



## II-100 - TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR ZONA DE RAÍZES PRECEDIDA DE TANQUE SÉPTICO: EFICIÊNCIA DO SISTEMA E POTENCIALIDADE DE REUSO DO EFLUENTE

**Douglas Pereira da Silva Pitaluga**<sup>(1)</sup>

Tecnólogo em Construção Civil pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG. Especialista em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólido e Líquido pela Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – EEC/UFG. Mestrando em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – PPGEMA/EEC/UFG.

**Rogério de Araújo Almeida**<sup>(2)</sup>

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Goiás – UFG. Especialista em Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólido e Líquido, Mestre e Doutor em Agronomia. Professor da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, da Universidade Federal de Goiás – UFG.

**Ricardo Prado Abreu Reis**<sup>(3)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás – UFG. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás – UFG. Professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – EEC/UFG.

**Lorena Lemes Martins**<sup>(4)</sup>

Bióloga, Tecnóloga em Gestão Ambiental, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – PPGEMA/EEC/UFG.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Avenida Manchester, Apartamento 404, Edifício Goiânia, Residencial Metrôpoles, Jardim Novo Mundo, Goiânia - GO - CEP: 74703-010 - Brasil - Tel: (62) 3206-5241 - e-mail: douglas.pitaluga@gmail.com

### RESUMO

A utilização de plantas no tratamento de esgotos constitui-se em alternativa, eficiente e de baixo custo, aos sistemas convencionais. O presente estudo objetivou avaliar, em primeira etapa, a eficiência de uma estação domiciliar experimental de tratamento de esgotos do tipo zona de raízes, precedida por tanque séptico, em Goiânia, GO. O tanque séptico foi dimensionado de acordo com a NBR 7.229 (ABNT, 1993). A zona de raízes seguiu as orientações de Philippi; Sezerino (2004) e foi vegetada com as espécies lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König) e taboa (*Typha angustifolia* L.). Avaliaram-se as eficiências percentuais da estação na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (90,7%), da Demanda Química de Oxigênio (81,1%) e dos Coliformes Termotolerantes (99,99998%), após quatro meses do início da aplicação de esgoto. O sistema avaliado mostrou-se eficiente no tratamento do esgoto, atendendo à legislação vigente, para os atributos estudados. Devido à demanda crescente por água e à eminente perspectiva de sua escassez, o trabalho objetivou, em segunda etapa, avaliar a potencialidade de reúso do efluente tratado. Foram avaliados os parâmetros Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, pH e Oxigênio Dissolvido, conforme exigidos pela NBR 13.969 (ABNT, 1997). O efluente da estação mostrou-se adequado apenas à reutilização no cultivo agrícola.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fitoremediação, alagados construídos, águas residuárias, reúso de água.

### INTRODUÇÃO

O destino final do esgoto sanitário é, geralmente, o encaminhamento a um corpo de água, muitas vezes em sua forma bruta. Em consequência desse lançamento, podem aparecer alguns inconvenientes, como o desprendimento de maus odores, a presença de sabor na água potável, a mortandade de peixes e a ameaça à saúde pública. Via de regra, tais impactos são mitigados ou evitados quando o esgoto é submetido a tratamento prévio adequado.

Para serem lançados em corpos receptores de água doce, os efluentes das estações de tratamento de esgoto devem, simultaneamente, atender às condições e padrões de lançamento de efluentes e não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência (CONAMA, 2005). Os mananciais hídricos do estado de Goiás são todos considerados de Classe 2.



A pesquisa tem buscado formas alternativas de tratamento de efluentes, principalmente o urbano, que representa um grande aporte de materiais orgânicos, que são lançados diariamente nos cursos de água. Segundo Heller; Nascimento (2005), estes estudos devem considerar, necessariamente, a realidade sócio-econômico-cultural do país, realidade sobre a qual os potenciais benefícios das ações e da pesquisa se aplicarão. Assim, devem ser considerados o grau de desenvolvimento econômico do país, seus desequilíbrios ambientais e sociais, sua realidade sanitária e a cultura de seu povo.

A utilização de espécies vegetais no tratamento de esgoto representa uma tecnologia emergente que está se revelando como uma alternativa, eficiente e de baixo custo, aos sistemas convencionais (PARKINSON; SIQUEIRA; CAMPOS, 2004). Esses sistemas podem ser implantados no local onde o esgoto é gerado, são facilmente operados, economizam energia e são mais flexíveis e menos susceptíveis a variações nas taxas de aplicação de esgoto (BRIX, 1993; SOLANO; SORIANO; CIRIA, 2004). Integram-se ao ambiente e são caracterizados como tecnologia apropriada e auto-sustentável (PRESZNHUK et al., 2003). Sua principal desvantagem está na maior necessidade de área (BRIX, 1993), o que nem sempre é um fator limitante, especialmente no Brasil, país de grandes extensões territoriais.

