



**IMPLANTAÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDAS EM ESCALA REAL  
PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM RESIDÊNCIAS DA  
BARRA DO RIBEIRA NO MUNICÍPIO DE IGUAPE – SÃO PAULO**

**IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTED WETLANDS IN REAL SCALE  
FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER IN RESIDENCES OF BARRA  
DO RIBEIRA AT MUNICIPALITY OF IGUAPE - SÃO PAULO**

BUENO, R. F.<sup>1</sup>

IORE, F. A.<sup>2</sup>

VICTORETTI, M.<sup>3</sup>

INÁCIO, A. R.<sup>4</sup>

CAPELLARI, B.<sup>5</sup>

CHAGAS, R. K.<sup>6</sup>

## RESUMO

Sistemas de tratamento de esgotos que integram a tecnologia de tratamentos naturais como as wetlands construídas são alternativas ao tratamento de esgotos sanitários provenientes de comunidade isoladas, ou seja, residências de baixa renda ou de pequenas coletividades, sob a perspectiva da descentralização. O presente estudo

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Professor Pesquisador do Centro Universitário Senac. Avenida Engenheiro Eusébio Stevaux, 823 - Santo Amaro, São Paulo – SP. E-mail: rodrigo.fbueno@sp.senac.br

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de Campinas; Coordenadora do curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Senac.

<sup>3</sup> Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

<sup>4</sup> Graduação em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

<sup>5</sup> Doutor em Geografia pela Universidade de São Paulo; Professor Pesquisador do Centro Universitário Senac.

<sup>6</sup> Doutor em Dinâmica Florestal pela Universidade de São Paulo; Professor Pesquisador do Centro Universitário Senac.



demonstra a técnica e materiais utilizados na construção de sistemas de wetlands construídas na Barra do Ribeira, município de Iguape, no estado de São Paulo. Esta tecnologia possui custos reduzidos para implantação e manutenção, e mostra-se eficiente na remoção de poluentes, afirmando sua aplicação em regiões onde não há coleta e tratamento de esgotos.

**Palavras-chave:** Zonas de raízes, wetlands construídos, saneamento descentralizado, tratamento de esgoto sanitário.

## ABSTRACT

Sewage treatment systems that integrate the technology of natural treatments such as constructed wetlands are alternatives to the treatment of wastewater from isolated community, other words, low-income households or small communities, from the perspective of decentralization. The present study demonstrates the technique and materials used in the construction of constructed wetlands systems in Barra do Ribeira, municipality of Iguape, in the state of São Paulo. This technology has reduced costs for implementation and maintenance, and proves efficient in removing pollutants, affirming its application in areas where there is no collection and treatment of sewage.

**Key-words:** Root zones, constructed wetlands, decentralized sanitation, wastewater treatment.



## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos têm implicações importantes para uma série de campos com interesses convergentes em reduzir "vulnerabilidades" e "resistências crescentes", incluindo desenvolvimento comunitário, gestão de ecossistemas, preparação para desastres, sustentabilidade e saúde pública. A rápida expansão das áreas urbanas e industriais é frequentemente associada com grande volume de geração de efluentes, que requer tratamento extensivo antes da disposição final em sistemas aquáticos.

Nos países em desenvolvimento, apenas uma pequena parcela de esgotos produzidos é tratada por estações de tratamento de esgotos. A disposição contínua de esgotos podem produzir danos irreversíveis ao meio ambiente e à saúde humana. O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento ou parcialmente tratados nos cursos d'água são fatores de risco, em decorrência da presença de patógenos presentes nos excretas e do excesso de nutrientes. A remoção do nitrogênio e do fósforo existente no esgoto sanitário tem sido cada vez mais necessária dada à necessidade de se controlar o processo de eutrofização dos corpos d'água, cujos efeitos maléficos são amplamente conhecidos.

As cidades pequenas, médias e nas metrópoles no Brasil, onde não há espaço e nem recursos para investimento para construção de grandes estações de tratamento de esgotos, além da ocupação em áreas de risco por comunidades de baixa renda, há uma necessidade crescente de investimento em inovação e em tecnologias. Dentre as tecnologias disponíveis os processos naturais de tratamento mostram-se promissores. As condições climáticas no Brasil favorecem a aplicação de sistemas naturais como as wetlands construídas e podem ser aplicados de acordo com o contexto local, apresentando diversas vantagens como: auxílio na gestão integrada dos recursos hídricos; reciclagem de nutrientes; auxílio no ciclo da água; redução dos impactos das enchentes na drenagem urbana; melhoria do microclima local com a recuperação de habitats em áreas próximas a córregos, rios e represas.

