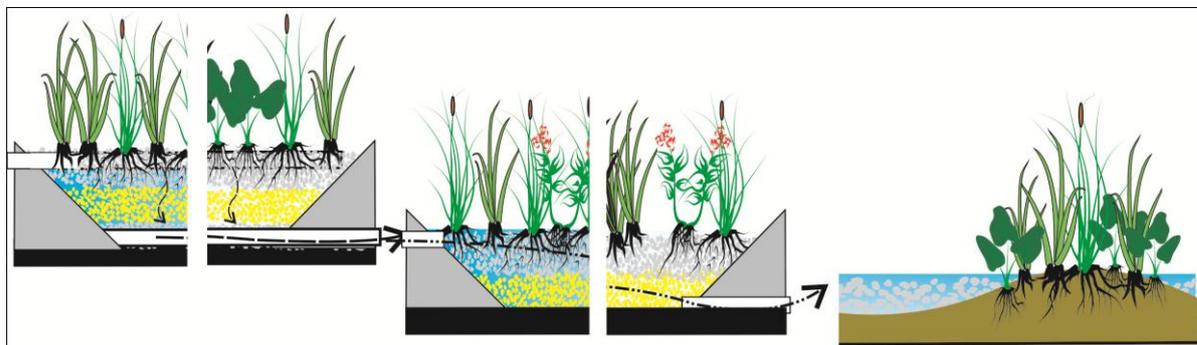
**Figura 13 – Projeto Básico de Wetland Vertical.**

Fonte: o Autor

**Sistemas Combinados:** As diferentes configurações dos sistemas permitem à criação de arranjos de filtros que sejam adequados ao tipo de efluente a ser tratado, a qualidade pretendida ao tratamento, a área disponível para instalação e ao interesse paisagístico. A ordem e proporção dos tipos de filtro estarão diretamente relacionadas a estas variáveis. Tendo em vista que cada configuração de filtro tem maior eficiência para

purificação de alguns parâmetros, sistemas têm sido projetados utilizando uma combinação das técnicas (BRIX, 1993; SALATI, 2009).

Diversos estudos indicam alta eficiência na utilização de sistemas combinados. Os sistemas de tratamento por WFV e WFH se diferenciam na eficiência relativa a determinados parâmetros. Enquanto o sistema de WFH tem indicado maior eficiência na remoção de sólidos e DBO, por exemplo, o WFV favorece a nitrificação e reações aeróbias. Desta forma, os sistemas podem ser combinados para que atuem mutuamente no complemento do tratamento (UN-HABITAT, 2008). A Figura 13 representa a combinação de um sistema empregando WFV, seguido por WFH e com polimento do efluente em WFS.



**Figura 14 – Banhados de Fluxo Misto.**

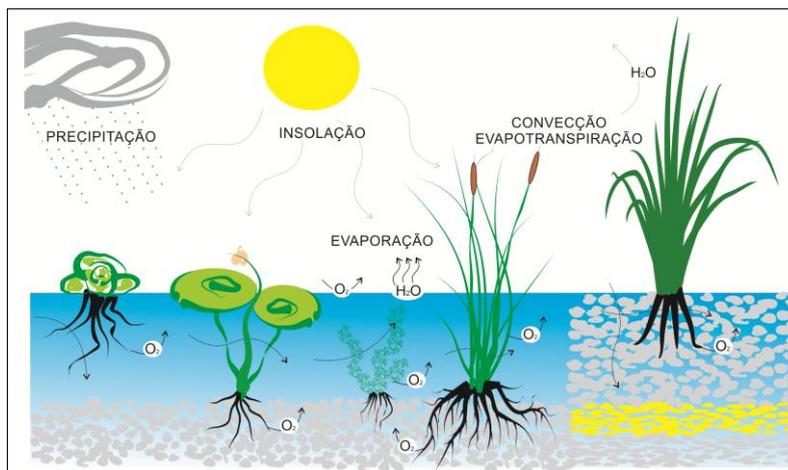
Fonte: o Autor

### 2.3.2.3 Fatores de Influência Climática

Em se tratando de um sistema natural, o funcionamento deste está diretamente relacionado às condições climáticas e geográficas, ou seja, o funcionamento e eficiência do sistema podem e devem ser afetados por tais fatores. Desta forma há de se considerar o balanço hídrico e eficiência do sistema em direta relação com os fatores de influência climática como insolação, temperatura e precipitação.

Ao tempo em que a precipitação proporciona a diluição do efluente, a insolação e aumento da temperatura provocam diminuição do balanço hídrico. Através da evaporação da água em contato com a atmosfera e evapotranspiração das plantas os wetlands liberam água limpa para atmosfera na forma de vapor. Este efeito pode resultar na saída de um menor volume de água e na caracterização de um efluente com maiores concentrações de poluentes.