A área para o tratamento de esgoto por zona de raízes varia de menos que um até seis metros quadrados por habitante. As condições climáticas brasileiras permitem a utilização de áreas reduzidas, principalmente se houver um tratamento prévio do esgoto (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Segundo Valentim (2003), apesar da existência de várias pesquisas sobre tratamento de esgotos com plantas no Brasil, ainda são poucos os sistemas avaliados continuamente e por um longo período de tempo, e nem sempre os parâmetros de análise e a metodologia de condução adotada pelos pesquisadores coincidem, gerando, às vezes, dificuldades de comparação entre os diversos trabalhos.

A utilização de plantas no tratamento de esgotos já ocorre em Goiás e o sistema tem se mostrado bastante promissor (ALMEIDA, 2005; ALMEIDA; OLIVEIRA; KLIEMANN, 2007), o que leva à necessidade de novas pesquisas com vistas a obter novos conhecimentos e subsídios para o seu dimensionamento e uso na região.

O reuso planejado da água é um tema atual e de grande importância. A reutilização ou reuso de água não é um conceito novo. Tem sido praticado em todo o mundo há anos e deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende o controle de perdas e desperdícios e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. A substituição de parte da água potável, por uma de qualidade inferior, reduz a demanda sobre os mananciais de água.

O reuso de água é um dos recursos de que o homem lançará mão no futuro para atender à demanda sempre crescente por água potável. Segundo Fiori; Fernandes; Pizzo (2004), o reuso da água é a utilização dessa substância por uma segunda ou mais vezes. É a reutilização da água que, após sofrer tratamento adequado, é usada com diferentes propósitos, a fim de se preservar os recursos hídricos existentes. Para que a água possa ser reutilizada ela deve satisfazer a critérios e padrões que tenham sido estabelecidos para o determinado uso.

Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de um sistema residencial de tratamento de esgoto, do tipo zona de raízes com fluxo sub-superficial horizontal, precedido de tanque séptico, na região de Goiânia, GO. E, também, avaliar o potencial de reuso do efluente produzido pelo sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

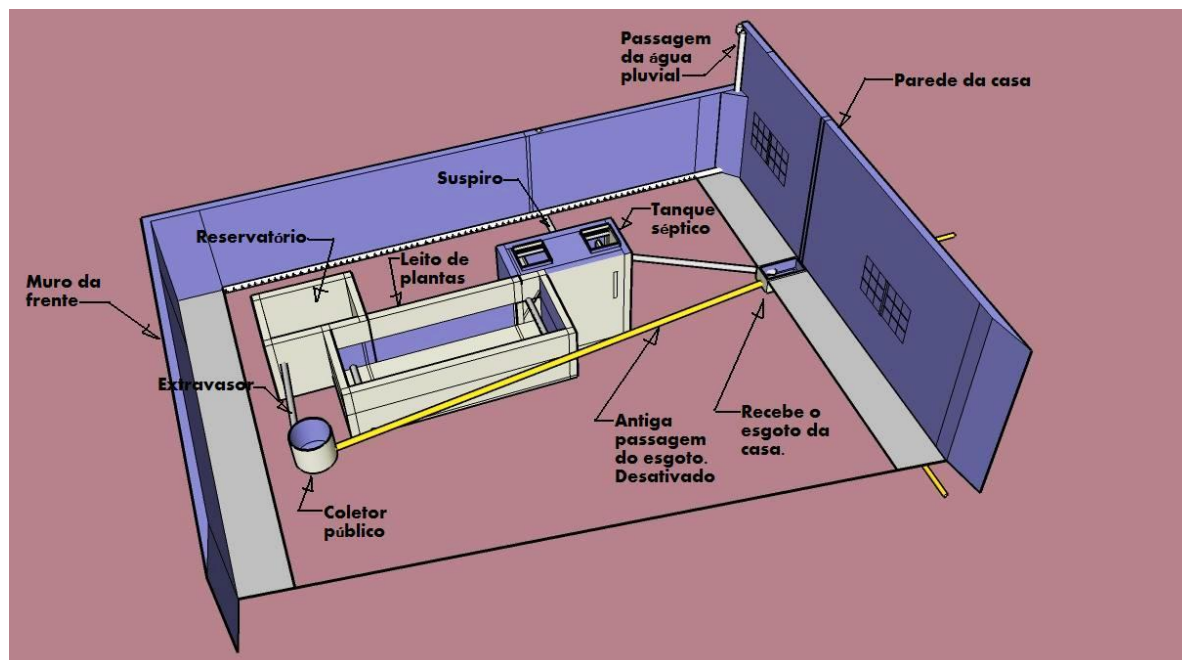
Para a realização do estudo, foi projetado um sistema residencial experimental de tratamento de esgoto doméstico. O sistema foi implantando em uma residência térrea unifamiliar, com cinco moradores, na região Leste da cidade de Goiânia, GO.