Dentro deste contexto, este estudo de caso refere-se a uma discussão sobre os materiais e técnicas utilizados na implantação de unidades demonstrativas em escala real de sistemas de tratamento de esgoto por meio de wetlands construídas em residências da Barra do Ribeira do município de Iguape, São Paulo.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

No Brasil, os investimentos em sistemas descentralizados ainda são escassos e o mesmo acontece para o uso de tecnologias simplificadas. O clima tropical do Brasil pode ser uma vantagem para o tratamento de esgotos por processos naturais e sistemas descentralizados com baixos custos de construção, gestão e manutenção. Dentre os principais processos naturais estão: 1) Tecnologias anaeróbicas, tais como lagoas anaeróbicas e reatores UASB; e 2) Tecnologias fotossintéticas, como lagoas facultativas, maturação e sistemas de zonas de raízes “wetlands construídas”. Os sistemas wetlands ocorrem em ecossistemas naturais (mangues, pantanal, zonas de raízes com transição entre ecossistemas aquáticos e terrestres) em todos os continentes, com exceção da Antártica.

No Brasil, as “wetlands” são reconhecidas como as várzeas dos rios e brejos e podem ser encontradas na bacia do rio Amazonas, no Pantanal, em formações lacustres de baixa profundidade, em zonas úmidas de regiões tropicais e subtropicais como os manguezais brasileiros. Como característica principal dessas áreas naturais tem-se a saturação com água, de forma permanente ou sazonalmente, de tal forma que ela assume as características de um ecossistema distinto com vegetação característica e adaptada às condições originais do solo como as macrófitas ou plantas aquáticas (Salati *et al.*, 2009; Keddy, 2010).

Quanto aos sistemas de wetlands construídos, os mesmos foram projetados para terem funcionamento semelhante ao que ocorre nos sistemas naturais, mas dentro de um sistema com mais controle (Wang *et al.*, 2009). Muitos estudos confirmaram os benefícios dos sistemas de wetlands construídos tais como a eficiência elevada de purificação, consumo de CO<sub>2</sub> e produção de O<sub>2</sub>, o custo relativamente baixo, fácil manutenção, além de ser uma tecnologia sustentável e integrada ao manejo de recursos hídricos, auxiliando na manutenção do ciclo hidrológico (Gross *et al.*, 2008).

De acordo com Cole (1998), o uso de sistemas de wetlands construídos está bem consolidado na Europa, onde a tecnologia se originou há cerca de 30 anos na Alemanha, sendo que a norma estabelece o uso de sistemas de fluxo subsuperficial, pois o tratamento é mais intensivo e em menor espaço em regiões com restrição de área. De fato, na Europa, há preferência para sistemas de tratamento de esgotos compactos e descentralizados, onde o espaço aberto é limitado. Na Dinamarca existem cerca de 150



sistemas de wetlands construídos em pequenas cidades e vilarejos para o tratamento de esgotos domésticos. Na Polônia existem cerca de 100 sistemas.

Os sistemas de wetlands construídos na América do Norte foram concebidos principalmente para o tratamento de esgotos domésticos em grande escala. Por meio de uma pesquisa em 1993, cerca de 300 sistemas de wetlands construídos foram avaliadas para o tratamento de esgotos, demonstrando o desempenho para a mistura de tipos de sistemas, sendo que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi reduzida de 73% para 8 mg/L, sólidos totais em suspensão foram reduzidos em 72% (13 mg/L), nitrogênio total foi reduzido em 53% (4,5 mg/L), e de fósforo total foi reduzido em 56% (1,7 mg/L). Desde os anos 90, cerca de 70 sistemas de wetlands construídos foram implantados em escala real para tratamento de efluentes industriais, agrícolas, escoamento de drenagem pluvial e de efluentes de atividades agropecuárias. Esses foram desenvolvidos para tratar efluentes de suínos, gado e produção de laticínios, predominantemente, no estado de Kentucky (EUA). Na Flórida, o sistema de wetland foi implementado para controle de águas pluviais como reservatórios de contenção, promovendo a restauração de habitats e da biodiversidade (Cole, 1998).

