

REMOÇÃO DE COLIFORMES DO ESGOTO POR MEIO DE ESPÉCIES VEGETAIS

WASTEWATER COLIFORMS REMOVAL BY VEGETAL SPECIES

RETIRO DE LOS COLIFORMES DE LAS AGUAS RESIDUALES POR ESPECIES VEGETALES

Rogério de Araújo Almeida¹, Nilza Alves Marques Almeida²

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de substratos e de espécies vegetais, nativas ou naturalizadas da região de Goiânia-GO, na remoção de coliformes do esgoto, num sistema de tratamento do tipo zona de raízes com fluxo subsuperficial descendente, precedido de decantação. O experimento foi conduzido no campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia. Após passar por uma caixa de decantação, o esgoto primário foi aplicado, diariamente, em módulos de tratamento contendo as espécies vegetais taboa (*Typha angustifolia* L.), lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium* J. König), conta-de-lágrima (*Coix lacryma-jobi* L.) e capim Angola (*Urochloa mutica* (Forssk.) T. Q. Nguyen), cultivadas em substratos com areia e/ou casca de coco. Foram construídos dezesseis módulos de tratamento, distantes dois metros uns dos outros, agrupados quatro a quatro, num delineamento experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas pelos substratos e as subparcelas pelas espécies vegetais. As repetições foram constituídas pelas amostragens do esgoto, que ocorreram quinzenalmente. As amostras do esgoto bruto, primário e secundário foram submetidas a análises laboratoriais e os resultados foram utilizados no cálculo de eficiência na remoção/redução dos coliformes do esgoto. Os valores de eficiência foram submetidos ao teste de Tukey-Kramer. O sistema de tratamento do tipo zona de raízes mostrou-se bastante eficiente na remoção de coliformes, atingindo níveis próximos à totalidade. As espécies vegetais comportaram-se de maneira semelhante na remoção dos coliformes fecais e o substrato com casca de coco mostrou-se menos eficiente que os substratos com areia.

PALAVRAS-CHAVE: Saúde Ambiental; Plantas de Tratamento de Águas Residuais; Saneamento.

ABSTRACT: This study aimed to assess the efficiency of substrates and of native or naturalized vegetal species from Goiânia (Goiás, Brazil) region on coli forms removal from a sanitary wastewater at a treatment with a rootzone likewise system, with downward flow, after previous decantation. After passing through the decantation box, primarily wastewater was daily applied on the treatment boxes with the following vegetal species: narrow leaf cattail (*Typha angustifolia* L.), white ginger (*Hedychium coronarium* J. König), Job's tears (*Coix lacryma-jobi* L.) and Para grass (*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen), cultivated on sand and/or coconut fibre substrates. Sixteen treatment modules were built up, grouped four to four with a two meter spacing and

using a split plot design, where the plots were assigned as substrates, and vegetal species as subplots. Replications were assigned as two monthly wastewater samplings. The biological attribute coli forms was determined on raw, primarily and secondary wastewater samples. Efficiency values were been submitted to Tukey-Kramer test. The rootzone treatment system revealed to be very efficient to withdraw coli forms, reaching levels near the totality. Vegetal species worked similarly on fecal coli forms removal, and coconut fiber substrate was less efficient than the substrates with sand.

KEY WORDS: Environmental Health; Wastewater Treatment Plants; Sanitation.

