



**COMBINAÇÃO DE TRATAMENTO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO DE ESGOTO  
DOMÉSTICO EM SISTEMA DE FILTROS PLANTADOS COMO SOLUÇÃO  
DECENTRALIZADO DE ALTA EFICIÊNCIA E BAIXO CUSTO OPERACIONAL**

**Heike Hoffmann** <sup>(1)</sup>

Microbióloga pela Universidade Greifswald/ Alemanha, Doutora em Ecologia Aquática pela Universidade Rostock/Alemanha, Pós-doutorado na UFSC, Pesquisadora Visitante do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFSC, bolsista CNPq, Pesquisadora Visitante do Universidad Nacional Agraria de La Molina, Lima, Peru, consultora das empresas Rotaria del Peru, Akut del Peru e Rotaria do Brasil.

**Juan Gamarra** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru, consultora das empresas Rotaria del Peru, Akut del Peru SAC

**Blanca Villafranca Marchand** <sup>(3)</sup>

Engenheira pela Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru, consultora da empresa Rotaria del Peru, bolsa de CNPq para mestrado para do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFSC.

**Christoph Platzer** <sup>(4)</sup>

Engenheiro Civil pelas Universidades Técnicas de Hannover e Munique (Alemanha), Doutor em Saneamento pela Universidade Técnica de Berlim, Alemanha; consultor das empresas Rotaria del Peru, Akut del Peru e Rotaria do Brasil

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Rua Teodoro Manuel Dias, 421 – Santo Antônio de Lisboa - Florianópolis - SC - CEP: 88050-540 - Brasil - Tel: +55 (48) 3234-3164 - Fax: +55 (48) 3234-3164 - e-mail: [heike@rotaria.net](mailto:heike@rotaria.net).

**RESUMO**

Pela primeira vez em escala real na America Latina é implementado o wetland de “Sistema Francês”. O sistema foi desenvolvido na França nos anos 80 e já é aplicado em mais de 500 estações descentralizadas neste país (Molle *et al.*, 2005) e também em outros países Europeus. O objetivo da implantação desse sistema pela empresa Rotaria del Peru na cidade de Chinchá localizada na costa do Peru, consiste em oferecer uma solução com altíssima eficiência, independência e economia da operação, já que todo efluente tratado é reutilizado para a irrigação. Chinchá está localizada em 12,3° de latitude sul e o clima quente da cidade exige as seguintes adaptações no dimensionamento: 1) foram confeccionadas duas áreas na primeira etapa (filtro de brita), operado em alternância de 3 em 3 dias, em vez das três áreas do “Sistema Francês”; 2) a área de tratamento da segunda etapa (filtro de areia) foi reduzida conforme o modelo de dimensionamento de Platzer (1999); 3) o material dos dois filtros (brita e areia) foi adaptado ao material disponível na região; 4) foram escolhidas plantas adaptadas ao clima do local (papiros chinês, *Cyperus alternifolius* e Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*); 5) foi instalado um sistema de monitoramento com telemetria, que disponibiliza informações da operação da estação via internet com a finalidade de controlar o funcionamento e assegurar a qualidade necessária para o reuso. O sistema está em operação há 20 meses. A eficiência do processo é de 99% na remoção do DBO<sub>5</sub>, DQO, SST e 100% para Amônia. Já na primeira etapa a eficiência da remoção de DBO<sub>5</sub> e DQO chega 96% e a nitrificação chega 75%. A turbidez se reduz de 471 NTU no esgoto bruto a 7,5 NTU depois da primeira etapa e 0,3NTU no efluente final. Bactérias (coliformes) termotolerantes aparecem no efluente final na média com 9x10<sup>3</sup> NMPe não foram detectados Entamoeba, Giárdia e Helmintos, mesmo que apareceram no esgoto bruto com frequência. Os resultados mostram o grande potencial para sua aplicação em ETEs descentralizadas também no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema francês, descentralização, dimensionamento, reuso, automação.