Gross *et al.* (2008) verificaram a eficiência na redução da concentração da DBO, sólidos em suspensão e dos nutrientes como Nitrogênio e Fósforo, além de contribuir na redução de metais, compostos químicos orgânicos e de patógenos. Além disso, observaram que os sistemas de wetlands construídos estão integrados à paisagem, fornecem habitat para os seres vivos e para a qualidade de vida dos seres humanos. Dentre alguns dos benefícios indiretos estão: a redução do impacto das chuvas em áreas de drenagem; aplicação de tecnologia natural para a gestão integrada de recursos hídricos em bacias hidrográficas; e inovação em tecnologia para melhoria do microclima com o aumento de áreas úmidas em escala local.

Entretanto, tais sistemas precisam de manutenção adequada, pois a falta de componentes operacionais pode levar a uma sobrecarga de oxigênio, perda da eficiência da remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de compostos nitrogenados, resultando na produção de odor e formação de criadouros de mosquitos vetores (Mara, 2004).

Vários estudos foram realizados em diversas regiões do mundo, utilizando o sistema de wetland construído para o tratamento de esgotos em nível secundário e terciário (Gomez Cerezo *et al.*, 2001; Rousseau *et al.*, 2004; Greenway, 2005; Toet *et*



*al.*, 2005). Outros estudos focaram no tratamento de esgoto bruto e esgotos domésticos (Ansola *et al.*, 2003; Belmont *et al.*, 2004; Solano *et al.*, 2004; Brix and Arias, 2005), para água de chuva (Walker, 2001), (Dierberg *et al.*, 2002), escoamento de aquacultura (Tilley *et al.*, 2002), escoamento em rodovias (Shutes *et al.*, 1999), efluente da agroindústria (Knight *et al.*, 2000) e chorume de aterros sanitários (Bulc *et al.*, 1997).

Diversos são os tipos de sistemas de wetland construídos que podem ser empregados no tratamento de esgotos como: wetlands com plantas flutuantes, wetlands com plantas emergentes, sistemas de macrófitas com fluxo superficial, sistema de wetland de fluxo horizontal subsuperficial, sistema de wetland de fluxo vertical, sistemas com macrófitas fixas submersas, sistemas de wetlands com solos filtrantes e sistemas de wetlands combinados (Kivaisi, 2001; Griggs & Grant 2001; Weedon, 2001; Salati *et al.*, 2009).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O projeto foi realizado no bairro Barra do Ribeira, na cidade de Iguape, localizada no Vale do Ribeira, que compreende a bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape com área de 24.980 km<sup>2</sup> abrangendo 23 municípios paulistas e 5 paranaenses (ISA, 2001). A cidade de Iguape encontra-se no litoral sul do Estado de São Paulo e é tombada como patrimônio histórico pelo Condephaat. Devido a sua beleza histórica e as riquezas naturais da cidade, o turismo torna-se sua principal fonte de renda (Ministério do Turismo, 2013). Iguape é considerada uma ilha artificial por ter sido originada pela abertura de um canal de ligação entre o Mar Pequeno e o Rio Ribeira de Iguape em 1832 (LIMA, 2010), e serviu de porta de entrada para o interior do Estado, através do Rio Ribeira. Segundo Queiroz (1999), a região é caracterizada por restinga, que necessita da manutenção do seu equilíbrio natural para fixar as dunas, estabilizar mangues e proporcionar um ambiente de reprodução para muitos animais aquáticos.

O bairro Barra do Ribeira, localizado a 20 km do centro de Iguape, está cercado de belezas naturais, atraindo turistas à praia da Juréia, trilhas, cachoeiras, rios, lagos e fica próxima a entrada da Estação Ecológica Juréia-Itatins, onde a visitação pública é proibida, por ser uma Unidade de Conservação de uso integral (Ministério do Turismo,



2013).

O bairro em questão é um exemplo de comunidade isolada e carente em saneamento básico. A baixa renda predomina entre os moradores, advinda da pesca e/ou do turismo. O bairro não possui rede coletora de esgoto, tampouco tratamento adequado, o esgoto gerado no bairro é direcionado à 'fossas negras', que são buracos abertos no solo, sem qualquer impermeabilização e que possibilitam a infiltração do esgoto, e o lençol freático encontra-se próximo à superfície, condições que proporcionam a contaminação do solo e corpos d'água da região (BRAGA, 2005; Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul, 2011; ITESP, 2008; PAIVA, 2009; VON SPERLING 1996).