RESUMEN: Este estudio apuntó determinar la eficacia de substratos y de especies vegetales naturales o naturalizados de la región de Goiânia (Goiás, Brasil) en el retiro de los coliformes de aguas residuales sanitarias en un tratamiento del tipo zona de las raíces, con flujo hacia abajo, después de la decantación anterior. Después de pasar a través de la caja de la decantación, las aguas residuales fueron aplicadas diariamente en los módulos del tratamiento con las especies vegetales siguientes: espadaña (*Typha angustifolia* L.), caña de ámbar (*Hedychium coronarium* J. König), lágrima de Job (*Coix lacryma-jobi* L.) y pasto Pará (*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen), cultivados en substratos de arena y/o de fibra del coco. Dieciséis módulos del tratamiento fueron construidos, agrupados cuatro a cuatro con un espacio de dos metros entre ellos, en un diseño experimental del tipo parcela dividida, donde los substratos fueron las parcelas, y las especies vegetales fueron las sub parcelas. Las réplicas fueron las muestras de las aguas residuales efectuadas a cada quince días. Los coliformes fueron determinados en las aguas residuales antes y después de pasar a través de la caja de decantación y a través de los módulos del tratamiento. Los valores de la eficacia fueron sometidos a la prueba de Tukey-Kramer. El sistema de tratamiento del tipo zona de las raíces reveló para ser muy eficiente en retirar los coliformes, alcanzando los

¹ Engenheiro Agrônomo. Doutor em Agronomia. Professor Adjunto da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás. Caixa Postal 131. CEP 74.001-970. Goiânia, GO, Brasil. E-mail: raa@agro.ufg.br

² Enfermeira. Doutoranda no Programa Multiinstitucional de Mestrado e Doutorado em Ciências da Saúde – Convênio Rede Centro Oeste – UnB/UFU/UFMS. Professora Assistente da Faculdade de Enfermagem da Universidade Federal de Goiás. Caixa Postal 131. CEP 74.001-970. Goiânia, GO, Brasil. E-mail: nilza@fen.ufg.br

niveles acercan a la totalidad. Las especies vegetales trabajaron semejantemente en retiro de los coliformes fecales, y los substratos con la fibra del coco fueran menos eficientes que los substratos con la arena.

INTRODUÇÃO

Durante sua circulação pela superfície da Terra, a água pode ser fortemente contaminada pelo homem e animais. Isso acontece principalmente nas cidades, onde os esgotos das casas, hospitais e fábricas são lançados sem tratamento nos rios, lagos e mares. Em consequência desse lançamento, aparece a possibilidade de vir a serem gerados certos inconvenientes, como, por exemplo, o desprendimento de maus odores, o sabor estranho na água potável e a mortandade de peixes, dentre outros. A saúde pública pode ser ameaçada pela contaminação das águas de abastecimento, dos balneários e dos gêneros alimentícios. As águas contaminadas podem veicular doenças como cólera, hepatite, esquistossomose, febre paratifóide, amebíase, ascaridíase, ancilostomose, estrogiloidose, poliomielite e diarreias infecciosas (IMHOFF & IMHOFF, 2002 e CESAN, 2005).

O investimento em saneamento traz grandes benefícios ao Estado, dentre eles, a melhoria da saúde da população e a redução dos recursos aplicados no tratamento de doenças, uma vez que grande parte delas está relacionada com a falta de uma solução adequada ao esgoto sanitário. Adicionalmente, há a diminuição dos custos no tratamento de água para abastecimento (os ocasionados pela poluição dos mananciais).

A implantação dos serviços de saneamento básico, em função da sua importância, tem de ser tratada como prioridade, sob quaisquer aspectos, na infra-estrutura pública das comunidades. O bom funcionamento desses serviços implica em uma existência com mais dignidade para a população usuária, pois melhora as condições de higiene, segurança e conforto, acarretando, assim, maior força produtiva em todos os níveis (FERNANDES, 1997). Segundo o autor, a implantação de um sistema de esgotamento sanitário, bem como sua correta operação, permite atingir os seguintes objetivos:

- a) Objetivos sanitários: coleta e remoção rápida e segura das águas residuárias; eliminação da poluição e contaminação de áreas a jusante do lançamento final; disposição sanitária dos efluentes, devolvendo ao ambiente a água em condições de reuso; redução ou eliminação de doenças de transmissão através da água, aumentando a vida média dos habitantes.
- b) Objetivos sociais: controle da estética do ambiente, evitando lamaçais e o surgimento de odores desagradáveis; melhoria das condições de conforto e bem estar da população; utilização das áreas de lazer, facilitando as práticas esportivas.

PALABRAS-CLAVE: Salud Ambiental; Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales; Saneamiento.

