



TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES EM COMUNIDADE RURAL – Parte 2: avaliação

*A wastewater treatment system by root zone applied to country
community – Part 2: evaluation*

**Waldir Nagel Schirmer^[a], Gilmara de Oliveira Machado^[b], Gleison Stumpf^[c],
João Luiz Villas Boas Lemes^[d], Joenilson Daniel Agassi^[e], Tamara Van Kaick^[f]**

^[a]Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), professor adjunto do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati, PR - Brasil, e-mail: wanasch@yahoo.com.br

^[b]Engenheiro Ambiental, Irati, PR - Brasil, e-mail: gleisonsutmpf@hotmail.com

^[c]Doutora em Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP), professora adjunta do curso de Engenheiro Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati, PR - Brasil, e-mail: gilmar Machado@yahoo.com.br

^[d]Engenheiro Ambiental, Irati, PR - Brasil, e-mail: engenheirovillasboas@yahoo.com.br

^[e]Engenheiro Ambiental, Irati, PR - Brasil, e-mail: joelaranja@yahoo.com.br

^[f]Doutora em Tecnologia Ambiental, professora do curso de Tecnologia em Processos Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: ecodamata@terra.com.br

Resumo

A falta de tratamento de esgoto está entre os principais problemas sanitários da população brasileira, principalmente nas comunidades rurais de baixa renda. Nesse sentido, a busca por tecnologias alternativas e de baixo custo para o tratamento desses efluentes torna-se imprescindível. Uma tecnologia alternativa aos métodos convencionais e que tem se mostrado bastante eficaz é o tratamento de esgoto por zona de raízes. Esse sistema baseia-se em processos físicos, químicos e biológicos, com parte do filtro constituído de plantas, sendo colocado a jusante de um tratamento primário (tanque séptico). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de remoção de constituintes como demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P), turbidez, coliformes fecais e totais (CF e CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) por zona de raízes implantado em uma comunidade rural do município de Irati (PR). As coletas ocorreram durante dois meses em campanhas semanais. Os percentuais médios de remoção encontrados, para DQO, P, turbidez, CF e CT foram, respectivamente, 80%, 54%, 67%, 99,6% e 94%. Nesse caso, pôde-se concluir que a ETE avaliada tem boa capacidade de remoção desses parâmetros, servindo de fato como tecnologia apropriada para o tratamento de esgotos domésticos em pequenas comunidades.

Palavras-chave: Macrófitas. Saneamento básico. Tratamento de esgoto. Zona de raízes.

Abstract

The lack of an appropriate wastewater treatment is one of the biggest environmental problems of the Brazilian population, chiefly in those communities with a low income. Thus, the search for alternative (and with a low cost) technologies to treat this wastewater become essential. An alternative to conventional methods is the roots zone wastewater treatment system (WWTS). This system focus on physic-chemical (filtration) and biologic principles, with part of this filter made of plants, put after the septic tank. This work focused on evaluating the efficiency of removal of parameters as chemical oxygen demand (COD), phosphorus (P) concentration, turbidity, total and fecal coliforms in a roots zone wastewater treatment plant located in an agricultural community, in Irati (PR). The samplings had occurred during two months in weekly campaigns. The average percentages of removal for COD, P, turbidity, fecal and total coliforms were, respectively, 80%, 54%, 67%, 99,6% and 94%. Thus, it is concluded that the evaluated WWTS has good capacity for removal of these parameters, serving in fact as alternative of treatment of sewers in small communities.

Keywords: Basic sanitation. Macrophytes. Roots zone. Wastewater treatment.

INTRODUÇÃO

A falta de tratamento dos esgotos é considerada um dos maiores problemas sanitários da população brasileira. Segundo o IBGE (2007), no Brasil, 47,2% da população não possui rede coletora de esgoto, nem ao menos fossa séptica. Isso significa que quase 100 milhões de habitantes não dispõem desses serviços; o problema é ainda mais grave nas comunidades rurais e de baixa renda. O Estado do Paraná não está muito diferente da situação atual brasileira. Segundo o IparDES (2007), 83,6% dos domicílios são atendidos pelos serviços de abastecimento de água potável, mas apenas 37,6% são atendidos por rede coletora de esgoto.