A temperatura influencia diretamente no metabolismo das macrófitas e dos microrganismos do biofilme. Pode influenciar na quantidade de oxigênio transferida ao meio através das redes de aerênquimas e na atividade dos microrganismos, tendo relação direta com a eficiência do tratamento.



**Figura 15 – Influências das intempéries e plantas no sistema.**

Fonte: o Autor

## 2.4 WETLANDS CONTRUÍDOS NO BRASIL E NO MUNDO

Embora pouco usuais, os sistemas de tratamento de esgotos empregando banhados são bastante antigos, tendo sido utilizados pelos Astecas no México (PHILLIPI e SEZERINO 2004). As primeiras investigações científicas sobre o uso de Wetlands Construídos para o tratamento de esgotos datam da década de 1950, conduzidas pela bióloga alemã Käthe Seidel no Instituto Max Planck, confirmando a eficiência de áreas alagadas naturais para o tratamento de esgotos domésticos e industriais (CAMPBELL e OGDEN 1999).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos no sentido de entender e melhorar os sistemas de Wetlands Construídos principalmente a partir das décadas de 1960 e 1970. O lançamento do “Guia Europeu para projeto e operação de sistemas de tratamento em leitos plantados”, em Cambridge em 1990 e do livro “Treatment Wetlands” são considerados marcos científicos sobre Wetlands Construídos. (PHILIPPI e SEZERINO, 2004; KADLEC e KNIGHT, 2008).

Segundo Vymazal (2010); todos os tipos de wetlands possuem elevada capacidade de remoção da carga orgânica. O autor aborda 438 casos de wetlands de fluxo horizontal, observando eficiência média na remoção de DBO na ordem de 75% e resultados para efluentes tratados nestes sistemas com concentração média de 42 mg/L. No mesmo estudo são avaliados 125 casos de wetlands de fluxo vertical, onde observa eficiência média de 90% e resultados para o efluente tratado em uma média de 28 mg/L.

Vymazal (2007) verifica nas várias Configurações de Wetlands Construídos uma remoção média de fósforo variando em torno de 40 a 60% e de nitrogênio total variando entre 40 e 55%. O autor afirma que sistemas construídos com um único estágio não são capazes de



remover nitrogênio total, sendo os sistemas de fluxo vertical indicados para a remoção de nitrogênio amoniacal, mas limitados na desnitrificação, enquanto que os sistemas de fluxo horizontal favorecem a desnitrificação.

Vymazal (2010) afirma que a remoção de P é baixa em qualquer modalidade de wetland e que o principal mecanismo de remoção do nutriente é a retenção no solo ou assimilação pela biomassa, ressaltando a sorção e precipitação de P é um processo saturável e a tendência é que seu efeito seja reduzido ao longo do tempo. Este autor aborda 272 casos de WFH, onde observa concentração média de 4,8 mg/L e uma eficiência de 50% na remoção de P, além de 118 casos onde observa resultado médio de 4,5 mg/L e eficiência de 56% nos WFV.

Mazzola et al. (2005), relata em suas observações vigoroso desenvolvimento das plantas coincidente com melhores percentuais de redução das taxas de fósforo e com aumento na taxa de detenção hidráulica. Sua suposição é que o maior contato com o efluente permita o devido tempo para absorção de P pelas plantas.

Vymazal (2007) relata baixa eficiência em wetlands construídos na remoção de NTK, sendo relatada baixa eficiência na nitrificação em WFH e na desnitrificação em WFV. Em contrapartida, as condições aeróbicas dos WFV favorecem a nitrificação enquanto os WFH apresentam condições apropriadas para processos de desnitrificação. Este autor aborda 208 casos de WFH, onde observa concentração média de 36 mg/L e uma eficiência de 43 % na remoção de NTK, além de 99 casos onde observa resultado médio de 41 mg/L e eficiência de 43% nos WFV. Hoffmann et al. (2011), relatam eficiências de redução para NTK na ordem de 15 a 40% para WFH e 30% para WFV. Platzer (1999) recomenda que não deva ser excedida a carga aplicada de 6,5 g/NTK/m<sup>2</sup>.d. para que a nitrificação ocorra adequadamente nos WFV.

Vymazal (2010) observa concentração média de 22 mg/L e uma eficiência de 39 % na remoção de NH<sub>4</sub> entre 305 casos de WFH, além de 129 casos onde observa resultado médio de 14,9 mg/L e eficiência de 73 % em WFV. Hoffmann et al. (2011), relatam eficiências de redução para NH<sub>4</sub> na ordem de 90% para WFV.