## **INTRODUÇÃO**

O tratamento descentralizado de esgoto sanitário desempenha um papel cada vez mais importante no Brasil. O desenvolvimento dos sistemas centralizados de esgotamento sanitário geralmente não acompanha o rápido crescimento das áreas urbanas, pois geralmente precisam de longas etapas de planejamento e dependem de processos complexos até sua consolidação. Nestas situações a aplicação de ETEs descentralizadas pode apresentar uma solução alternativa que oferece a opção de investir em etapas. Por outro lado existem situações com largas distâncias, onde o investimento em ETEs descentralizadas pode apresentar a única solução viável. Os casos podem ser pequenas cidades ou povoados, condôminos isolados, também sítios turísticos, estabelecimentos industriais e comerciais e outras. Comparando com sistemas centralizados, as exigências à sistemas descentralizados são de certa forma mais elevadas, isso especialmente porque ETEs descentralizadas devem absorver vazões e/o cargas mais acentuadas e ao mesmo tempo devem ser aplicadas tecnologias com baixo custo de investimento, operação e manutenção, ou seja, simples e econômicos, que ainda necessitam garantir alta eficiência de estabilidade do processo do tratamento.

Os wetlands podem responder a estas exigências, sempre que tiver área disponível suficiente para sua implantação. De forma técnica os wetlands apresentam um tratamento secundário e seu funcionamento depende ainda de um tratamento primário, como por exemplo, uma fossa séptica, um reator ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) ou outros. No tratamento primário usual os sólidos do esgoto bruto decantam como lodo fecal e o sobrenadante passa como efluente líquido para o tratamento secundário. O lodo permanece no reator primário e é estabilizado por o processo anaeróbico. Os lodos fecais devem ser tirados com frequência e precisam ainda de um tratamento final que depende de seu nível de estabilização e das exigências específicas do seu destino final. A necessidade da gestão destes lodos fecais apresenta um dos pontos críticos para o conceito dos sistemas descentralizados, uma vez que o serviço adequado nem sempre está disponível, além disso, provocam custos operacionais.

O “Sistema Francês” é desenhado para tratar esgoto bruto sem produzir lodos fecais. Isso é um fato muito interessante para a operação e a razão para a aplicação deste sistema na França como solução preferencial para casos de 200 a 2000 habitantes (Molle *et al.*, 2005). Os primeiros sistemas operam desde os anos 80 e a aplicação em escala começou a partir de 1999. A avaliação de Molle *et al.* (2005) mostrou em todos os casos um funcionamento estável e eficiências médias de remoção de 90% da DQO; 95% dos SST e 85% de NTK no sistema de duas etapas. Os autores também fizeram uma classificação das eficiências específicas da primeira e segunda etapa. Estas experiências formaram a base da adaptação do dimensionamento para o projeto da empresa Rotária do Brasil e adicionalmente se aplicaram os resultados de pesquisa prévia no Brasil (Platzer *et al.*, 2007; Hoffmann *et al.*, 2011), que provaram especialmente para os wetlands de fluxo vertical a possibilidade de aumento de cargas aplicadas correspondendo com o aumento da temperatura do ambiente.

## **METODOLOGIA**

### **Princípios básicos do “Sistema Francês”**

O sistema recebe esgoto bruto que é tratado em duas etapas em série, a primeira etapa (figura 1) tem dois objetivos: a separação eficiente das fases (efluentes sólidos e líquidos) e o tratamento definitivo dos sólidos. A segunda etapa consiste no tratamento dos efluentes líquidos e corresponde ao tratamento “tradicional” no wetland de fluxo vertical.

1. Na primeira etapa o esgoto bruto com os sólidos é distribuído na superfície de um filtro plantado de fluxo vertical que é composto de brita como material filtrante. O esgoto bruto é filtrado de forma que os líquidos passam para baixo e os sólidos ficam retidos sobre o filtro, onde degradam naturalmente sob condições aeróbias. Diferentemente do processo anaeróbico (por exemplo na fossa séptica) o processo de oxidação da matéria orgânica não libera mal odor, nem gás metano, que necessitaria de um cuidado especial por causa do seu efeito prejudicial ao meio ambiente. A primeira etapa do “Sistema Francês” evita todos estes problemas. A condição necessária para que os sólidos sejam degradados consiste na divisão das áreas do filtro com possibilidade de operar as partes em alternância. No “Sistema Francês” a primeira etapa sempre está dividida em 3 áreas, cada uma opera 3 dias e depois descansa 6 dias entretanto as duas outras áreas estão em operação. A fase de descanso serve para que os sólidos possam secar e o sistema não colmate. Este esquema de operação é fundamental importância para o funcionamento da primeira etapa.