A qualidade e o acesso aos serviços de saneamento estão diretamente relacionados à saúde pública. Água encanada e tratada é considerada um grande benefício para as comunidades. Esse serviço, acompanhado de um sistema de tratamento de esgoto adequado, poderá, em certos casos, diminuir os problemas de saúde relacionados à veiculação hídrica, tais como verminoses, hepatite e diarreia. A Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 1994) destaca que a cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento, cerca de R\$ 4,00 é economizado no setor de saúde.

Por causa da situação socioeconômica brasileira, são imprescindíveis os investimentos no desenvolvimento de tecnologias alternativas, de baixo custo e boa eficiência para o tratamento das águas residuárias. O tratamento de esgoto utilizando zona de raízes está se revelando uma alternativa eficiente e de baixo custo, quando comparadas aos sistemas convencionais. Segundo Brix (1994), esses sistemas podem ser implantados no mesmo local onde o efluente é produzido, podem ser operados por mão-de-obra não especializada, possuem baixo custo energético e são menos suscetíveis às variações nas taxas de aplicação de esgoto.

De acordo com o CETEC (1985), uma solução apropriada para localidades do meio rural é o sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário por Zona de Raízes. Este sistema tem base em solos filtrantes e é uma tecnologia autossustentável, pode ser utilizado de forma a atender pequenas comunidades, escolas e residências unifamiliares, ocupa pequeno espaço na área externa da residência, e ainda pode ser integrado de forma não agressiva ao ambiente. Outra vantagem desse sistema é que o tratamento do esgoto passa por duas etapas: o tratamento primário (fossa séptica) e o secundário (Estação de tratamento de esgoto do tipo zona de raízes - ETEZR), podendo o efluente resultante do tratamento apresentar significativa redução de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis, evitando, assim, a contaminação do corpo d'água no qual o efluente será lançado (VAN KAICK, 2002).

Para Valentim (1999), o tratamento das águas residuárias na ETE por zona de raízes é o resultado da união entre os processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem por causa do filtro físico, das comunidades bacterianas e macrófitas. O esgoto bruto é inicialmente lançado através de uma tubulação perfurada que é instalada logo abaixo da zona de raízes, área onde se localizam as plantas. A área plantada é dimensionada de acordo com a vazão de esgoto (VAN KAICK, 2002). De acordo com Sipinski e Van Kaick (2000), a área para o tratamento de esgoto de uma estação experimental em Antonina (PR) foi de 1 m² para cada habitante, podendo ser adotada profundidade de 1 m. Segundo Ambros, Ehrhardt e Kershbaumer (1998, apud VAN KAICK, 2002), a média anual de evaporação de água através das plantas pode chegar a 1000 litros, o que corresponde a 25% da água que entra na estação de tratamento. Já em climas tropicais, como é o caso do Brasil, a probabilidade de evaporação pode ser ainda maior, pela maior insolação ao longo do ano. Com isso, em experimentos brasileiros, pode haver uma redução da área da ETE dessa natureza.

As plantas que constituem a zona de raízes devem ser plantadas sobre um filtro físico estruturado por uma camada de brita nº 2, de 50 cm de profundidade, e sobre a rede de distribuição do efluente bruto. Logo abaixo da camada de brita encontra-se outra camada do filtro, constituída de areia (com granulometria de média para grossa) de 40 cm de profundidade. No fundo do filtro ficam as tubulações de coleta do efluente tratado, que são conduzidos para fora da estação através da diferença de nível. Para evitar a contaminação do solo, ou até mesmo do lençol freático e infiltrações indesejáveis no sistema, a ETE deve ser impermeabilizada com lona plástica resistente, ou por uma estrutura de concreto armado (VAN KAICK, 2002).

Presznuk e Van Kaick (2002) apresentaram os resultados de alguns parâmetros analisados através da comparação do esgoto bruto com esgoto tratado em duas ETE, por meio de zona de raízes implantadas na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaraqueçaba (PR) para atender à demanda de residências unifamiliares. Os resultados, em ambas as estações, apontaram eficiências superiores a 80% no que se refere à remoção de DQO e DBO e de mais de 60% na remoção de coliformes (totais e fecais).