Hoffmann *et al.* (2011), descrevem os processos que ocorrem nas diferentes Configurações de wetlands construídos. Ao tempo que as reações aeróbicas necessárias a nitrificação não são favoráveis, os WFH tendem a ser muito eficientes na desnitrificação, mesmo quando com pouca disponibilidade de carbono para interação com o nitrogênio. As condições anaeróbicas favorecem a redução do nitrato por bactérias heterotróficas. A maior

disponibilidade de oxigênio nos WFV favorece a nitrificação, onde bactérias autotróficas promovem a oxidação da amônia em nitrato. Como não favorecem a desnitrificação, o nitrogênio tende a permanecer como nitrato no efluente tratado dos WFV. Desta forma os autores sugerem a combinação dos sistemas quando se necessita de maiores eficiências de tratamento para estes parâmetros.

Sezerino (2006) destaca a ocorrência de incorporação na biomassa e adsorção ao material filtrante como processos que atuam na redução da carga nitrogenada, mas reafirma que os processos de maior influência são a nitrificação e desnitrificação, corroborando com Hoffmann et al. (2011). Vymazal (2010) cita os processos de volatilização em sistemas superficiais, onde as atividades de algas e plâncton podem elevar o pH favorecendo a volatilização da amônia. O mesmo autor ainda afirma que a eficácia na redução da carga nitrogenada tem relação com a manutenção de podas e que a capacidade de absorção destes nutrientes pela biomassa não excede 10% da carga aplicada.

Sezerino (2006) observa a adsorção de amônia ao substrato em um WFH onde a volatilização é descartada pelo neutro pH, afirmando que este processo pode ocorrer no início da operação dos sistemas mas não é uma via permanente dado o potencial de saturação do meio. O mesmo autor afirma que independente do substrato empregado nos wetlands construídos existe colmatação. Este processo seria conduzido pelo acúmulo de material orgânico e inorgânico na superfície dos filtros, produção excessiva de biomassa pelo biofilme e plantas, desenvolvimento dos sistemas radiculares das macrófitas e compactação do leito.

Toniato (2005) destaca que os principais mecanismos de remoção de sólidos suspensos nos wetlands são floculação, sedimentação e interceptação das partículas, que são oriundas da decomposição do esgoto e biota do sistema. O mesmo autor afirma relativa eficiência nos WFH para remoção deste parâmetro, já que geralmente empregam baixas velocidades do efluente sobre amplas superfícies de contato, onde ocorrem processos de sedimentação, filtragem e adsorção pelo biofilme, biomassa e substrato. Também é associada na abordagem a relação deste parâmetro com processos de colmatação, já que os SS podem carregar materiais recalcitrantes.

Almeida et al. (2007) obteve reduções acima de 98% em filtros com diferentes vegetações, obtendo concentrações no efluente tratado de  $7,2E+05$  para Coliformes Totais. Van Kaik et al (2008) cita eficiência de 59% na remoção de Coliformes Totais em um Wetland construído, atribuindo uma baixa eficiência na remoção destes organismos a própria biota ativa no filtro vegetado. Outros cinco experimentos conduzidos por esta autora



apresentaram remoções percentuais entre 98 e 99% com concentrações do efluente tratado apresentando entre  $5,0E+05$  e  $9,5E+03$  NMP/100 mL.

Van Kaik et al (2008), no mesmo estudo anteriormente citado, observaram remoções percentuais para Coliformes Termotolerantes entre 74 e 99% com concentrações do efluente tratado apresentando entre  $1,8E+03$  e  $9,5E+03$  NMP/100 mL. Segundo a autora, as populações de Coliformes termotolerantes encontram nos wetlands um ambiente desfavorável para competição e sobrevivência, sofrendo constante redução.

Toniato (2005) relata que a remoção de patógenos e indicadores em wetlands podem estar associados à remoção de SS e descreve os mesmos processos como sendo os mais importantes neste tratamento, sendo também sujeitos a menor eficiência de remoção depois de atingido o potencial de adsorção do meio filtrante. Uma vez expostos a estes processos, estes microrganismos estão sujeitos a uma condição desfavorável de sobrevivência, já que não encontram temperaturas e condições de nutrição ideais, sofrem predação e competem com microrganismos adaptados ao meio. Este autor afirma ser improvável a remoção de Coliformes Totais a ponto de atender a legislação, tendo observado em seus estudos concentrações superiores a  $1E+03$  NMP/100 mL.

Von Sperling (1996) relata a eficiência dos sistemas usuais de tratamento de esgoto em relação a SS e matéria orgânica, mas afirma ineficiência na remoção de microrganismos. Almeida et al (2007) sugere que a utilização dos wetlands pode dispensar tratamentos terciários, simplificando e barateando a remoção de patógenos. Todavia ressalta-se que dependendo a finalidade de reuso destas águas é necessária à desinfecção da carga residual de microrganismos.