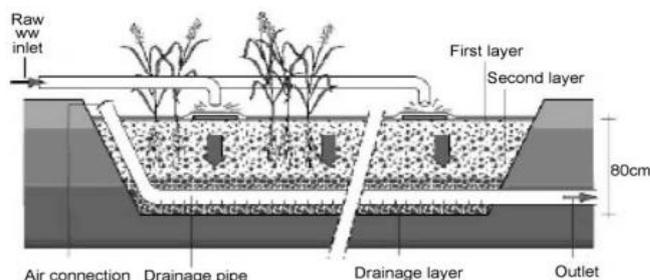


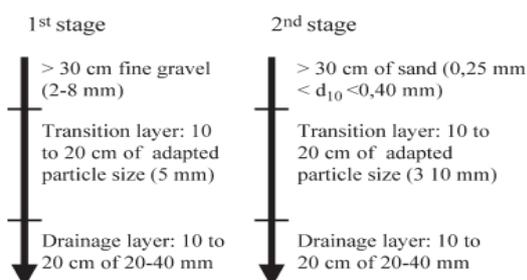
Figura 1: Esquema do funcionamento da primeira etapa do “Sistema Francês”, Molle *et al.*, 2005 (cópia)

As substâncias que não são degradáveis, ou degradam mais lentamente, formam aos poucos uma camada de substrato que não prejudica o funcionamento do filtro e sim contribui com o processo da filtração de forma que retém as partículas mais finas e melhora assim a eficiência do sistema. Segundo as experiências na França esta camada deve ser tirada a cada 10 à 15 anos.

2. O efluente líquido por sua vez passa também pela segunda etapa, isto é, o filtro plantado de fluxo vertical, com areia como material filtrante. O efluente é distribuído por toda superfície do wetland em intervalos de 4 a 8 horas com bomba e tubos perfurados. O tratamento ocorre durante a passagem vertical do efluente pelo filtro de areia e raízes, onde as bactérias aeróbias e anóxicas formam o biofilme. No “Sistema Francês” o wetland da segunda etapa é dividido em duas partes que dependendo do sistema podem ser operadas de três maneiras: alternadamente, em sequência ou em paralelo (Molle *et al.*, 2005).

No resultado de uma avaliação de 72 ETEs deste sistema na França, Molle *et al.* (2005) recomendam uma área total de ao menos 2 m<sup>2</sup> por habitante. Este valor é válido para o clima Francês e esgoto bruto da seguinte composição: contribuição de 150 l/hab.d com carga de 120 g DQO/hab.d; 69 g SST/hab.d; e 11 g NTK/hab.d. Para o dimensionamento do sistema os autores recomendam de subdividir os 2 m<sup>2</sup>/hab. da seguinte forma:

- 1,2 m<sup>2</sup> por habitante para a primeira etapa que é dividida em 3 compartimentos com alimentação alternada (carga hidráulica de 0,37 m<sup>3</sup>/d, DQO de 300 g/m<sup>2</sup>.d e SST de 150 g/m<sup>2</sup>.d)
- 0,8 m<sup>2</sup> por habitante para a segunda etapa que está dividida em 2 compartimentos.



Como material filtrante Molle *et al.* (2005) recomendam (figura 2):

- **Primeira etapa:** 30 cm brita de 2-8 mm, depois 10 a 20 cm de brita de 5 mm e para a proteção da drenagem 10 a 20 cm de brita de 20 a 40 mm
- **Segunda etapa:** 30 cm areia de 0,25 mm < d<sub>10</sub> < 0,40 mm, depois 10 a 20 cm de brita fina de 3 a 10 mm e para a proteção da drenagem com 10 a 20 cm de brita de 20 a 40 mm de tamanho.

Figura 2: Esquema de Molle *et al.*, 2005 da composição dos materiais e dos filtros da primeira etapa (brita) e da segunda etapa (areia) no “Sistema Francês”.