Nos períodos de alta temporada do turismo, nos quais a população aumenta extraordinariamente, são notáveis o mau odor e a proliferação de doenças (WILDERER, 2001; QUEIROZ, 1999).

### **3.2 Escolha do local de implantação dos sistemas de tratamento**

Após avaliação técnica e socioeconômica foram escolhidas 02 residências no Bairro da Barra do Ribeira em Iguape para implantação dos sistemas de tratamento de esgoto. Os principais critérios de escolha foram: necessidade de tratamento, ou seja, residências sem nenhum tipo de tratamento de esgoto, moradores locais e renda familiar.

As duas residências se encontram a 200 metros da praia da Juréia, enquanto a residência 2 ainda encontra-se a 150 metros do rio Ribeira de Iguape, evidenciando a necessidade do tratamento adequado do esgoto gerado. As famílias residentes nas casas escolhidas possuem baixa renda familiar vinda, principalmente, da pesca e, não possuíam qualquer sistema para disposição do esgoto, nem mesmo a 'fossa negra', o esgoto era encaminhado para fora da residência e disposto na superfície do solo, gerando mau cheiro e possibilitando o desenvolvimento de vetores de doenças.

### **3.3 Dimensionamento dos sistemas de tratamento**

O projeto propôs, para as duas residências, a construção de um sistema constituído de caixa de gordura, tanque séptico, filtro anaeróbio, wetland construído



(WC) seguido de sumidouro. Esclarece-se aqui, que o dimensionamento seguiram as recomendações previstas nas normas da ABNT/NBR 7229 (1993) e ABNT/NBR 13969 (1997) respectivamente. Devido ao amplo conhecimento do dimensionamento dos sistemas de tanque séptico e filtro anaeróbio o estudo abordará os critérios de escolha das WC.

### 3.4 Wetlands Construídos (WC)

Os wetlands construídos (WC) podem apresentar 2 regimes de escoamento: superficial e subsuperficial. No primeiro, a lâmina d'água permanece acima do material filtrante, formando uma lâmina livre, enquanto no segundo, a lâmina d'água permanece logo abaixo do limite do material filtrante. Para compor os sistemas propostos nesse projeto foi escolhido o regime de escoamento subsuperficial que diminui, significativamente, a possibilidade de desenvolvimento de animais vetores de doenças, como mosquitos e moscas, além de evitar o mau cheiro e dificultar o contato direto entre as pessoas e o esgoto. Wetland de escoamento subsuperficial podem apresentar-se em 3 modalidades de fluxo: horizontal, vertical (neste caso, descendente) e, híbrido que associa os dois anteriores.

Nos WC de fluxo horizontal o esgoto a ser tratado é inserido na zona de entrada do leito, e, impulsionada por uma declividade de fundo do leito, percola pelo material de enchimento horizontalmente até a zona de saída. Esta configuração possui, de forma geral, boa performance na remoção da matéria orgânica e sólidos (Cooper *et al.*, 1996), além de apresentar simplicidade e baixo custo construtivo e operacional. Porém, conforme citado por Philippi & Sezerino (2004), esse tipo de sistema possui uma limitada capacidade de transferência de oxigênio, que limita o processo de nitrificação.

Nos WC de fluxo vertical o esgoto a ser tratado é inserido intermitentemente sobre a superfície do filtro e percolado verticalmente. Da mesma forma que nos wetlands de fluxo horizontal, seu interior é preenchido por material filtrante e as macrófitas são plantadas diretamente sobre ele. O efluente tratado é coletado no fundo por um sistema de drenagem. Segundo Drizo *et al.* (1997 apud CAMPOS), a remoção de nitrogênio é muito dependente do suprimento de oxigênio do sistema, e nos wetlands de fluxo vertical a aplicação intermitente de carga proporciona maior oxigenação do sistema, e com o interior do sistema em condições aeróbias, o processo de nitrificação é



beneficiado.