#### 2.4.1.1 Projetos e Configurações

Os principais modelos de dimensionamento baseiam-se em características do efluente, como carga orgânica (SEZERINO e PHILIPPI, 2003), ou na demanda de consumo de  $O_2$  do sistema, como no modelo Platzer (1998). Os modelos para dimensionamento mais conhecidos no mundo derivam de experiências na Europa e América do Norte, podendo segundo Platzer (2007) e Sezerino e Philippi (2003), ser adaptados às condições climáticas dos países tropicais, o que confere possibilidade de diminuição da área necessária à implantação dos Wetlands Construídos e menores riscos de colmatação.

Em geral a área vegetada empregada por pessoa varia conforme o tipo de sistema e localização geográfica. A área requerida segundo a maioria dos pesquisadores fica abaixo de

2 m<sup>2</sup>/pessoa. Philippi et al. (2007) revisaram estudos de Sezerino & Philippi (2003), que reduziram a área requerida para 0,8 m<sup>2</sup>/pessoa sem que a performance de tratamento fosse afetada significativamente.

Frente os resultados que comprovam a eficácia desta tecnologia, diversas empresas tem se especializado em Wetlands Construídos, que se mostram como alternativa apropriada para remediação de águas cotaminadas. O viés paisagístico tem colaborado com a aceitação dos sistemas que tem sido cada vez mais empregados em todo o mundo. Os jardins de tratamento que cumprem funções ecológicas e paisagísticas enquanto tratam significativos volumes de água contaminada.

Um dos mais belos projetos de Wetlands Construídos já concebidos é o jardim “The Flower and the Butterfly”, que emprega um sistema combinado com banhados de fluxo subsuperficial vertical e horizontal seguido de fluxo superficial. O sistema construído na ilha de Koh Phi Phi, na Tailândia atende condomínios residenciais e tem capacidade para tratar até 400 m<sup>3</sup> diários de esgoto. O sistema citado pode ser visualizado na Figura 16.



**Figura 16 – “The Flower and the Butterfly”**

Fonte: Brix et al. (2010).

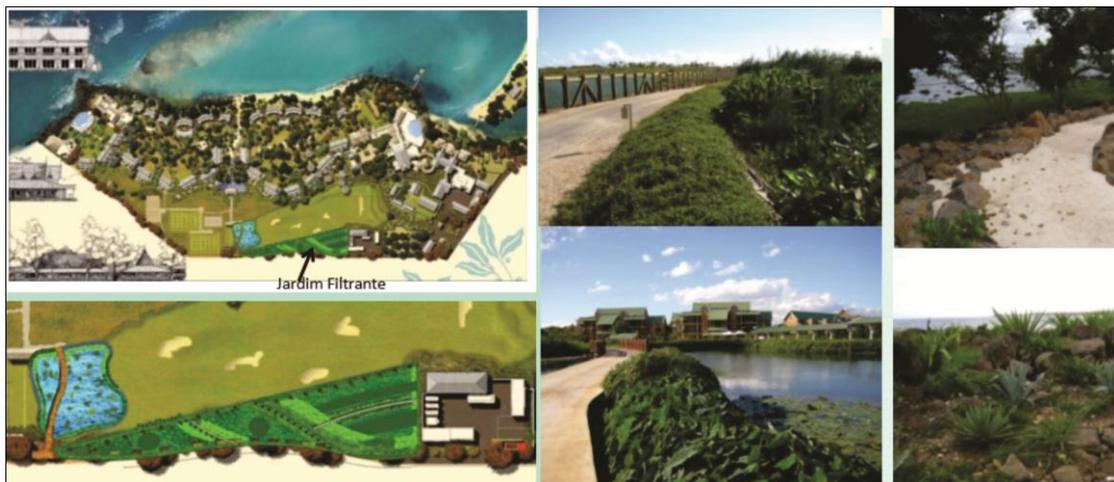
Resultados e eficiência do tratamento realizado entre 2006 e 2008 no sistema “The Flower and the Butterfly”, avaliado por Brix et al. (2010), demonstraram a eficiência na remoção de diversos parâmetros da carga poluente (Quadro 6). O mesmo quadro ainda apresenta valores exigidos pela legislação local em relação a esgotos tratados.

**Quadro 2- Avaliação do sistema “The Flower and the Butterfly”**

Parâmetro	Entrada	Saída	Legislação Local
pH	7.2	7.7	5.5–9.0
SST (mg/L)	169 ± 65	16 ± 8	<50
DBO (mg/L)	297 ± 132	25 ± 9	<20
TKN (mg/L)	54 ± 23	33 ± 13	<100
Total-P (mg/L)	8.4 ± 3.1	4.5 ± 1.1	X
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	3.9 E+06 ± 4.7 E+06	0.3 E+06 ± 0.5 E+06	X

Fonte: Brix et al. (2010)

Os Wetlands Contruídos do Club Med, nas Ilhas Maurícias França, tem capacidade para 2000 pessoas e ocupam área de 3,5ha. Em operação desde 2007, este projeto foi premiado do Ministerio Francês do Meio Ambiente em 2009. A Figura 19 apresenta os Wetlands Contruídos do Club Med.O efeito paisagístico dos sistema permite uma integração dos Wetlands Contruídos com a áreas de uso como jardins. Diversos outros projetos já foram concebidos com a mesma ideia, que explora o potencial ecológico e paisagístico dos sistemas, como pode ser visualizado na Figura 20 (PHYTORESTORE BRASIL 2012).