### Descrição detalhada do projeto e a sua adaptação do “Sistema Francês”

A estação do tratamento do esgoto foi aplicada em uma pequena cidade (Chincha) a 200 km no sul da capital do Peru, para um asilo com contribuição equivalente a 60 habitantes. Chincha é localizada em 12,27° de latitude sul, o clima é quente (20° C média anual) e seco (menos de 10 mm de precipitação anual em forma de neblina). Toda costa peruana é desértica e a agricultura depende da irrigação artificial. O asilo tem uma área de um hectare, em que estão localizados poucos prédios, como casas com dormitórios, salas de terapia e serviços médicos, a cozinha central e uma lavanderia. O projeto foi financiado por uma ONG (*Ayuda Me*) com objetivo de oferecer ao asilo as oportunidades relacionadas a recuperação dos efluentes tratados para irrigação das áreas e jardins. A vazão de projeto é de 7,5 m<sup>3</sup> esgoto/dia com o uso típico nesta região de 125 l/hab.d. Os custos para o projeto e instalação completa correspondiam, em 2011 (Peru), a cerca de 19.000 USD. A Figura 3 mostra o esquema de funcionamento e as Figuras 4 a 9 mostram fotos dos detalhes da sua instalação.

Como já existia uma rede de esgotamento por gravidade que estava conectada com a rede pública de esgoto (sem estação do tratamento nenhuma), foi construído no terreno do asilo apenas um desvio um pouco mais profundo para a estação de tratamento. O esgoto bruto chega primeiramente em uma elevatória que tem a



geometria de um funil e é equipado com duas bombas trituradoras no fundo (Figura 3). Assim é garantido que todos os sólidos são bombeados para seu tratamento na primeira etapa.

Desta elevatória o esgoto bruto é bombeado em média 3 vezes por dia com uma das bombas trituradoras, o sistema de recalque é controlado por automação e regulado com o nível da elevatória. Os intervalos reais de funcionamento das bombas ficam registrados em um banco de dados, disponível via internet.

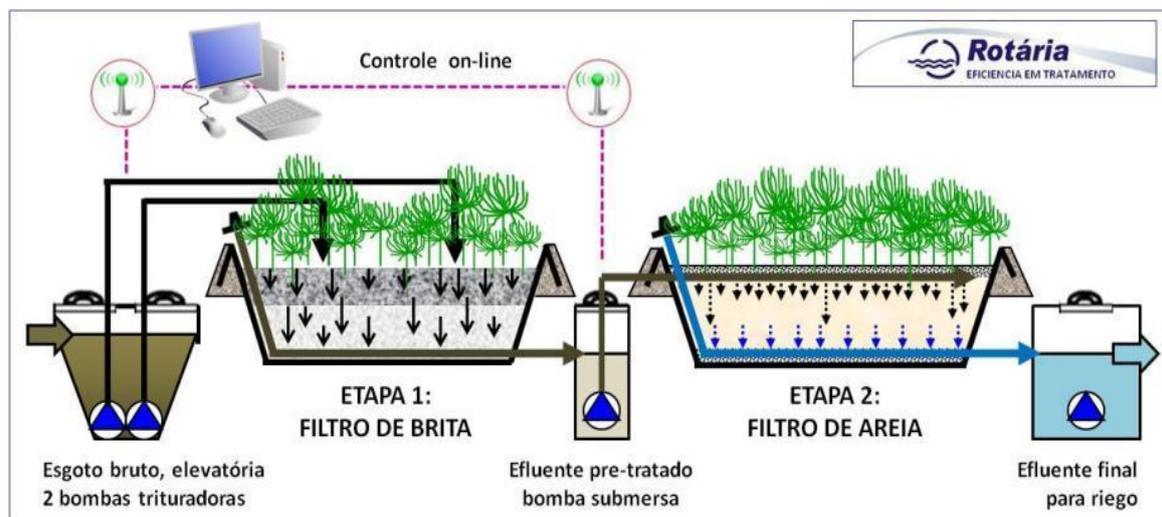


Figura 3: Esquema do sistema de tratamento. As elevatórias e poços são subterrâneos, construção em concreto armado, os wetlands são vedados com lona impermeável. O sistema de automação e controle online acontece pelo sistema SCADAweb da empresa Rotária do Brasil.