Os WC híbridos são constituídos de uma associação em série dos wetlands de fluxo horizontal e vertical. Nestes sistemas, as vantagens e desvantagens dos FV e FH podem ser combinadas de maneira a complementar cada um deles individualmente. É possível produzir um efluente com baixa concentração de matéria orgânica, completamente nitrificado e parcialmente desnitrificado. (PHILIPPI & SEZERINO, 2004)

A vantagem dessa associação é obter boa taxa de nitrificação no sistema de fluxo vertical, uma vez que são bem oxigenados, e, no sistema de fluxo horizontal, obter boa taxa de desnitrificação, pois nesse tipo de sistema é encontrada uma condição de anoxia, que favorece o processo.

### 3.5 Escolha da vegetação

As macrófitas são vegetais superiores que apresentam adaptações morfológicas e/ou fisiológicas que permitem a sobrevivência e desenvolvimento em ambientes saturados de água. Para os WC das casas 1 e 2 foram escolhidas macrófitas de acordo com sua resistência, se eram nativas, e apresentação estética, visando um ambiente agradável na casa receptora do sistema de tratamento. As espécies foram cedidas pelo Viveiro Itubanaíá localizado no município de Miracatu, próximo ao local de estudo.

As espécies foram: Rainha-do-lago (*Potenderia cordata* L.) que é tolerante ao frio, multiplica-se rapidamente, é nativa da América tropical e apresenta flores violeta-arroxeadas; Lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*), apresenta flores brancas e perfumadas, nativa das Américas; Papirinho (*Cyperus prolifer*), tem grande efeito ornamental, pouco sensível a baixas temperaturas; Inhame-preto (*Colocasia esculenta* var. *aquatilis*) de folhagem decorativa, flexibilidade de cultivo a pleno sol ou a sombra; Inhame-imperial (*Colocasia esculenta* var. *illustris*) apresenta flexibilidade de cultivo a pleno sol ou a sombra (LORENZI & SOUZA, 2008).

As macrófitas foram plantadas alternando-se as espécies e obedecendo ao critério de 4 mudas a cada m<sup>2</sup>, conforme literatura. Na figura 1 é possível observar as principais espécies utilizadas no estudo.

**Figura 1: Exemplo das Macrófitas utilizadas no estudo**



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Sistemas de tratamento

Mediante os princípios do projeto foram construídos 02 sistemas de tratamento de esgoto sanitário para no máximo 5 habitantes/ dia. Cada wetland construída (WC) teve como pré-tratamento caixa de gordura, tanque séptico e filtro anaeróbio. A WC da residência 1, foi de fluxo horizontal com alimentação sub-superficial onde se obterá somente a remoção de material orgânico e a WC implantada na residência 2 foi híbrida, com fluxo vertical seguida de fluxo horizontal onde se obterá a remoção conjunta de matéria orgânica e nutrientes.

A Tabela 1 mostra as principais dimensões das unidades de tratamento levando em conta as instruções normativas e conhecimento da literatura.

**Tabela 1: Principais dimensões e características dos sistemas de tratamento implantados**

ETAPA DE TRATAMENTO	RESIDÊNCIA 1	RESIDÊNCIA 2
Caixa de Gordura	20 litros	20 litros
Tanque Séptico	1000 litros	1000 litros
Filtro Anaeróbio	1000 litros	1000 litros
Wetland Construída	10 m <sup>2</sup>	10 m <sup>2</sup>

*\* A área das wetlands foi considerada de  $\pm 2\text{m}^2/\text{hab.}$ , valor recomendado pela literatura.*



A construção dos sistemas é relativamente simples. A construção das wetlands pode ser realizada por meio de lona plástica, no entanto o material deve garantir a impermeabilização do solo. Esse tipo de material é recomendado onde há uma grande variação do lençol freático garantindo uma resistência mecânica no sistema. A alternativa é a construção em alvenaria, essa mais recomendada, pois permite uma melhor impermeabilização e resistência ao tempo.

Em relação ao tanque séptico e ao filtro biológico, os sistemas podem ser realizados com material alternativo, como é o caso do uso de containers de transporte de líquidos, bombonas de poliuretano, etc. No entanto, recomenda-se o uso de alvenaria clássica devido à durabilidade e manutenção do sistema ao decorrer dos anos, conforme disposto na ABNT/NBR 13969 (1997).