O clima local, segundo Köppen, é do tipo Aw (quente e semi-úmido com estação seca bem definida, de maio a setembro, e regime pluviométrico tropical, com temperatura média anual de 23,2°C, com as médias mínimas e máximas de 17,9°C e 29,8°C, respectivamente). A precipitação pluvial média anual é de 1.575,9 mm e o total anual de insolação é de 2.588,1 h (BRASIL, 1992).



## PRIMEIRA ETAPA: TRATAMENTO

O projeto foi concebido de forma a utilizar o uso do desnível disponível (diferença de nível entre a posição de saída do esgoto da residência e sua entrada no coletor público), com vistas a um sistema que funcione pela força da gravidade, não necessitando de bombeamento do esgoto (Figura 1).



**Figura 1: Vista em três dimensões do sistema residencial de tratamento de esgoto avaliado. Goiânia, GO. 2008**

A estação experimental constituiu-se de um tanque séptico, dimensionado segundo a NBR 7.229 (ABNT, 1993), seguido por uma unidade de zona de raízes, classificada por Brix (1993), como um sistema de tratamento baseado em macrófitas emergentes de fluxo sub-superficial horizontal, dimensionada segundo orientações de Philippi; Sezerino (2004), com a adoção de um metro quadrado de leito por habitante, e por um tanque reservatório para armazenamento do efluente tratado (Quadro 1. Figura 2). A vazão média diária de esgoto foi estimada com base no consumo médio de água da residência dos seis meses anteriores ( $500 \text{ L dia}^{-1}$ ), adotando-se uma taxa de retorno de 80%. Durante a avaliação do experimento foram coletados dados de consumo de água para nova estimativa da produção de esgoto.

**Quadro 1: Dimensões das unidades do sistema residencial de tratamento de esgoto, do tipo zona de raízes precedida por tanque séptico. Goiânia, GO. 2008**

Unidade	Dimensões (m)			Volume ( $\text{m}^3$ )
	Largura	Comprimento	Profundidade Útil	
Tanque séptico	0,80	2,10	1,60	2,70
Zona de raízes	1,25	4,00	0,60	3,00
Reservatório	2,40	1,10	0,60	1,60

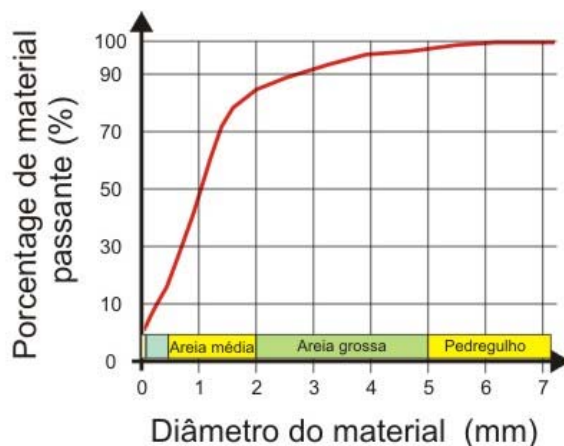
As unidades de tratamento foram demarcadas no terreno, escavadas e construídas com piso em concreto armado, paredes em alvenaria (tijolo furado 14 x 29 cm, deitado) e impermeabilizante no reboco.

O leito da zona de raízes foi preenchido com brita número um nos cinquenta centímetros iniciais e finais, para aplicação e drenagem de líquidos, respectivamente. Na parte intermediária utilizou-se como substrato areia lavada, com 32,5% de espaços vazios e distribuição granulométrica apresentada na Figura 3.



**Figura 2:** Vista geral do sistema residencial de tratamento de esgoto avaliado, em fase final de construção, ainda sem as tampas do tanque séptico e do reservatório. Goiânia, GO. 2008

A areia foi vegetada com as espécies lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König), na metade inicial e taboa (*Typha angustifolia* L.), na metade final (Figura 4). Por ocasião do preenchimento do leito utilizou-se de tábuas de madeira para separar a brita da areia, retirando-as em seguida. As espécies vegetais foram escolhidas pelas maiores eficiências no tratamento de esgoto sanitário nas condições climáticas de Goiânia (ALMEIDA; OLIVEIRA; KLIEMANN, 2007).