- c) Objetivos econômicos: melhoria da produtividade tendo em vista uma vida mais saudável para os cidadãos e menor número de horas perdidas com recuperação de enfermidades; preservação dos recursos naturais, valorizando as propriedades e promovendo o desenvolvimento industrial e comercial; redução de gastos públicos com campanhas de imunização e/ou erradicação de moléstias endêmicas ou epidêmicas.

A pesquisa tem buscado formas alternativas de tratamento de efluentes, principalmente o urbano. Via de regra, os danos causados pelo lançamento de esgotos nos mananciais serão evitados se o esgoto for submetido a tratamento prévio. O esgoto tratado pode ser usado para diversos fins, de acordo com a modalidade e a eficiência do tratamento. A depuração do esgoto é um dos recursos de que o homem lançará mão no futuro para atender à demanda sempre crescente de água potável (DACACH, 1991).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2000, realizou a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) que investigou as condições do saneamento básico de todos os municípios brasileiros, através da atuação dos órgãos públicos e empresas privadas, permitindo uma avaliação sobre a oferta e a qualidade dos serviços prestados e também análises das condições ambientais e suas implicações diretas com a saúde e a qualidade de vida da população (IBGE, 2002).

Entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença nos municípios brasileiros. Dos municípios existentes no Brasil, em 1989, menos da metade (47,3%) tinha algum tipo de serviço de esgotamento sanitário e 11 anos mais tarde, os avanços não foram muito significativos: 52,2% dos municípios eram servidos. Apesar de no período de 1989-2000 ter havido um aumento de aproximadamente 24% no número de municípios, o serviço de esgotamento sanitário aumentou apenas 10% (IBGE, 2002).

Para reduzir significativamente o enorme déficit em tratamento de esgotos sanitários, é necessário que se empreenda um grande esforço na implantação de novos sistemas de tratamento, o que demanda vultosos investimentos financeiros. Nas condições da realidade brasileira atual, a adoção de sistemas simples para tratamento dos esgotos sanitários, mais do que desejável, é uma necessidade imperativa (ANDRADE NETO, 1997).

Diante de tal situação, é necessário promover o desenvolvimento e a utilização de tecnologias que permitam melhorar a qualidade dos efluentes e que, ao mesmo tempo, sejam adequadas ao contexto sócio-econômico do país (OLGUÍN et al., 1994; HELLER & NASCIMENTO, 2005).

A utilização de plantas no tratamento de esgotos tem se apresentado como uma alternativa tecnológica interessante ao país e ao estado goiano (ALMEIDA et al., 2002, 2003a, 2003b, 2005).

O presente estudo objetivou avaliar a eficiência de substratos e de espécies vegetais nativas ou naturalizadas da região de Goiânia, GO, na remoção de coliformes do esgoto sanitário, num sistema de tratamento do tipo zona de raízes.

REVISÃO DE LITERATURA

A importância do saneamento básico e sua associação à saúde humana remontam às mais antigas culturas. O saneamento desenvolveu-se de acordo com a evolução das diversas civilizações, ora retrocedendo com a queda das mesmas, ora renascendo com o aparecimento de outras. Todavia, conquistas alcançadas em épocas remotas ficaram esquecidas durante séculos porque não chegaram a fazer parte do saber do povo em geral, uma vez que seu conhecimento era privilégio de poucos homens de maior cultura (BRASIL, 2004a).

Os primeiros sistemas de esgotamento executados pelo homem tinham como objetivo protegê-lo das vazões pluviais (3.750 a.C. na Índia e na Babilônia) (FERNANDES, 1997; NUVOLARI, 2003a). O aparecimento da água encanada e das peças sanitárias com descarga hídrica fez com que a água passasse a ser utilizada para afastar dejetos e outras impurezas indesejáveis ao ambiente de vivência. Essas vazões passaram, então, a ser conduzidas para as galerias de águas pluviais existentes originando, assim, o denominado Sistema Unitário de Esgotos (3000 a.C. no Paquistão). No início do século XVIII, a construção de sistemas unitários propagou-se pelas principais cidades do mundo. Todavia, nas regiões tropicais e equatoriais, com índice pluvial cinco a seis vezes maiores que a média européia, a adoção desse sistema tornou-se inviável devido ao elevado custo (FERNANDES, 1997).