A **primeira etapa** tem superfície efetiva de 60 m<sup>2</sup> e altura total de 1,40 m. Aborda livre é de 40 cm, o filtro de brita é composto por 3 camadas com 100 cm altura total. Para sua construção foi usado brita de um rio que se encontrava na região. Nos primeiros 60 cm (desde a superfície) se utilizou uma brita fina com um diâmetro médio de ¼” (6,4 mm), a segunda camada com 25 cm de altura a brita é de ½” (12,7 mm). No fundo foi colocada uma camada de drenagem com 15 cm de altura e a brita é de ¾”(19,1 mm). Portanto o sistema varia do “Sistema Francês” (figura 2) na altura da primeira camada e no tamanho da brita das outras duas camadas.

Por causa do clima a área somente foi dividida em 2 partes em vez das 3 partes do “Sistema Francês”. Por um lado, nas condições locais a secagem dos sólidos ocorre mais rápida, por outro lado as plantas do wetland provavelmente não resistem muito tempo (6 dias) sem água. Como vegetação foi escolhida uma mistura de Papiro chinês (*Cyperus alternifolius*) e Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), ou seja, plantas que são caracterizadas por resistência contra altas concentrações de sais e períodos de seca (Hoffmann et al. 2011).

Cada bomba trituradora alimenta uma metade da área com o esgoto bruto (Figura 3), que chega por um tubo acima da superfície (coberta pela vegetação) e espalha-se durante 10 a 15 minutos (compare com a figura 8). As duas bombas operam em alternância, o sistema é programado pela automação, de forma que a cada 3 dias é alimentada a outra metade da superfície do filtro.

O efluente líquido é coletado no fundo do wetland por um tubo de drenagem. O efluente chega por gravidade à elevatória intermediária (figura 3), de onde é bombeado com bomba submersa ao segundo wetland.

A **segunda etapa** tem uma superfície de 60 m<sup>2</sup> e altura total de 1,10 m. Tem 20 cm de borda livre, depois 10 cm de brita para cobertura de tubos de distribuição e no fundo 20 cm de drenagem com brita (figura 3). O filtro de areia, ou seja, a zona ativa da degradação biológica, tem profundidade efetiva de 60 cm. A areia disponível na região era relativamente fina e com muita poeira (figura 6; amostra 1 e 2), por fim um fornecedor ofereceu uma areia de rio, ainda fina, mas sem poeira e bastante uniforme (figura 6; amostra 3).

Diferentemente ao “Sistema Francês” esta etapa não foi dividida em duas partes, mas no caso de problemas operacionais é possível de isolar um por um os 5 tubos de distribuição para deixar secar uma área. Como vegetação foi escolhida o Papiro chinês (*Cyperus alternifolius*) por causa de sua boa adaptação.

Para o armazenamento do efluente tratado foi construída uma cisterna subterrânea com volume de 14,4 m<sup>3</sup>.



Etapa da obra com fotos e detalhes técnicos



Figura 4: Wetlands da 1ª. e 2ª. etapa preparado



Figura 5: Impermeabilização com lona HDPE

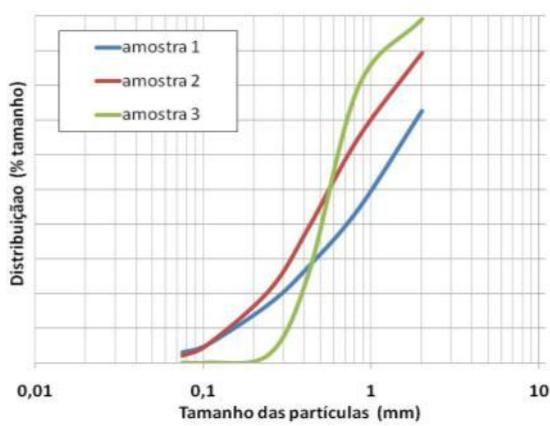


Figura 6: Granulometria das amostras de areia



Figura 7: Etapa 2 depois do início da operação



Figura 8: Teste de funcionamento da na 1ª. etapa



Figura 9: Start up da operação em novembro 2011



## RESULTADOS

### Experiência da operação e resultados das análises em físico

O sistema está em operação desde novembro 2011 sem nenhum problema operacional e todo efluente está sendo reutilizado para irrigação de áreas verdes e produtivas com cultivos (figura 12). O sistema é monitorado online e localmente é operado pelos técnicos do asilo que foram capacitados pela empresa Rotária, mas não têm formação técnica especializada em saneamento.