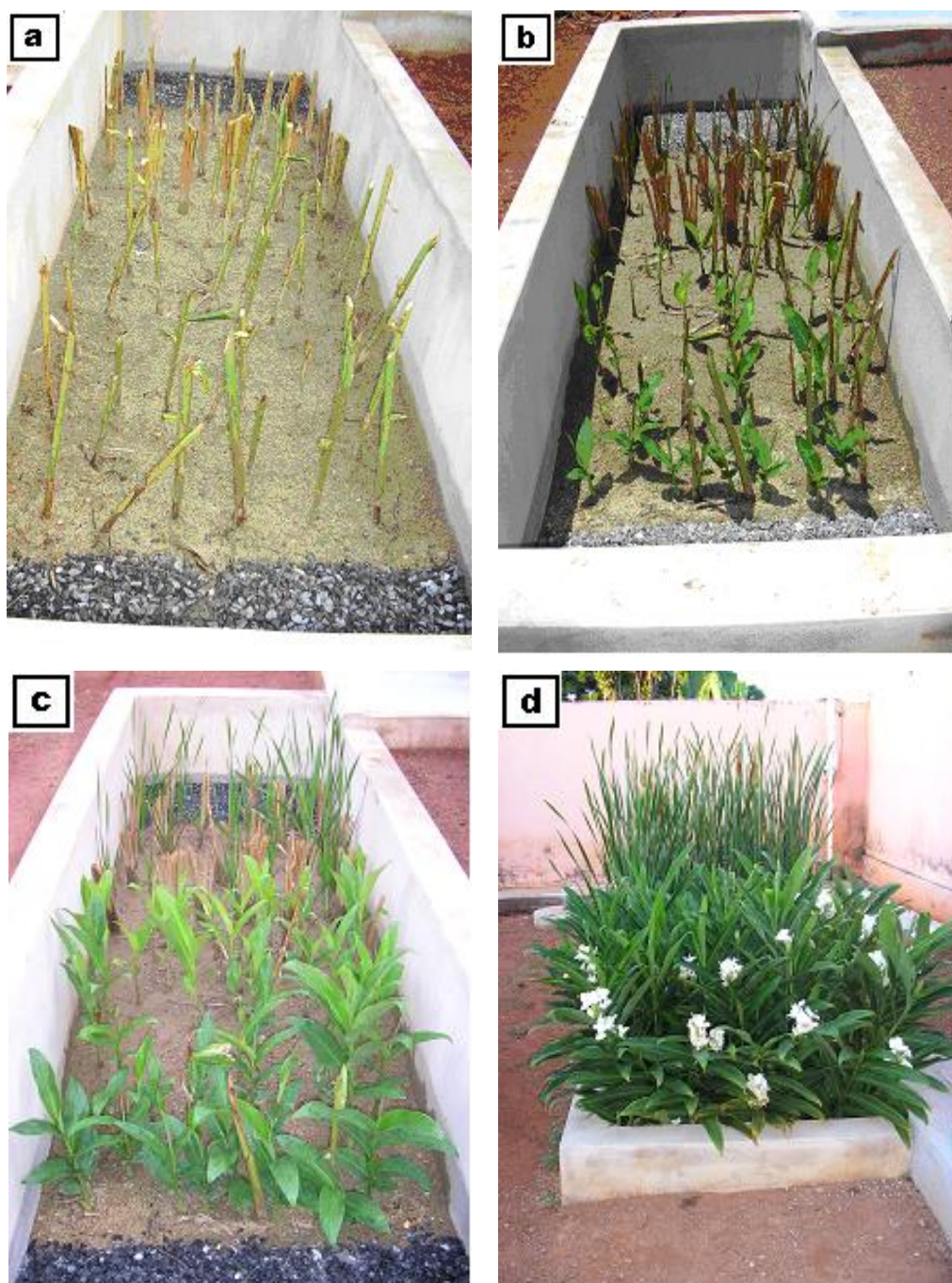


**Figura 3:** Distribuição granulométrica da areia utilizada no preenchimento do leito da zona de raízes do sistema residencial de tratamento de esgoto avaliado. Goiânia, GO. 2008

No transplante das espécies vegetais foram utilizadas mudas, correspondentes a plantas adultas com brotações no rizoma, na densidade de dez plantas por metro quadrado. As plantas foram previamente coletadas em seu ambiente natural, tiveram suas folhas cortadas e foram armazenadas em local úmido e sombreado, com vistas à brotação. Após o transplante das mudas procedeu-se a sua irrigação com água de torneira (do sistema público). A aplicação do esgoto iniciou-se somente após o pegamento das plantas (quinze dias do transplante), conforme recomendado por Sievers (1993) e Solano; Soriano; Ciria (2004).