Tendo em vista a proliferação de pestes e doenças contagiosas nas cidades desprovidas do esgotamento sanitário, em 1855, Dom Pedro II contratou especialistas ingleses para implantar o sistema de esgotos nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. Após um estudo aprofundado da situação, foi adotado, na ocasião, um sistema inédito no qual eram coletadas e conduzidas às galerias, além das águas residuais domésticas, apenas as vazões pluviais provenientes das áreas pavimentadas interiores aos lotes (telhados, pátios, etc). Criava-se, então, o Sistema Separador Parcial, cujo objetivo básico era reduzir os custos de implantação e, conseqüentemente, as tarifas a serem pagas pelos usuários (FERNANDES, 1997).

O Sistema Separador Absoluto, cuja característica principal é ser constituído de uma rede coletora de esgotos sanitários e uma outra exclusiva para águas pluviais, foi desenvolvido nos Estados Unidos, em 1879 e rapidamente difundiu-se pelo resto

do mundo. No Brasil, destacou-se na divulgação do novo sistema o engenheiro Francisco Saturnino Rodrigues de Brito, notável sanitarista nacional, cujos estudos, trabalhos e reformas de sistemas já implantados, fizeram com que, a partir de 1912, fosse adotado obrigatoriamente no país, o sistema separador absoluto (FERNANDES, 1997; TSUTIYA & ALÉM SOBRINHO, 1999).

A norma brasileira NBR-9648 (ABNT, 1986) define o sistema sanitário separador absoluto como o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.

No período colonial, a maior parte das ações de saneamento era realizada em nível individual, situação possível pela ausência de grandes aglomerações humanas, abundância de recursos hídricos, baixo potencial poluidor da produção de esgotos e boas condições de autodepuração dos cursos d'água. As obras, entretanto, atendiam apenas a uma parte da população, caracterizando um quadro precário das condições sanitárias da época e determinando várias epidemias. A necessidade de melhorar as condições sanitárias levou o poder público a intervir no setor de saneamento (BRASIL, 2004b).

Segundo o IBGE (2002), as políticas governamentais para o setor de saneamento básico, principalmente até a década de 1960, foram caracterizadas por medidas esporádicas e localizadas. Com a precariedade de atendimento por parte dos municípios, os efeitos da falta de investimentos se fizeram sentir nas altas taxas de mortalidade infantil e no agravamento da deterioração sanitária.

No período entre 1964 e 1985, a centralização do Estado brasileiro esvaziou a atuação dos governos locais que se tornaram simples gestores da política central. Os recursos do setor de Saneamento Básico passaram a ser gerenciados pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) que, através do Plano Nacional de Saneamento (Planasa), incentivou a criação de companhias estaduais, sob a forma de economia mista, e a concessão dos serviços pelos municípios aos estados. O objetivo do Planasa era o de encaminhar uma solução permanente e realista para eliminar o déficit do abastecimento de água e do esgotamento sanitário. Durante a década de 1980, as metas a serem atingidas passaram a ser o atendimento da população urbana em 90% com serviço de abastecimento de água de boa qualidade e 65% com serviço de esgotamento sanitário (IBGE, 2002).

Apesar do esforço governamental, o saneamento no Brasil, principalmente no que se refere ao esgotamento sanitário, continuou muito aquém do necessário (IBGE, 2002). Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2005), falta saneamento adequado para quase 29% da população urbana brasileira.

Do ponto de vista das condições de saneamento mais abrangentes, a inexistência de rede geral de

esgoto compromete o meio ambiente e, conseqüentemente, a saúde da população que utiliza rios, lagos, lagoas e solos contaminados por esgoto lançado sem tratamento (IBGE, 2002).