O sistema implantado na residência 1 foi realizado em alvenaria, tendo como meio suporte no filtro anaeróbico e na WC pedra britada número 2. Na residência 2, os sistemas foram realizados em alvenaria, com exceção da WC de fluxo horizontal que foi realizada com lona plástica Agrofert 250 micras. A declividade do solo no interior das wetlands foi ajustada a uma queda de 3% para promover o escoamento satisfatório do esgoto dentro da unidade. Seguindo as dimensões sugeridas, os custos de materiais para cada sistema de tratamento (completo) foi em média de R\$1.500,00 (um mil e quinhentos reais), desconsiderando a mão de obra, a qual foi realizada pelos próprios moradores locais. A Figura 2 mostra os sistemas de tanque séptico e filtro anaeróbico implementados nas residências.

**Figura 2: Tanque séptico e filtro anaeróbico fase de implantação.**

**Residência 1 (A) e Residência 2 (B).**



## 4.2 Wetlands construídos

O sistema de alimentação da WC de fluxo horizontal implantado na residência 1 foi instalado sob o regime subsuperficial, onde o tubo de alimentação foi colocado cerca de 10cm da superfície do material de enchimento. A drenagem do esgoto percolado é feita por meio de drenos que foram instalados no fundo do WC. Ao redor dos drenos foram colocados resíduos de construção civil, que devido a maior granulometria potencializam a ação dos drenos. No WC-Híbrido implantado na residência 2, o módulo de fluxo horizontal teve o mesmo princípio do sistema anterior. Já no fluxo vertical a alimentação foi realizada por tubos perfurados colocados na superfície do sistema e a drenagem do esgoto percolado foi semelhante ao do WC de fluxo horizontal. A Figura 3 mostra os sistemas de tratamento de WC em fase de construção nas residências 1 e 2 e a Figura 4 se observam as principais características do sistema de alimentação e de drenagem dos WC's implantados nas residências.

**Figura 3: WC de fluxo horizontal (Residência 1) e WC-Híbrida (Residência 2)**



**Figura 4: Sistema de drenagem da WC de fluxo horizontal e sistema de alimentação do fluxo vertical da WC-Híbrida**



Para sustentação do módulo horizontal da WC-Híbrida foi instalado uma armação feita com peças recicladas. No entanto, essa armação pode ser suprimida sem problemas. A Figura 5 mostra a instalação da armação e disposição da lona impermeabilizante do solo. Todas as wetlands foram preenchidas com pedra britada e na parte superior com a própria terra do local. Para separar as camadas foi utilizada tela mosquiteiro, impedindo que a areia ocupe os espaços vazios entre as pedras, o que causaria uma rápida colmatção do módulo.

**Figura 5: Construção do módulo de fluxo horizontal do WC-Híbrido. Armação de sustentação (A) e lona de impermeabilização com pedra britada (B)**



Na Figura 6 pode-se observar o sistema de WC em operação. A figura mostra o sistema de WC-Híbrido implantado na residência 2. O WC implantado na residência 1 foi semelhante ao representado na Figura 6 (B). Os WC são eficientes na remoção de matéria orgânica podendo atingir remoções de DBO, coliformes termotolerantes e

sólidos superiores a 90%. Em relação à remoção dos nutrientes, a WC-Híbrida pode atingir elevadas eficiências o que dificilmente se atinge nas WC de fluxo horizontal.

**Figura 6: Sistema de WC-Híbrido em operação (C) implantado na residência 2. Módulo de fluxo vertical (A) e fluxo horizontal (B).**



## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pode-se concluir que os sistemas de tratamento de esgotos que integram as wetlands construídas apresentaram potencial de utilização a fim de minimizar problemas correlacionados ao déficit de saneamento básico, com elevada eficiência de tratamento.

Os custos associados à construção destes aparatos podem ser reduzidos pela utilização de materiais alternativos, possibilitando desta forma, maior acessibilidade para as populações não atendidas por sistemas convencionais de tratamento de esgotos em terem seus direitos assegurados e evidentes melhorias em suas vidas.