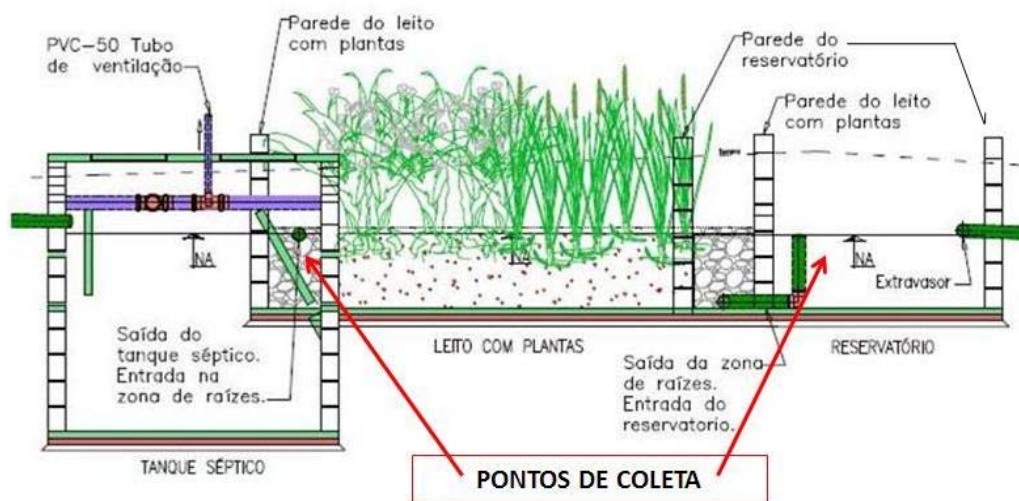
Após quatro meses do início da aplicação de esgoto (15 de maio), foram coletadas amostras mensais de efluente, por um período de quatro meses, para a realização de análises de qualidade. As amostras foram coletadas antes e após a zona de raízes (Figura 5). Foram avaliados a Demanda Bioquímica de Oxigênio, a Demanda Química de Oxigênio e os Coliformes Termotolerantes.





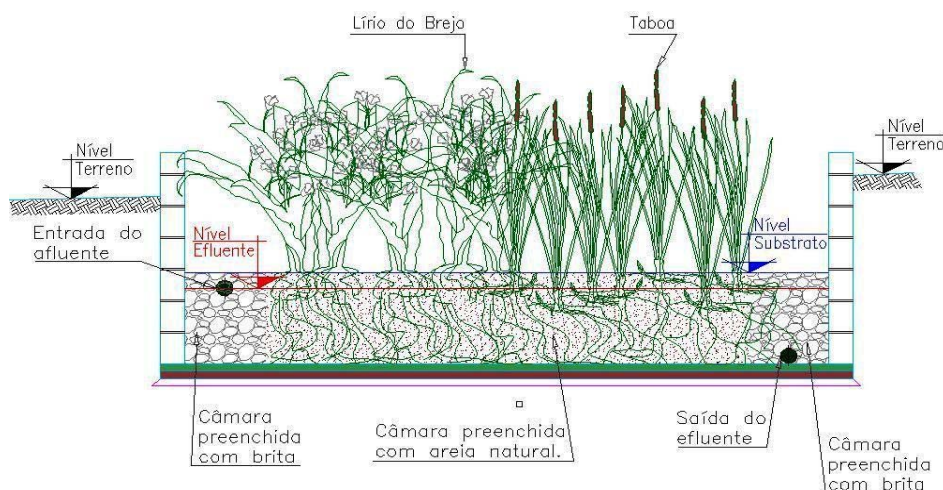
**Figura 4:** Leito da zona de raízes do sistema residencial de tratamento de esgoto avaliado. Em foco o desenvolvimento cronológico das plantas até seu estágio de floração, quando a estação assume o visual agradável de um jardim florido. a) em 3 de janeiro, data do transplante; b) em 30 de janeiro; c) em 15 de fevereiro e d) em 4 de junho. Goiânia, GO. 2008

Os resultados foram utilizados no cálculo da eficiência percentual do sistema na purificação do esgoto doméstico, segundo Dacach (1991). Para o cálculo da eficiência do tanque séptico utilizaram-se os valores das concentrações afluentes dos atributos do esgoto bruto, consolidados pela literatura, segundo Pessoa e Jordão (1982), Sperling (1996) e Nuvolari (2003), uma vez que não foi feita sua caracterização no presente estudo.