A vazão do esgoto aumentou agora (janeiro a abril de 2013) a uma média de 13 a 15 m<sup>3</sup>/d, que é aproximadamente o dobro do valor inicialmente previsto no projeto. Esta vazão se calculou através das informações disponíveis pelo sistema de telemetria SCADAweb, segundo este as bombas funcionam 5 a 6 vezes por dia, em vez das 3 vezes programadas pela automação. A verificação da vazão exata de esgoto e seu comportamento durante o tempo ainda está em andamento.

A operação da ETE está sendo acompanhada por um trabalho de TCC da *Universidad Agraria La Molina* de Lima no Peru e até agora foram feitos 5 campanhas de análises, com frequência de 1 a 3 meses entre o 6º e 18º mês de funcionamento. As amostras foram analisadas em laboratórios comerciais de Lima. Por razões econômicas não foi possível de analisar todos os parâmetros em todas as campanhas, além disso, foi necessário tirar alguns resultados improváveis, por isso a tabela 1 mostra o resumo dos valores médios de 2 a 5 análises para cada parâmetro.



Figura 10: Amostras de esgoto bruto (P-1), efluente da primeira etapa (P-2) e efluente da segunda etapa (P-3).



Figura 11: Efluente final (saída do dreno, entrada reservatório)

Tabela 1: Resultados médios das análises com números de análise e os valores máximos e mínimos (redondos); e indicadores específicos de infecção com seu aparecimento em 2 campanhas

Parâmetros	Unidades	Nº	Esgoto bruto(P-1)	1ª. Etapa(P-2)	Efluente final (P-3)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	4	<b>1960</b> (máx 4560/min 540)	<b>74,5</b> (máx 126/min 36)	<b>16,5</b> (máx 36/min 10)
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	4	<b>656</b> (máx 1280/min 270)	<b>23,0</b> (máx 33/min 10)	<b>4,0</b> (máx 6/min 3)
Amônio-N	mg N/L	3	<b>23</b> (máx 30/min 18)	<b>5,7</b> (máx 8/min 4)	<b>0,0</b> (máx 0/min 0)
Nitrito-N	mg N/L	3	-	<b>0,5</b> (máx 0,7/min 0,3)	<b>0,1</b> (máx 0,1/min 0)
Nitrato-N	mg N/L	3	-	<b>10,6</b> (máx 16/min 7)	<b>8,4</b> (máx 9/min 7)
Fosfato-P	mg P/L	3	<b>7,9</b> (máx 10/min 6)	<b>5,5</b> (máx 8/min 3)	<b>4,4</b> (máx 6/min 3)
Turbidez	NTU	4	<b>470,0</b> (máx 830/min 270)	<b>7,5</b> (máx 9/min 5)	<b>0,3</b> (máx 0,3/min 0,4)
pH	-	5	<b>7,6</b> (máx 8,1/min 7,0)	<b>7,2</b> (máx 7,6/min 7,0)	<b>6,9</b> (máx 7,3/min 6,6)
Condutividade	µS/cm	3	<b>1400</b> (+/- 120)	<b>1380</b> (+/- 10)	<b>1250</b> (+/- 25)
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	5	<b>4,3x10<sup>7</sup></b> máx 1,3 x 10 <sup>8</sup> min 5,0 x 10 <sup>6</sup>	<b>5,1x10<sup>6</sup></b> 4,0 x 10 <sup>4</sup> 2,3 x 10 <sup>7</sup>	<b>9,4 x10<sup>3</sup></b> min 1,4 x 10 <sup>1</sup> máx 4,4 x 10 <sup>4</sup>
Entamoeba	NMP/1000ml	1ª.	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Cryptosporid.	NMP/1000ml	1ª. /2ª.	<b>0 / 0</b>	<b>0 / 0</b>	<b>0 / 0</b>
Giárdia	NMP/1000ml	1ª. /2ª.	<b>0 / 150</b>	<b>20 / 0</b>	<b>0 / 0</b>
Helmintos	NMP/1000ml	1ª. /2ª.	<b>&lt;1 / &lt;1</b>	<b>&lt;1 / 60</b>	<b>&lt;1 / &lt;1</b>