**Figura 17 – Wetlands Contruídos do Club Med.**

Fonte: Phytorestore Brasil



**Figura 18 – Potencial paisagístico de Wetlands Construídos.**

Fonte: Phytorestore Brasil

### **3 SISTEMAS RESIDENCIAIS**

O tratamento do esgoto no local de geração é na maioria das vezes o mais apropriado tipo de saneamento. Desta forma é possível completar o ciclo poluição-purificação da água na própria residência. A seguir são apresentados alguns modelos de Jardins Filtradores (Wetlands) residenciais.

Inicialmente são abordados os círculos de bananeiras e zonas de infiltração destinados ao tratamento das águas cinzas e os tanques de evapotranspiração/bacias de evapotranspiração (TEVAP/BET) destinados às águas negras. São sistemas simplificados que tratam o esgoto de forma menos satisfatória que os sistemas abordados até o momento, mas são fáceis de construir e se mostram apropriados principalmente para zonas rurais.

Na sequência, são apresentadas imagens do passo a passo da construção de um Jardim Filtrador de fluxo vertical em célula única, além de exemplos de sistemas construídos em células sequenciais.

### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O emprego e difusão destas ecotecnologias de saneamento dependem da popularização destes métodos entre corpo técnico e gestores dos órgãos responsáveis pelos sistemas de saneamento, que pode ser suprida com a capacitação de profissionais para atender adequadamente esta demanda. É imperativo que continuem os estudos acerca destes sistemas e investimentos do poder público para incorporar políticas de saneamento ecológicas e sustentáveis.

Martelo e Borrero (2012) destacam a importância de estudos orientados a avaliar a influência dos wetlands sobre outras comunidades a fim de destacar seu potencial de interação ecológica e melhoramento do ambiente. Observa-se o melhor potencial de redistribuição dos recursos hídricos no ambiente em sistemas descentralizados que submetem o efluente a infiltração e recarga de aquíferos ou incorporação em banhados e córregos.

As plantas atuam na redução do calor e regulação da humidade ambiente, dependendo da dimensão ou quantidade de sistemas concentrados em dada localidade, pode-se considerar que os wetlands constituem elementos com potencial de influência no microclima e regime hídrico local. Como configuram sistemas de depuração da matéria orgânica é possível afirmar que períodos de repouso no abastecimento podem reverter estados de



colmatação em wetlands construídos, sendo que faltam estudos que possam definir este potencial de resiliência.

Avaliando os wetlands construídos como ecossistemas reconstituídos, não seria impertinente afirmar que os parâmetros de carga orgânica, microbiológica e de nutrientes de águas oriundas de banhados naturais, poderiam servir de referência para as necessidades de tratamento em cada contexto. Esta interpretação presume que o ambiente assume uma dinâmica de incorporação em relação à variação de carga que recebe e estes parâmetros poderiam servir de indicativo para monitoramento e controle dos wetlands construídos em relação ao local em que se inserem.