Outro aspecto positivo do sistema é baixa produção de lodo, o qual sempre torna-se um problema porque precisa passar por um processo de desidratação, que está associado à construção de sistemas de tratamento específicos para isso (por exemplo, os leitos de secagem) e a futura disposição final desses resíduos (VAN KAICK, 2002).

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) por zona de raízes implantada no distrito de Gonçalves Júnior, comunidade rural do município de Irati (PR).

MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE em questão (localizada no Distrito de Gonçalves Júnior, comunidade rural do município de Irati, PR) encontra-se em operação desde novembro de 2007 e atende a duas residências, totalizando cinco pessoas.

A construção priorizou a utilização de materiais de baixo custo e plantas nativas ou facilmente adaptáveis à região. As fossas sépticas responsáveis pelo tratamento primário dos efluentes já estavam devidamente construídas nas residências utilizadas para implantação do projeto piloto. Nesse caso, foram acrescentadas apenas as canalizações necessárias para que o efluente pudesse ser conduzido para a ETE por zona de raízes. Por causa da topografia do terreno e da inclinação necessária para que ocorra o escoamento do efluente, a ETE foi implantada logo abaixo da superfície do solo. O solo foi escavado com dimensões de 2,3 ´ 2,5 m e com profundidade de 1 m (sugeridos por VAN KAICK, 2002). A base da ETE (piso e laterais) foi impermeabilizada com uma tripla camada de lona plástica preta de 0,2 mm.

O filtro físico da ETE por zona de raízes foi composto por uma camada de 40 cm de areia média seguida de nova camada de brita (de 60 cm). Essa segunda camada de brita cobre a canalização de distribuição do esgoto (proveniente da fossa) em 10 cm. A diferença de nível entre os canos de chegada da fossa e saída da ETE também é de 10 cm. Para compor a zona de raízes foi utilizada a planta

Zantedeschia aethiopica (copo-de-leite). Essa planta foi escolhida por apresentar todas as características necessárias (descritas na introdução) para o tratamento proposto.

Nesse trabalho foi analisada a remoção da concentração dos seguintes parâmetros, a montante e a jusante da ETEZR: demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P), coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* e turbidez.

Durante os meses de setembro e outubro de 2008 foi realizada a coleta do efluente da fossa séptica (equivalente à entrada da ETEZR) e saída do sistema de tratamento por zona de raízes, num total de 6 amostras distribuídas ao longo desses dois meses. O efluente era coletado utilizando-se de uma seringa de 20 mL com uma mangueira de aproximadamente 30 cm acoplada na ponta da seringa, de modo a evitar a coleta de material sobrenadante (Figura 1). Uma vez coletadas, as amostras eram submetidas à análise no Laboratório de Saneamento ambiental e Qualidade da Água da Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Campus Irati, para avaliar a eficiência da ETEZR na remoção dos parâmetros mencionados. Tais parâmetros foram analisados seguindo a metodologia Standard Methods (APHA, 1998).