Figura 11: Sistema em dezembro de 2012



Figura 12: Irrigação com efluentes tratados no jardim

### **Observações específicas a respeito das análises do sistema**

Vale ressaltar que devido as características do sistema verificou-se uma certa dificuldade de tirar amostra representativa do esgoto bruto. Primeiramente é difícil tirar uma amostra na elevatória inicial (figura 3), porque aqui os sólidos sedimentam e não tem característica uniforme do esgoto. A segunda opção, tirar a amostra no tubo da alimentação da primeira etapa (figura 8), também se mostrou difícil, porque durante a fase do bombeamento (10 a 15 min) a característica do esgoto muda: nos primeiros segundos o esgoto é muito carregado (lodo sedimentado) e nos últimos minutos o esgoto bruto já é praticamente transparente (sobrenadante). Por este motivo sempre foram tirados 3 baldes do efluente (início, meio e final da fase de bombeamento) que depois foram misturadas, sem necessariamente encontrar a mistura real de esgoto bruto. Diferentemente desta situação difícil, as amostras da primeira e segunda etapa foram coletadas diretamente na saída do dreno dos dois filtros, ou seja, na entrada da elevatória intermediária (etapa 1) e na entrada do reservatório (etapa 2; figura 11), estas amostras correspondem a qualidade real do efluente.

Consequentemente os valores do esgoto bruto na tabela 1 mostram grandes variações especialmente nos valores de concentrações de DQO e DBO<sub>5</sub>, também a alta relação entre a concentração do DQO e DBO<sub>5</sub> pode ter sua explicação neste problema, por exemplo por captação das partículas inertes no lodo de algumas amostras. Mas por outro lado também deve ser mencionado que se observou uma redução das concentrações durante as campanhas e isso tem sua explicação num aumento da produção do esgoto (diluição).

Outro parâmetro relevante consiste na baixa concentração do Amônio-N no esgoto bruto, uma explicação pode ser a dieta dos moradores do asilo (alimentação vegetariana), mas também pode ser que uma parte do Nitrogênio ainda esteja presente como NTK, porque neste caso não acontece nenhuma degradação antes que o esgoto chega à superfície do wetland da primeira etapa. Esta dúvida somente pode ser esclarecida com conhecimento do parâmetro NTK que ainda falta analisar. Ao outro lado a balança de nitrogênio fecha bem, não se observa “perda” inexplicável de nutrientes (nitrogênio e fósforo): o fósforo tem uma redução de 2,4 mg P/ L na primeira e 1,4 mg P/ L na segunda etapa e nitrogênio se reduz de 6,3 mg N/ L na primeira e 8,6 mg N/ L na segunda etapa. Isso com certeza é a parte de nutrientes (N e P) que foi absorvida pela vegetação que cresceu nesta época (figura 11).

## **DISCUSSÃO**

### **Eficiência da 1ª Etapa e comparação com o “Sistema Francês”**

A primeira etapa mostrou uma eficiência de 96% em remoção de DQO e DBO<sub>5</sub>, isso é muito mais que outras tecnologias de pré-tratamento podem alcançar (Fossa Séptica e Tanque Imhoff 30-40%; ABR 50-60%), também o resultado da turbidez (7,5 NTU) e da remoção do Amônio de 75% mostra a surpreendente capacidade deste tipo de filtração aeróbica. Segundo a avaliação dos autores Molle *et al.* (2005) os sistemas operados na França chegaram na primeira etapa numa eficiência de 80% remoção de DQO e até 50% remoção do Amônio, eles conseguiram relacionar a eficiência específica também com a carga hidráulica (maior carga hidráulica, melhor eficiência de remoção do DQO) e a nitrificação relacionaram com a temperatura (mais eficiente no verão). Também confirmaram que sobrecargas até 15% da carga orgânica e 25% da carga hidráulica não afetam na eficiência da remoção de DQO e sólidos suspensos, mas sim da nitrificação.