**Figura 5: Vista em corte longitudinal do tanque séptico e do reservatório do sistema residencial experimental de tratamento de esgoto avaliado, com indicação dos locais de coleta de amostras para análises laboratoriais. Goiânia, GO. 2008**

Todo esgoto produzido na residência foi conduzido ao tanque séptico, sem qualquer separação. Do tanque, o efluente era conduzido à zona de raízes, por gravidade. A aplicação ocorria em uma das extremidades do leito por meio de um tubo de esgoto ( $\varnothing$  100 mm), perfurado em toda sua extensão e posicionado no terço superior da profundidade do leito, envolto por uma camada de brita número um. A drenagem do efluente da zona de raízes dava-se pela extremidade oposta à entrada, em tubo de esgoto ( $\varnothing$  100 mm), posicionado no fundo do leito, igualmente perfurado e envolto por brita número um (Figura 6).



**Figura 6: Desenho esquemático de um corte longitudinal do leito da zona de raízes do sistema residencial experimental de tratamento de esgoto avaliado. Goiânia, GO. 2008**

A parte externa do tubo de drenagem da zona de raízes ficou dentro do tanque reservatório. Em sua extremidade foi acoplado um joelho de 90° com um tubo vertical, cujo posicionamento determinava o nível de líquidos dentro da zona de raízes. O nível foi mantido a aproximadamente cinco centímetros abaixo da superfície do substrato, com vistas a evitar seu afloramento e a consequente proliferação de mosquitos e





liberação de maus odores. No tanque reservatório o efluente tratado permanecia disponível para reuso e seu excesso era encaminhado ao coletor da rede pública.

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

O consumo médio mensal de água no período de condução do experimento foi de 12,17 m<sup>3</sup>, o que corresponde a 405,5 L dia<sup>-1</sup>, portanto, menor que o consumo verificado por ocasião do projeto da estação. Considerando-se a taxa de retorno de 80%, estimou-se uma vazão de esgoto de 324,4 L dia<sup>-1</sup>. Assim, o tempo de detenção hidráulica do esgoto foi de 8 dias no tanque séptico e de 2,7 dias na zona de raízes, totalizando 10,7 dias (Quadro 2). O leito da zona de raízes ocupado com plantas utilizou uma área de um metro quadrado por habitante, considerada pequena, tendo em vista o fluxo do sistema ser horizontal. A recomendação encontrada na literatura é de menos que 80 Kg DBO ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> (MELO JÚNIOR, 2003), o que corresponde a uma área maior que 2,4 m<sup>2</sup> por habitante. Considerando a concentração afluente de 260 mg DBO L<sup>-1</sup> e a vazão média de esgoto verificada neste estudo (324,4 L dia<sup>-1</sup>), foi realizada uma aplicação de 168,48 kg DBO ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>, numa taxa aproximada de 65 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Assim, utilizou-se uma área 50% menor que o preconizado pela literatura.

**Quadro 2: Dimensões, Volume Útil e Tempo de Detenção Hidráulica propiciados pelas unidades do sistema residencial de tratamento de esgoto, do tipo zona de raízes precedida por tanque séptico. Goiânia, GO. 2008**

Unidade	Dimensões (m)			Volume Útil (m <sup>3</sup> )	TDH (dias)
	Largura	Comprimento	Profundidade Útil		
Tanque séptico	0,80	2,10	1,60	2,60	8,01
Zona de raízes <sup>1</sup>	1,25	4,00	0,60	0,89	2,74
Reservatório	2,40	1,10	0,55	1,45	4,47

<sup>1</sup> taxa de aplicação de 324,4 L dia<sup>-1</sup>, areia do substrato com 32,5% de espaços vazios e nível de efluente cinco centímetros abaixo da superfície. Desconsiderando o volume ocupado pelas raízes das plantas.

A eficiência do tanque séptico na purificação do esgoto foi de 13% nos níveis de DBO e de DQO e de 99,9946% na contagem de coliformes termotolerantes. Salienta-se que, no cálculo da eficiência, os valores observados após o tanque séptico foram comparados a valores teóricos consolidados pela literatura (SPERLING, 1996 e NUVOLARI, 2003, para DBO, DQO e PESSÔA; JORDÃO, 1982, para Coliformes), uma vez que não foi feita a caracterização do afluente. O leito de zona de raízes ocasionou redução de 89% para a DBO, 78% para a DQO e 99,63% para os coliformes termotolerantes (Tabela 1).

A eficiência total na redução da DBO foi de 90,7%, resultando num efluente com 28 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. A legislação estabelece uma DBO máxima de 60 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> para o efluente das estações de tratamento de esgoto ou uma redução mínima de 80% na concentração de DBO. Para o lançamento em corpos receptores de água doce de Classe 2, o efluente não pode elevar a concentração de DBO acima de 5 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. Tampouco, pode resultar na redução da concentração de OD abaixo de 5 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>.