Uma avaliação mais flexível sobre o papel dos wetlands construídos pode considerar este tipo de sistema não apenas uma ETE, mas também um ecossistema funcional. Deste ponto de vista entende-se que os wetlands poderiam ocupar espaços destinados a áreas verdes ou áreas de mata ciliar sem comprometer a função ecológica destes ambientes. Obviamente estas considerações não são aplicáveis no contexto da legislação vigente, mas se fazem consideráveis na avaliação de premissas para o desenvolvimento sustentável, onde sistemas simplificados e a utilização dos espaços naturais são cabíveis desde que não afetem negativamente os ecossistemas locais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização Física e Classificação de Solos** - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2005.
- ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. **Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário**. Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG), Goiânia, 2007.
- ARIAS, O. **Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial**. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Tesina, Barcelona, 2004.
- BAHLO, K.; WACH, G. **Naturnahe Abwasserreinigung**. Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag, 1996.
- BARRETO, A. B. **A seleção de macrófitas aquáticas com potencial para remoção de metais-traço em fitorremediação**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2011.
- BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; BARBOSA, T. C.; PHILIPPI, L. S. **Comparação ente modelos aplicados ao diagnóstico do tratamento de esgotos por sistemas de lodos ativados, baseados em parâmetros biológicos**. In: IV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.
- BERTRAND, Y. A.; **Home – Nosso Planeta, Nossa Casa**. (Filme-Vídeo) Gênero: Documentário. Duração: 90 minutos. França, 2009.
- BIOMATRIX WATER - **Portifólios, Folders e Banners**. Disponível em: <<http://www.biomatrixwater.com>> Acesso em novembro de 2014.
- BITTON, G. **Wastewater microbiology**. 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- BRASIL. **Água e Desenvolvimento Sustentável Recursos Hídricos Fronteiriços e Transfronteiriços do Brasil** - Governo Federal Presidência da República Secretaria de Assuntos Estratégicos Esplanada dos Ministérios, Brasília – DF, 2013.
- BRASIL. 2007. Ministério das Cidades. **Lei Federal nº 11.445 , de 05 de janeiro de 2007**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)>. Acesso em: outubro de 2013.
- BRASIL. 2005. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: novembro de 2013.
- BRASIL. 2011. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 430**, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.saude.mg.gov./publicacoes>>. Acesso em: novembro de 2013.
- BRASIL. 2006. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil. Brasília: MMA, 2006.
- BRASIL. 2006b. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 377, de 09 de outubro de 2006**. Dispõe Sobre Licenciamento Ambiental Simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>>. Acesso em: novembro de 2013
- BRIX, H., KOOTTATEP, T.;FRYD, O.; LAUGESEN, C. H. **The flower and the butterfly constructed wetland system at Koh Phi Phi—System design and lessons learned during implementation and operation**. Ecological Engineering, 2010.
- BRIX, H. **“Do macrophytes play a role in constructed treatment Wetlands?”** Water Science & Technology, 1997.
- BRIX, H. **Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands**. Water Science Technology, Oxford, 1994.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C.; EBERHARDT, D. **Clima e Vegetação Natural do Estado do Rio Grande do Sul Segundo o Diagrama Climático de Walter e Lieth**. Ciência Florestal, Santa Maria-RS, 2007.
- CAMARGO, S. R., **Filtro Anaeróbio com Enchimento de Bambu para Tratamento de Esgotos Sanitários: Avaliação da Partida e Operação**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas – SP, 2000.
- CAMPBELL, C. S. & OGDEN, M. H. **Constructed Wetlands in the sustainable landscape**. John Wiley & Sons Inc, 1999.
- CARVALHO, A. B. P.; OZÓRIO C. P. **Avaliação sobre banhados no Rio Grande do Sul**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, RS, 2007.
- CONSEMA - Conselho de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul - CRH. **RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 128/2006**. Disponível em: <http://www.rs.gov.br>. Acesso em dezembro de 2013.
- COMITESINOS – Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. **Caracterização da Bacia do Rio dos Sinos**. Disponível em: <<http://www.comitesinos.com.br/>> Acesso em dezembro de 2013.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R.S., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P., VAN DEN BELT, M. **The value of the world's ecosystem services and natural capital**. Nature, 1997.
- CRITTES, R. & TCHOBANOGLOUS, G. **Small and decentralized wastewater management systems**. McGraw Hill, 1998.
- DECAMP, O.; WARREN, A.; SANCHEZ, R. **The role of ciliated protozoa in subsurface flow Wetlands and their potential as bioindicators**. Water Science and Technology, 1999.
- DELGADILLO, O.; CAMACHO A.; PÉREZ, I. f.; ANDRADE, M. **Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales**. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Agronomía, Cochabamba, Bolivia, 2010.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. EST Edições. Porto Alegre, RS, 2005.
- ESREY, S. A.; GOUGH, J.; RAPAPORT, D.; SAWYER, R.; SIMPSON-HÉBERT, M.; VARGAS, J.; WINBLAD U. **Ecological Sanitation**. Stockolm: SIDA, 1998.
- FUNASA - **Manual de saneamento 3. Ed ver.** - Brasília. Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde, Brasília, 2006.
- GOOGLE EARTH. **Aplicativo**. Disponível em: <<http://www.earth.google.com/>>. Acesso em: setembro de 2013.
- GOOGLE MAPS. **Aplicativo**. Disponível em: <<http://www.maps.google.com/>>. Acesso em: setembro de 2013.
- GREENWAY, M.; WOOLLEY, A. **Constructed Wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation**. Ecological Engineering, 1999.
- HANSON, C., FINISDORE, J., RANGANATHAN, J. & ICELAND, C. **The Corporate Ecosystem Services Review. Guidelines for Identifying Business Risks & Opportunities Arising from Ecosystem Change**. World Resources Institute, Meridian Institute, World Business Council for Sustainable Development, 2008.
- HOFFMANN, H. PLATZER, C. WINKER, M. VON MUENCH, E. **Technology review of constructed Wetlands**. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Sustainable sanitation - ecosan program. Eschborn, Germany, 2011.
- IBAMA, 2000. **Banhados**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>> Acesso em: 01 nov. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2012. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em Abril de 2012.
- IWA. **Specialist group on the use of macrophytes in water pollution control, Constructed Wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation** – scientific and technical report n.8. IWA Publishing. London – UK, 2000.



- JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN Junior, I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimentos Habitacionais**. Caixa Econômica Federal, Brasília, 2009.
- KADLEC, R.H.; KNIGHT, R. L. **Treatment Wetlands**, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2008.
- KUMAR, P. M.; WOOD, V. M.; NIGANDHI, D. **Guidance manual for the valuation of regulating services**. Ecosystem Services Economics (ESE) Working Paper Series, UNEP. Nairobi, Kenya, 2010.
- LEMES, J. L. V. B.; SCHIRMER, W. N.; CALDEIRA, M. V. W.; VAN KAICK, T.; LOPES, O. A.; BARBARA, R. R. **Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural**. Revista Acadêmica. Ciências Agrárias e Ambientais, 2008.
- LETINGA, G.; ZEEMAN, G.; LENS, P. (Ed.) **Decentralised Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation**. London: IWA, 2001.
- LIMA, R. G. **Tratamento descentralizado de efluentes como alternativa a despoluição dos recursos hídricos da região metropolitana de Aracaju/SE**. São Cristóvão – Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Sergipe, 2008
- LOHMANN, G. **Caracterização microbiológica de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes de fluxo vertical**. Curitiba, Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2011.
- MACROFITAS SL, 2014 - **Portfólios, Folders e Banners**. Disponível em: <<http://www.hidrolution.com/sp/index.php>> Acesso em novembro de 2014.
- MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de água**. São Paulo: USP/ Faculdade de Saúde Pública. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.
- MARMIROLI, N.; MAESTRI, E. **Health implications of trace elements in the environment and the food chain**. In: PRASAD, M. N. V. (Ed.) Trace elements as contaminants and nutrients. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2008.
- MARTELO J.; BORRERO, J. A. L. **Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte**. Ingeniería y Ciencia, Volumen 8, número 15, 2012
- MATOS, A.; ABRAHÃO, S.; MONACO, P.; SARMENTO, A.; MATOS, M. **Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2010.
- MATOS, A. T. - Palestra: **"Papel das macrófitas nos sistemas alagados construídos (Wetlands Construídos)"** - in: I Simpósio Brasileiro de Wetlands Construídos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 10/05/2013
- MAZZOLA, M. ; ROSTON, D. M.; VALENTIM, M. A. **Utilização de leitos cultivados (construced wetlands) no tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado**. In: VIII Encontro científico de pós-graduação do CENA-USP, Piracicaba - SP, 2003.
- MAZZOLA, M.; ROSTON, D. M.; VALENTIM, M. A. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2005.
- MAZOYER, M., ROUDART, L.; **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. (tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira). Editora UNESP, São Paulo. Brasília, DF, 2010.
- McKINNEY, R. E. **Environmental Pollution Control Microbiology**. Marcel Dekker, USA, 2004.
- MENDONÇA, L. C. **Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2002.
- MOLLE, P., LIÉRNARD, A., BOUTIN, C., MERLIN, G., IVEMA, A. **How to treat raw sewage with constructed Wetlands an overview of the French system**. Water Science and Technology, 2005
- NYAKANG'O, J. B.; VAN BRUGGEN, J. J. A. **Combination of a well functioning constructed wetland with a pleasing landscape design in Nairobi, Kenya**. Water Science Technology. Nairobi, Kenya, 1999.
- OLJUNYK, Débora P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (Wetlands Construídos) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). UFSC, Florianópolis, 2008.
- OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**, 1ª ed., 3ª reimpressão. São Paulo – SP, 2002.
- ORGANIZAÇÃO das NAÇÕES UNIDAS. 2008. **Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.un.org>>. Acesso em: 08 out. 2013.
- PEEL, M. C. AND FINLAYSON, B. L. AND MCMAHON, T. A. **"Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification"**. Hydrology Earth System Science, 2007.
- PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; OLJUNYK, D. P.; KOSSATZ, B. **Eficácia dos Sistemas de Tratamento de Esgoto sanitário e de água para Consumo Humano Utilizando Wetlands Construídos Considerando Períodos Diferentes de Instalação e Diferentes Substratos e Plantas Utilizados**. Relatório Final de Projeto. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2007.
- PHILLIPI, L. S. & SEZERINO, P. H. **Aplicação de Sistemas Tipo Wetlands Construídos no Tratamento de Águas Residuárias: Utilização de Filtros Plantados com Macrófitas**. Florianópolis-SC, 2004.
- PHYTORESTORE BRASIL 2012 - **Portfólios, Folders e Banners**. Disponível em:<<http://issuu.com/phytorestore.brasil>> Acesso em novembro de 2013.
- PLATZER, C., HOFFMANN, H., CARDIA, W. **O wetland como componente de ecosan – experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical**. In: Proceedings of the International conference on sustainable sanitation: Food and water security for Latin America. Fortaleza, Brasil, 2007.
- PLATZER, C. **Design recommendations for Subsurface Flow constructed Wetlands for nitrification and denitrification**, in: Proceedings of the 6th IAWQ Conference on Wetland Systems in Water Pollution Control. Águas de São Pedro, SP, 1998.
- PRÓ GUAÍBA 2003. **Programa Pró-Guaíba**, Disponível em: <<http://www.proguaiba.rs.gov.br/bacias.htm>> Acesso em maio de 2009.
- ROLON, A. N.; MALTCHIK, L. **Áreas palustres: classificar para proteger**. Ciência Hoje, 2006.
- SALATI, E., SALATI E. F., SALATI E. **Utilização de sistemas de Wetlands construídas para tratamento de águas**. Publicação técnica – Instituto Terramax. Piracicaba, São Paulo, 2009.
- SALATI, E. **Controle de Qualidade de Água Através de Sistemas de Wetlands Construídos**. Publicação técnica – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. São Conrado, Rio de Janeiro, 2007.
- SAMUEL, P. R. S. **Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários Urbanos, através de Sistemas Descentralizados, para Municípios de Pequeno Porte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.
- SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- SEZERINO, P. H. ; OLJUNYK, D. P.; BENTO, A. P.; PANCERI, B.; PHILIPPI, L. S. **Tratamento de efluente doméstico combinado com efluente agroindustrial utilizando filtro plantado com macrófitas - Constructed Wetlands**. Evidência (Videira), 2007.
- SEZERINO, P. H.. PHILIPPI, L. S.; **Filtro plantado com macrófitas (Wetlands Construídos) como tratamento de esgotos em unidades residenciais: critérios para dimensionamento**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento Ambiental: Ética e Responsabilidade Social. Joinville, 2003.