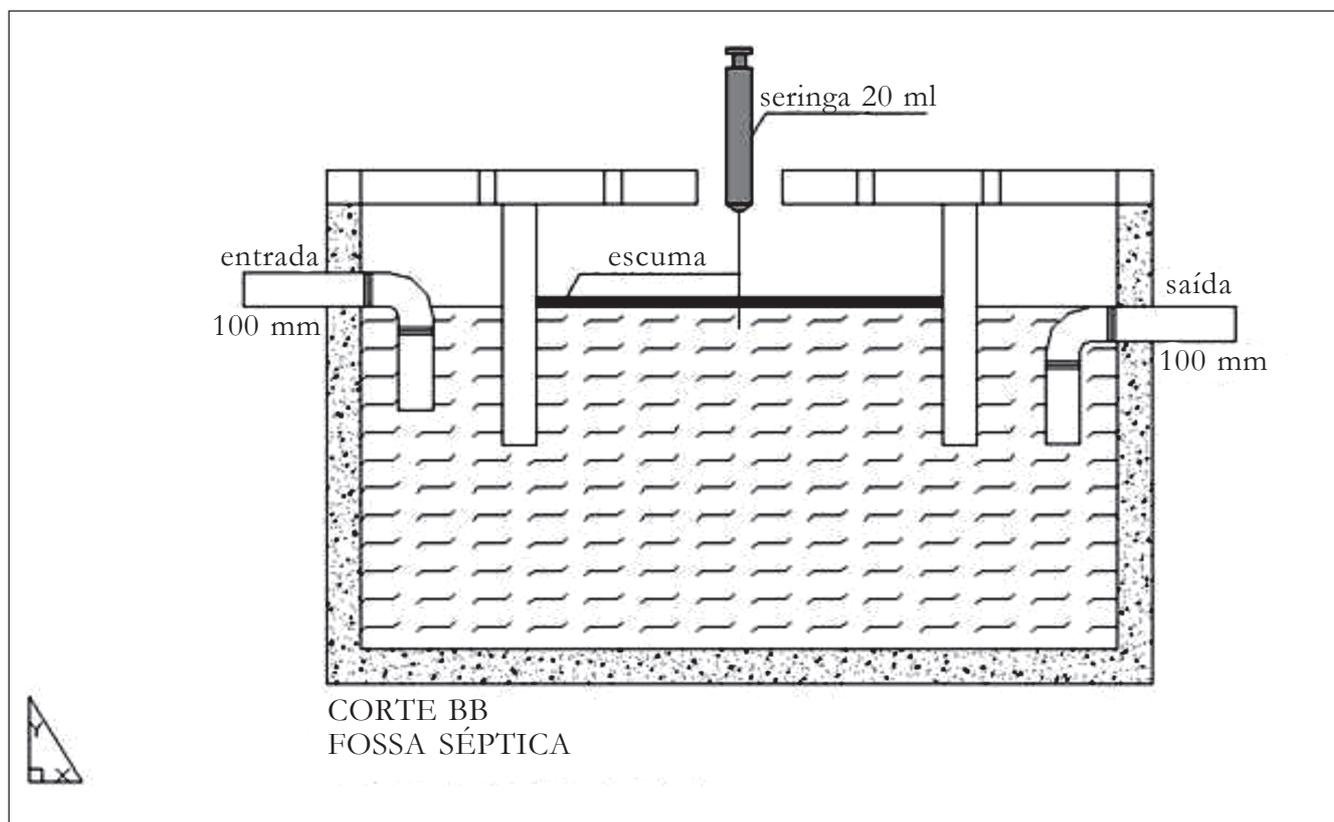


FIGURA 1 - Esquema da amostragem do efluente na fossa séptica

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de demanda química de oxigênio (DQO) das seis campanhas realizadas nos meses de setembro e outubro.

TABELA 1 - Resultados da DQO obtidos durante as seis campanhas realizadas

DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)			
Datas de coleta	Saída da fossa	Tratado	% remoção
18/09	338	34	90
23/09	268	81	70
02/10	304	51	83
10/10	417	85	80
23/10	311	48	85
30/10	215	56	74
Médias	309	59	80

Segundo Von Sperling (2005), o teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido em função da oxidação química da matéria orgânica. Nesse caso, os resultados das análises apresentados na tabela acima atendem ao limite indicado para o parâmetro de DQO estabelecido pela Resolução 001/07 da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) para tratamento de efluentes domésticos (limite estabelecido de 225 mgO₂.L⁻¹).

Verifica-se, nesse caso, que a ETE apresentou uma excelente remoção de DQO igualando-se, por exemplo, a sistemas convencionais como tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, que apresenta remoção de DQO na faixa de 70 a 80% (VON SPERLING, 2005).

A Tabela 2 apresenta os valores da turbidez medida nas seis campanhas realizadas nos meses de setembro e outubro.

TABELA 2 - Resultados de turbidez obtidos durante as seis campanhas realizadas

Turbidez (UT)			
Datas de coleta	Saída da fossa	Tratado	% remoção
18/09	297	86	71
23/09	306	186	39
02/10	228	66	71
10/10	501	178	64
23/10	287	53	81
30/10	256	58	77
Médias	312	88	67

* UT – unidade de turbidez.

De acordo com Zanella (2008), a turbidez muitas vezes é um parâmetro crucial para a aceitação do sistema de tratamento do efluente proposto. A turbidez é causada pela presença de sólidos suspensos na água. Avaliando os dados das análises (antes e após passagem do efluente pela ETEZR), nota-se uma diminuição considerável na turbidez do efluente, o que se deve, em sua maior parte, à ação do filtro físico de areia e brita e ação microbiana do meio. Essa capacidade de filtração está bastante relacionada à porosidade do meio; quanto menor essa porosidade (nesse caso proporcionada principalmente pela presença de areia), maior a retenção de sólidos e, portanto, menor a turbidez do líquido.