Segundo a Saneamento de Goiás (SANEAGO, 2005), a empresa abastece 92% da população da capital do estado goiano com água tratada e coleta os esgotos de 84%, dos quais, 60% é tratado (50,4% do total). O sistema de esgotos de Goiânia possui mais de 2.600.000 m de rede coletora e quatro estações de tratamento de esgoto (ETE's Aruanã, Parque Atheneu, Goiânia e Samambaia), que possuem capacidade para tratar 75% do esgoto coletado na cidade. No interior do estado de Goiás existem 44 sistemas de esgoto em funcionamento. Oitenta e quatro por cento da população é atendida com o serviço de água tratada, 33% têm os seus esgotos coletados e, destes, 35% (11,71% do total) são tratados.

Os esgotos sanitários são constituídos por 99,9% de água. Todavia, as impurezas que completam sua constituição impedem seu uso como sucedâneo da água natural (McGHEE & STEEL, 1991), sendo a matéria orgânica em decomposição a principal responsável por suas características indesejáveis (DACACH, 1991; BARROS et al., 1995; SPERLING, 1996; FERNANDES, 1997).

Os principais organismos encontrados nos esgotos são bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas (PESSÔA & JORDÃO, 1982; BRASIL, 2004a). A Tabela 1 apresenta uma relação de organismos

patogênicos comumente encontrados nos esgotos. As bactérias constituem talvez o grupo mais importante destes organismos, pois são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza como nas unidades de tratamento biológico (PESSÔA & JORDÃO, 1982; SANEAGO, 2005).

Há vários organismos cuja presença num manancial hídrico indica uma forma qualquer de poluição. Usa-se adotar os organismos do grupo coliforme como indicadores de poluição. As bactérias coliformes são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente (mamíferos em geral), e, justamente por estarem sempre presentes no excremento humano (100 a 400 bilhões de coliformes por habitante ao dia) e serem de simples determinação, são adotadas como referência para indicar e medir a grandeza da poluição (SANEAGO, 2005).

Essas bactérias não são perigosas, mas sua presença em mananciais de água aventa a possibilidade da presença de microorganismos patogênicos, uma vez que os coliformes apresentam resistência aproximadamente similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais (SPERLING, 1996). A eliminação de coliformes fecais pelos indivíduos é constante, enquanto que a eliminação de patogênicos é função de que os mesmos estejam doentes ou, sejam portadores do agente infeccioso (FERNANDES, 1997).

Tabela 1: Organismos patogênicos comumente encontrados nos esgotos sanitários.

ORGANISMO	DOENÇA	OBSERVAÇÕES
<i>Ascaris, enterobius</i>	Verminose	Originários de efluentes de esgotos e lodo usado como fertilizante.
<i>Bacillus anthracis</i>	Antrax	Encontrados em esgotos. Esporos resistentes ao tratamento.
<i>Brucella</i>	Brucelose Aborto contagioso em ovelhas, cabras e vacas	Normalmente transmitido por leite infectado ou por contato. Despejos de esgotos são suspeitos.
<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria (ameba)	Difundida por águas contaminadas e lodo usado como fertilizante.
<i>Leptospira iceterohaemorrhagie</i>	Leptospirose	Transmitida por ratos de esgotos.
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculose	O esgoto é um possível modo de transmissão.
<i>Salmonella</i>	Envenenamento através da alimentação	Comum em esgotos e efluentes.
<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratifoide	Comum em esgotos e efluentes em épocas de epidemias.
<i>Schistosoma</i>	Esquistossomose	Elimináveis através de um eficiente tratamento de esgotos.
<i>Shigella</i>	Disenteria bacilar	Águas poluídas são as principais fontes de infecção.
<i>Taenia</i>	Solitária	Ovos muito resistentes, presentes no lodo de esgoto e efluentes. Perigoso ao gado. Transmitida pelos esgotos e águas poluídas.
Vírus	Poliomielite, hepatite	Encontrados nos efluentes de tratamentos biológicos de esgotos.