O objetivo da primeira etapa é a separação dos sólidos e de sua degradação na superfície, Molle *et al.* (2005) documentaram no resultado deste processo o crescimento de uma camada de substrato mineralizado de 15 mm por ano. Na estação estudada ainda não se observou nenhuma camada depois de 20 meses da operação. Os sólidos secam totalmente e deixam um filme fino que parece como papel reciclável. Pode ser concluída que a divisão em duas partes não afetou a secagem. Por outro lado as bactérias termotolerantes fecais foram reduzidas somente por uma casa decimal e ainda foi verificado aparecimento de Giárdia e de cistos de Helmintos. A contaminação da população com parasitos é provável e a falta de prova desses parasitos no esgoto bruto pode ser resultado da maneira como foi coletada a amostra, os cistos dos Helmintos normalmente sedimentam e ficam no lodo, falta analisar ainda o lodo sedimentado mais especificamente.

A camada formada de substrato poderia contribuir na remoção das micropartículas e até um certo nível também na remoção das bactérias fecais e cistos de parasitos. De ponto das experiências atuais no clima quente têm duas opções de criar esta camada: ou realizar uma carga mais elevada ou espalhar na superfície um substrato adicional de degradabilidade lenta (palha etc.) que pode iniciar o processo da mineralização.

### **Eficiência da 2ª. Etapa e eficiência total em comparação com o “Sistema Francês”**

A segunda etapa completa a remoção do DQO, DBO<sub>5</sub>, Amônio e da turbidez até quase 100%. Na comparação os “Sistemas Francês” na França chegam ao 90% remoção de DQO (60 mg DQO/ L no efluente final), 95% remoção dos Sólidos Suspensos (11 mg SS/ L no efluente final) e 85% remoção de Amônio (7 mg NH<sub>4</sub>-N/ L).

A remoção das bactérias termotolerantes fecais na segunda etapa é de aproximadamente três casas decimais, não aparecem mais Helmintos nem outros micro-organismos patogênicos. A concentração bacteriana ainda pode estar crítica para uso sem desinfecção, mas o efluente fica totalmente clarificado e dependendo das exigências locais podem ser aplicados cloro ou UV em doses econômicas.

Este resultado somente é possível com um filtro de areia, principalmente por ser utilizada uma areia fina (figura 6). O principal risco do uso desta areia fina consiste na colmatação, por isso é extremamente importante de ter um tratamento primário eficiente que neste caso é garantido pela etapa 1.

O dimensionamento da segunda etapa depende da relação entre carga orgânica e oferta de oxigênio (Platzer, 1999; Platzer *et al.* 2007). A baixa carga na segunda etapa (por causa de alta eficiência da primeira etapa), sugere uma potencial otimização no dimensionamento. Vale ressaltar que ainda faltam experiências na operação de largo prazo, o que é de fundamental importância para sistemas wetland.

O resultado do tratamento é excelente se apresenta como uma alternativa interessante também para situações no Brasil, especialmente para situações onde se buscam operação econômica da estação e o reuso de efluente tratado. Os aspectos mencionados ainda não esclarecidos são interessantes de se pesquisar. Espera-se uma contribuição neste sentido da *Universidad Agraria La Molina* de Lima no Peru, que recentemente instalaram um campo com plantas pilotos de tipo wetland inclusive de mesmo desenho de sistema comentado, para pesquisar sobre as oportunidades de sua aplicação.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. HOFFMANN, H., PLATZER, C., MÜNCH, E., WINKER, M. Technology review "Constructed Wetlands" Constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment in developing countries. Sustainable sanitation and ecosan program of GIZ GmbH, feb. 2011
2. 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 51 (9), pp.11-21, 2005
3. PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. Water Science and Technology 40(3), pp.257-263, 1999
4. PLATZER, C., HOFFMANN, H., CARDIA, W. AND COSTA, R. H. R. Dimensionamento de wetland de fluxo vertical com nitrificação - Adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil. 24. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental (ABES), Belo Horizonte, 2007