A Tabela 3 apresenta os valores da concentração de fósforo das seis campanhas realizadas nos meses de setembro e outubro.

TABELA 3 - Resultados das concentrações de fósforo obtidas nas seis campanhas realizadas

Amostras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Campo</i>	6,90	7,27	6,57	7,07	6,80	6,85	7,10	6,87	6,63	7,06	6,83
<i>Mata</i>	7,00	7,30	6,58	7,40	6,98	7,00	7,22	7,00	6,65	7,09	7,30
<i>Rio</i>	7,58	7,46	8,05	7,21	8,01	7,06	7,42	8,23	7,21	7,48	7,65
Amostras	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
<i>Campo</i>	7,21	6,79	6,89	7,02	7,01	6,91	7,08	6,85	6,76	6,89	
<i>Mata</i>	7,26	7,06	7,01	7,20	7,30	6,98	7,24	7,08	6,97	7,20	
<i>Rio</i>	7,20	8,02	8,03	7,86	8,02	7,89	7,92	8,01	7,68	7,88	

O solo tem grande afinidade pela forma PO_4^- em que o elemento é também absorvido pelas plantas. O elemento fósforo tem pouca mobilidade no solo por se ligar a compostos insolúveis e ser absorvido pelas argilas ou precipitado sob a forma de fosfatos de ferro, alumínio e cálcio, sendo, assim, pouco lixiviado (BONNET, 1997, apud VAN KAICK, 2002).

O fósforo é um elemento não tóxico, mesmo em elevadas concentrações; porém, quando presente no meio aquático, acarreta o crescimento excessivo de algas, provocando o estado de eutrofização em represas (AISSE, 1997). Nesse caso, a ETE apresentou uma remoção muito boa de fósforo, uma vez que este não é facilmente removido em processos biológicos convencionais. Processos como lagoa facultativa (aeróbia e anaeróbia), reator UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente e de manta de lodo), ou mesmo lodos ativados (estes dois últimos bastante utilizados no Paraná), mant m percentuais de eficiência de remo o de fósforo abaixo dos 35% (VON SPERLING, 2005). Os valores obtidos nesse trabalho estão ainda ligeiramente melhores que os encontrados por Van Kaick (2002) que obteve, em tanques similares a este, valores variando entre 10,0 e 15,0 mg/L de fósforo no efluente final.

A Tabela 4 apresenta os valores de coliformes fecais e totais das amostras avaliadas.

TABELA 4 - Resultados de coliformes totais e fecais obtidos nas seis campanhas realizadas

P (mg.L ⁻¹)			
Datas de coleta	S�ida da fossa	Tratado	% remo�o
18/09	12	6	50
23/09	11	3	73
02/10	11	3	73
10/10	8	5	37
23/10	8	4	50
30/10	5	3	40
M�dias	9	4	54

De acordo com Bahlo (1996) e Ambros, Ehrhardt e Kershbaumer (1998 apud VAN KAICK, 2002), a redução dos coliformes fecais nas ETE por zona de raízes é bastante significativa, podendo-se chegar a 90-99% de remoção, o que concorda com os valores observados na Tabela 4, onde todos os valores ficaram acima de 90%. Segundo Branco (1996 apud VAN KAICK, 2002), filtros físicos dessa natureza apresentam de fato boa capacidade de remoção de coliformes. Além disso, boa parte dessa remoção também se deve à ação de degradação química e biológica das plantas (BRASIL; MATOS; SOARES, 2007). Ainda assim, mesmo a ETE apresentando remoção superior a 90% de coliformes e *E. coli*, o efluente ainda possui alta concentração desses organismos, necessitando de desinfecção complementar.