## 6. AGRADECIMENTOS

À Prefeitura de Iguape pelo apoio; ao Centro Universitário Senac pelo transporte dos alunos e financiamento do projeto; aos alunos do 8º período noturno da Engenharia Ambiental que participaram ativamente do planejamento à execução deste projeto; à coordenação do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária; ao Viveiro Itubanaia pela doação das mudas; à AMBAR – Associação de Moradores da Barra do Ribeira, e aos moradores pela recepção e participação durante toda a fase de implantação do projeto.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSOLA, Gemma; GONZÁLEZ, Juan Manuel; CORTIJO, Rubén; LUIS, Estanislao de. Experimental and full-scale pilot plant constructed wetlands for municipal wastewater treatment. **Ecology Engineering**, v. 21, n° 1, p. 43-52, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: 1993.

BRAGA, Y. S. **Avaliação do impacto de efluente doméstico tratado lançado no estuário do Rio Sauípe**. Bahia: UFBA, 2005. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ecologia e Biomonitoramento, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2005.

BRIX, Hans; ARIAS, Carlos. Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage. **Water Science. Technology**, v. 51 n° 9, p. 1-9, 2005.

CAMPOS, Juacyara Carbonelli. **Tratamento do chorume do aterro sanitários de Pirai (RJ) utilizando wetlands**. VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 11**. Registro: 2011 – ano base 2010.

COOPER *et al.*, **Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment**, Swindon: WRc plc. 1996.



DIERBERG, Forrest E; DEBUSK, Thomaz A; JACKSON, Scott D.; CHIMNEY; M.J.; and PIETRO, K. Submerged aquatic vegetation-based treatment wetlands for removing phosphorus from agricultural runoff: response to hydraulic and nutrient loading. **Water Research** 36, 2002. p. 1409-1422.

GÓMEZ CERESO, R., Suárez, M. L. and Vidal-Abarca, M. R. (2001). **The performance of a multi-stage system of constructed wetlands for urban wastewater treatment in a semiarid region of SE Spain.** *Ecol. Eng.*, 16, 501-517.

Instituto Socioambiental (ISA) – Campanha contra barragem do Ribeira. 2001

KIVAISI, A. K., “**The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review.** *Ecological Engineering*. Nº 16, p. 545 – 560, 2001.

LORENZI, Harri & SOUZA, Hermes Moreira de. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras.** 4ª ed. Instituto Plantarum, 2008.

PHILIPPI, Luiz Sérgio & SEZERINO, Pablo Heleno, **Aplicação de sistemas tipo wetland no tratamento de águas residuárias - Utilização de filtros plantados com macrófitas,** Ed. Do Autor, Florianópolis, 2004.

ROUSSEAU D.P.L., P.A. Vanrolleghem and N. De Pauw (2004). **Constructed wetlands in Flanders: a performance analysis.** *Ecological Engineering*, 23, 151.

SALATI, E. *et al.*, 2009, **Estimativas da oferta de recursos hídricos no brasil em cenários futuros de clima (2015 – 2100)** In: Margulis, S., Marcovitch J., Dubeaux, C.B.S. (org), *Economia das Mudanças do Clima no Brasil: custos e oportunidades* (www.economiadoclima.org.br), In Press.

SHUTES, R. B. E., Revitt, D. M., Lagerberg, I. M., BarrauD, V. C. E. **The design of vegetative constructed wetlands for the treatment of highway runoff.** *Sci Total Environ* 1999; 235:189 ± 97.



SOLANO, M.L., SORIANO, P., CIRIA, M.P. **Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages.** Biosystems Engineering, 87, (1), 109-118, 2004.

TILLEY, D. R.; Badrinarayanan, H.; Rosati, R. and Son, J. (2002), **Constructed wetlands as recirculation filters in large-scale shrimp aquaculture.** Aquac. Eng., 26, 81-109.

TOET S., Logtestijn R.S.P.V., Schreijer M., Kampf R., Verhoeven J.T.A. (2005) **The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant.** Ecol. Eng. 25:101-124.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias;** Vol. 1, 2ª Edição revisada; Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA. UFMG. 243 p. 1996.

WANG, R.; Korboulewsky, N.; Prudent, P.; Baldy, V.; Bonin, G. **Can vertical-flow wetland systems treat high concentrated sludge from a food industry?** A mesocosm experiment testing three plant species. Ecological Engineering, v.35, p.230-237, 2009.

WEEDON, C.M., 2003. **Compact vertical flow constructed wetland systems—first two years' performance.** Water Sci. Technol. 48 (5), 15–23.

**Data de Recebimento 23/9/13**

**Data de Aceite 24/9/13**