**Tabela 1: Valores médios de atributos e eficiência percentual na sua redução em esgoto doméstico submetido a tratamento num sistema do tipo zona de raízes com fluxo sub-superficial horizontal, precedido por tanque séptico. Goiânia, GO. 2008**

	DBO <sup>1</sup> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	DQO <sup>2</sup> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Coliformes Termotolerantes (NMP 100mL <sup>-1</sup> )
Esgoto bruto <sup>3</sup>	300	700	1,0.10 <sup>9</sup>
redução (%)	13,3	12,7	99,9946
Após tanque séptico	260	611	5,4.10 <sup>4</sup>
redução (%)	89,2	78,4	99,63
Após zona de raízes	28	132	2,0.10 <sup>2</sup>
redução total (%)	90,7	81,1	99,99998

<sup>1</sup> demanda bioquímica de oxigênio; <sup>2</sup> demanda química de oxigênio; <sup>3</sup> valores médios segundo Sperling (1996) e Nuvolari (2003), para DBO, DQO e segundo Pessoa; Jordão (1982), para coliformes termotolerantes.



Solano; Soriano; Ciria (2004), na Espanha, observaram uma eficiência da taboa na redução da DBO de 81%, para aplicação de 75 litros diários de esgoto por metro quadrado, no verão. Gersberg et al. (1986), na Califórnia, verificaram eficiência de 74%. Van Kaick (2002), no Paraná, observou redução de 83,9%. Costa et al. (2003), na Paraíba, constataram redução de 88%. Presznuk et al. (2003), no Paraná, observaram redução de 84,2%. A DQO foi reduzida em 81%, valor próximo à média das eficiências verificadas pelos autores citados. Assim, a eficiência verificada neste trabalho foi bastante satisfatória, compatível com o observado em sistemas das mais variadas concepções e em várias regiões do mundo.

A remoção de coliformes termotolerantes foi de sete casas exponenciais, resultando em uma concentração de 200 NMP 100mL<sup>-1</sup>. A legislação brasileira não determina limite de coliformes para os efluentes de estações de tratamento de esgoto. Todavia, a contribuição do efluente não pode elevar a contagem de coliformes termotolerantes nos corpos receptores acima dos limites estabelecidos para cada classe; ou seja, 1.000 NMP 100mL<sup>-1</sup>, para os de Classe 2 (CONAMA, 2005). Verifica-se, portanto, que o efluente poderia ser disposto em qualquer manancial do estado de Goiás, pois, a contagem de coliformes na água do corpo receptor jamais ultrapassaria o limite legal estabelecido.

Embora este estudo tenha sido desenvolvido para uma residência, vislumbra-se sua aplicação no tratamento de esgotos de pequenas comunidades.

## SEGUNDA ETAPA: REUSO

Após dez meses do início da aplicação de esgoto, foram coletadas amostras quinzenais do efluente tratado, por um período de três meses, para a realização de análises de qualidade. As amostras foram coletadas no reservatório (Figura 5).

Para procedimento de avaliação do potencial de reuso do efluente tratado, foram realizadas novas análises laboratoriais com novos parâmetros, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, pH, e Oxigênio Dissolvido, exigidos pela Norma Brasileira para a reutilização da água à determinados fins. Salientando que os parâmetros: Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio e Coliformes Termotolerantes havia sido realizado na primeira etapa da pesquisa, mas também foram realizadas nesta etapa.

Segundo a NBR 13.969 (ABNT, 1997) no caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

O efluente tratado disponível no reservatório com capacidade de armazenamento de 1,45 m<sup>3</sup>, pode ser reutilizado para cultivo de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados, visto que os resultados alcançados no tratamento atendem a NBR 13.696 de reuso da água, para a Classe 4 (Tabela 2).

**Tabela 2: Valores médios de atributos de um efluente após passar pelo tratamento num sistema do tipo zona de raízes com fluxo sub-superficial horizontal, precedido por tanque séptico e limites estabelecidos pela NBR 13.696 para efluentes da Classe 4. Goiânia, GO. 2008**

Parâmetros	Valores do efluente tratado	Valores exigidos pela NBR 13.696 para cultivos
D.B.O. (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	22,8	-
D.Q.O. (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	82,1	-
Coliformes Termotolerantes (NMP 100mL <sup>-1</sup> )	2,0.10 <sup>2</sup>	< 5,0.10 <sup>3</sup>
pH	7,8	-
Turbidez (UNT)	20,2	-
Oxigênio Dissolvido (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	2,7	> 2,0
Sólidos Dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	486,5	-





A reutilização do efluente tratado para cultivos de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos, através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação localizada, é permitida, pois atende os requisitos mínimos exigidos pela NBR 13.969 (ABNT, 1997) para a efluentes da Classe 4. O efluente analisado consta em sua composição  $2,0 \cdot 10^2$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$  de Coliformes Termotolerantes, e  $2,7 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  de Oxigênio Dissolvido, quando o exigido pela Norma deve ser inferior a  $5,0 \cdot 10^3$  NMP  $100\text{mL}^{-1}$  para Coliformes Termotolerantes e Oxigênio Dissolvido acima de  $2,0 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ . Portanto o efluente pode ser reutilizado para esse fim desde que as aplicações sejam interrompidas pelo menos dez dias antes da colheita.