Comparando os resultados da ETE implantada na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaraqueçaba (PR), citada na introdução do trabalho (com o filtro físico composto de areia e conchas de ostras), com os resultados da ETE avaliada nesse trabalho, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 - Parâmetros físico-químicos das ETE de Gonçalves Jr. e APA de Guaraqueçaba

Datas de coleta	CT e E. coli (UFC/100ml)					
	Saída da fossa		Tratado		% remoção	
	CT ($\times 10^{-3}$)	E. coli ($\times 10^{-3}$)	CT ($\times 10^{-2}$)	E. coli ($\times 10^{-2}$)	CT	E. coli
23/09	150	120	89	1	94	99,9
02/10	270	220	42	28	98	98,7
10/10	1100	570	800	7	93	99,8
23/10	410	130	331	10	92	99,6
30/10	*	3940	500	23	*	99,9
Médias	482	996	352	14	94	99,6

UNC – unidade formadora de colônia.

As análises de CF e CT não foram realizadas em 18/09.

(*) Não foi possível realizar a contagem da placa.

Analisando os resultados apresentados na tabela nota-se que, mesmo com as diferenças de construção, as duas ETE foram bastante eficazes na remoção de DQO.

Comparando os resultados das análises de fósforo das duas ETE, nota-se que o efluente da ETE de Gonçalves Jr. teve uma remoção satisfatória, com baixas concentrações de fósforo na saída do sistema.

Com relação às análises de coliformes, a ETE avaliada também possui uma boa remoção, tanto totais como fecais. Entretanto, as duas ETE necessitam de desinfecção complementar de seus respectivos efluentes.

CONCLUSÕES

O sistema de tratamento utilizado no presente trabalho não necessita de gastos com operação e manutenção, possui uma demanda de área pequena, além de não gerar impacto visual. Mesmo sendo um projeto relativamente simples, o sistema por zona de raízes se mostrou eficaz na remoção dos parâmetros analisados, com exceção da remoção de coliformes totais e *E. coli*, podendo assim ser considerado uma boa alternativa de tratamento secundário de esgoto doméstico para comunidades rurais e de baixa renda. Mesmo a ETE se mostrando eficaz no tratamento de esgoto, há a necessidade de mais estudos relacionados à construção da ETE para que se possa obter maior eficiência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Irati pelos apoios financeiros e logísticos e a Grasielle Soares Cavallini pelo auxílio na realização das análises no Laboratório de Qualidade de Água e Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental da Unicentro.

REFERÊNCIAS

- AISSE, M. M. Padrões de qualidade ambiental: discussão de alguns parâmetros relacionados ao lançamento de efluentes líquidos e à qualidade dos corpos d'água receptores. **Rev. Sanare**, Curitiba, v. 8, n. 8, p. 39-49, 1998.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. Washington: Clesceri/Greenberg & Eaton, 1998.
- BAHLO, K.; WACH, G. **Naturnahe Abwasserreinigung**. Staufen bei Freiburg: Okobuch Verlag, 1996.
- BONNET, B. R. P. **Diagnóstico de situação e proposição preliminar de plano de monitoramento dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola do lodo de esgotos no Paraná**. 1995. 153 f. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho da taboa (*thiapha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 266-272, 2007.
- BRIX, H. Function of macrophytes in constructed wetlands. **Water Sci. Technol.**, v. 29, n. 4, p. 71-78, 1994.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC. **Prática de implantação de disseminação de tecnologias apropriadas ao meio Rural**: Projeto Juramento. Belo Horizonte: Fundação CETEC, 1985.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.br/ibge/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadores_minimos/tabela3.shtm>. Acesso em: 05 out. 2007.
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH-M, 2000**. Disponível em: <www.pr.gov.br/ipardes/pdf/idmh_2000.pdf> Acesso em: 6 out. 2007.
- PRESZNHUK, R. A.; VAN KAICK, T. S. **Tecnologia apropriada e saneamento**: análise de eficiência de estações de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes. Curitiba: PGTEE/CEFET-PR, 2002.
- SIPINSKI, M. A.; VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto (ETE) piloto na Reserva Morro da Mina/SPVS, Antonina Paraná. **Cad. Litoral**, Curitiba, n. 3, p. 64, 2000.
- VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado**. 1999. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 1999.

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. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuais**: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005. v. 1.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários**: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte. 2008. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2008.

Recebido: 16/12/2008

Received: 12/16/2008

Aprovado: 12/03/2009

Approved: 03/12/2009

Revisado: 10/11/2009

Reviewed: 11/10/2009