- SNIS 2013. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: Janeiro de 2015.
- SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. C. V.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. **Utilização de Wetland Construído no Pós-tratamento de Esgotos Domésticos Pré-tratados em Reator UASB**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.
- SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; MCCUTCHEON, S. C. **Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination**. Ecological Engineering, 2002.
- TIMM J. M.; GOMES, L. P.; MALUF, R. W. **Desempenho de jardins filtradores (Wetlands Contruídos) no tratamento descentralizado de esgotos domésticos no sul do Brasil**. In: 1º Simpósio Brasileiro sobre Aplicação de Wetlands Contruídos Construídos no Tratamento de Águas Residuárias. Florianópolis, SC, 2013.
- TONETTI, A. L. ; CORAUCCI FILHO, B. ; STEFANUTTI, R. ; FIGUEIREDO, R. F.; SÃO PEDRO, C. C. O. **Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2005.
- TONIATO, J. V. **Avaliação de um Wetland construído no tratamento de efluentes sépticos – Estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro Brasil**. Dissertação de Mestrado - Escola nacional de saúde pública. Fundação Oswaldo Cruz, 2005.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. Artmed, 8ª edição. Porto Alegre, RS, 2005.
- TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas** – Ministério das Cidades – Brasília, 2005.
- UN-HABITAT. **Constructed Wetlands Manual**. Water for Asian Cities Programme. Nepal, Kathmandu, 2008.
- USEPA, **Free water surface Wetlands Contruídos for wastewater treatment: A technology assessment**. Washington - EUA, Office of Water, 1999.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Introduction to Phytoremediation**. Cincinnati, 2000.
- VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- VAN KAICK, T. S.; MACEDO, C. X.; PRESZNHUK, R. A. O. **Jardim ecológico - tratamento de esgoto por zona de raízes: análises e comparação da eficiência de uma tecnologia de saneamento apropriada e sustentável**. In: VI Semana de Estudos da Engenharia Ambiental UNICENTRO, Irati, 2008.
- VAZOLLÉR, R. F. **Microbiologia de lodos ativados**, São Paulo: CETESB, 1989.
- VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2005.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. v. 1. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.
- VYMAZAL, J.; **Removal of nutrients in various types of constructed Wetlands**. Science of the Total Environment, n. 380, 2007.
- VYMAZAL, J.; **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment – A Review**. Journal Water, Department of Landscape Ecology, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic. 2010.
- WERNER, C.; AVENDAÑO, V.; DEMSAT, S.; EICHER, I.; HERNANDEZ, L.; JUNG, C.; KRAUS, S.; LACAYO, I.; NEUPANE, K.; RABIEGA, A.; WAFLE M. **“Ecosan—closing the loop”**—Proceedings of the 2nd International Symposium on ecological sanitation, Lübeck, Germany, 2004.
- ZANELLA, L. **Plantas Ornamentais no pós Tratamento de Eluentes Sanitários: Wetlands Construídos Utilizando Brita e Bambu como Suporte**. Campinas, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2008.