Para que o efluente possa também ser reutilizado na lavagem de automóveis e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água (Classes 1); lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes (Classe 2); e nas descargas dos vasos sanitários (Classe 3); a estação necessitaria da instalação de mais uma unidade de tratamento biológico e de desinfecção, ou do aumento da área do leito com plantas, com vistas ao aumento da eficiência no tratamento.

## CONCLUSÕES

O sistema domiciliar de tratamento do tipo zona de raízes precedida por tanque séptico teve um bom desempenho quanto à eficiência de purificação do esgoto doméstico nas condições climáticas de Goiânia, GO, atendendo ao estabelecido na legislação vigente para os atributos Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Coliformes Termotolerantes.

Segundo os parâmetros de qualidade da água, o efluente tratado pelo sistema de zona de raízes pode ser reutilizado para a irrigação de cultivos agrícolas e, enquadra-se na Classe 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, R.A. Substratos e plantas no tratamento de esgoto por zona de raízes. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005. 108 f.
2. ALMEIDA, R.A.; OLIVEIRA, L.F.C.; KLIEMANN, H.J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2007.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7229: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: procedimento. Rio de Janeiro, 1993.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-13.969: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projetos, construção e operação: procedimento. Rio de Janeiro, 1997.
5. BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas: 1961-1990. Brasília, DF, 1992. 84 p.
6. BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: MOSHIRI, G.A. (Ed.) Constructed wetlands for water quality improvement. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 9-23.
7. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (Brasil). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Definição para avaliação da qualidade ambiental das águas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 jan. 2001.
8. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, ano 142, n. 53, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.
9. COSTA, L. L. et al. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de retenção hidráulica na remoção de colíforos e bacteriófagos. Revista de Biologia e Ciências da Terra, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p.1-23, 2003.
10. DACACH, N. G. Tratamento primário de esgoto. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica. 1991. 106 p.
11. FIORI, S.; FERNANDES, V.; PIZZO, H. Avaliação do potencial de reuso de águas cinzas em edificações. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável (CLAS) – X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). São Paulo: ISBN, 2004.
12. GERSBERG, R. M. et al. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Research, Halliowford, v. 20, n. 3, p. 363-368, 1986.



13. HELLER, L.; NASCIMENTO, N. O. Pesquisa e desenvolvimento na área de saneamento no Brasil: necessidades e tendências. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 24-35, 2005.
14. MELO JÚNIOR, A.S. Dinâmica da remoção de nutrientes em alagados construídos com *Typha* sp. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Água e Solo)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003. 312 f.
15. NUVOLARI, A. O lançamento in natura e seus impactos. In: NUVOLARI, A. (Coord.). *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. São Paulo: E. Blücher, 2003. p. 171-208.
16. PARKINSON, J.N.; SIQUEIRA, E.Q.; CAMPOS, L.C. Tratamento de esgotos domésticos de pequenas comunidades utilizando áreas alagadas construídas (AACs). *Revista Intercursos*, v. 3, n.2, Jul-Dez 2004. p. 135-139.
17. PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. Tratamento de esgotos domésticos: concepções clássicas de tratamento de esgotos. 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental: BNH, 1982. 536 p.
18. PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis, Ed. do autor, 2004. 144 p.
19. PRESZNHUK, R.A.O. et al. Tecnologia apropriada e saneamento: análise de eficiência de estações de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes. In: SEMANA DE TECNOLOGIA: TECNOLOGIA PARA QUEM E PARA QUÊ? Um Olhar Interdisciplinar, 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: Cefet-PR, 2003. p. 336-340.
20. SIEVERS, D. M. Design of submerged flow wetlands for individual homes and small wastewater flows. Columbia: University of Missouri. 1993. 11 p. (Special Report, 457).
21. SOLANO, M.L.; SORIANO, P.; CIRIA, M.P. Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. *Biosystems Engineering*, London, v. 87, n. 1, p. 109-118, 2004.
22. SPERLING, M. von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).
23. VALENTIM, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola: Água e Solo)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003. 233 f.
24. 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. 2002. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.