Fonte: Adaptado de FERNANDES (1997)

Seria por demais trabalhoso e anti-econômico realizar análises para determinar a presença de patogênicos no esgoto, então, determina-se a presença de coliformes e, por segurança e prevenção, age como se os patogênicos estivessem presentes (BRASIL, 2004a).

O tratamento de esgoto se processa por meio de fenômenos físicos, químicos e biológicos. Uma classificação para a modalidade de tratamento está associada ao nível do tratamento e à sua eficiência. Assim, segundo DACACH (1991), McGHEE & STEEL (1991) e SPERLING (1996) tem-se:

- a) Tratamento preliminar ou pré-tratamento: remove por ação física o material grosseiro e uma parcela das partículas maiores em suspensão no esgoto (grades, caixas de areia e caixas de gordura);
- b) Tratamento primário: remove por ação física os sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica (decantador);
- c) Tratamento secundário: processo predominantemente biológico que pode atuar sobre o efluente primário, preliminar ou mesmo sobre o esgoto bruto, quando livre de material grosseiro. Objetiva principalmente a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, de nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- d) Tratamento terciário: bastante raro no Brasil, objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

Segundo McGHEE & STEEL (1991), é possível tratar o esgoto a qualquer grau que se deseje, para torná-lo utilizável para qualquer fim. A eficiência do tratamento é a percentagem removida de um determinado atributo do esgoto, que pode ser dimensionada pela seguinte equação (DACACH, 1991; SPERLING, 1996; SOLANO et al., 2004): $E_f = 100((Co-Ce)/Co)$, em que, E_f = eficiência de remoção (%); Co = concentração afluente do atributo e Ce = concentração efluente do atributo.

Assim, se um determinado atributo for reduzido de 100 mg.L^{-1} para 50 mg.L^{-1} , a eficiência será de 50%. Se ocorrer o contrário, e houver um aumento na concentração do referido atributo, a eficiência assumirá valor negativo.

Na natureza existem vários ecossistemas que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano. Tais ecossistemas podem ser facilmente encontrados, como por exemplo, nas várzeas dos rios, nos igapós na Amazônia, nos banhados, nos pântanos, nas formações lacustres de baixa profundidade em parte ou no todo, nas grandes ou pequenas áreas com lençol freático muito alto, porém nem sempre com afloramento superficial e nos manguezais. Nesses ecossistemas pode-se observar que as águas ao passarem pelo solo sofrem um processo de purificação, sendo que a ação depuradora é devida a três fatores principais (TRATAMENTO..., 2002):

Ação de filtragem mecânica – a qual depende fundamentalmente da estrutura, da granulometria e da composição química do solo;

- a) Ação físico-química – para retenção de ânions e cátions. Esta ação está intimamente ligada com a capacidade de troca catiônica dos solos;
- b) Ação biológica – que pode ser ativa por meio dos mecanismos:
 - b1) ação dos microorganismos do solo – que decompõem a matéria orgânica, ativam os processos biogeoquímicos e atuam sobre microorganismos que existem nas águas poluídas;
 - b2) ação das plantas – que crescem e retiram nutrientes ao mesmo tempo em que o sistema radicular melhora as condições físico-químicas do solo.

Os tratamentos de esgoto com plantas representam uma tecnologia emergente que está se revelando como uma alternativa, eficiente e de baixo custo, aos sistemas convencionais. Esses sistemas podem ser implementados no mesmo local onde o esgoto é produzido, podem ser operados por pessoas de baixa escolaridade, possuem baixo gasto energético e são mais flexíveis e menos susceptíveis a variações nas taxas de aplicação de esgoto (BRIX, 1993; SOLANO et al., 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 não é tão limitante em nosso país.

São conhecidos, em português, pelas denominações de trincheiras filtrantes, lagoas ou leitos de macrófitas, alagados construídos, fito-lagunagem, fito-ETARs (estações de tratamento de águas residuais através de plantas) ou, ainda, sistema de zona de raízes (DIAS et al., 2002).

Segundo informações pessoais obtidas de Iria Salete Vicznevski, então coordenadora do Programa de Saneamento Rural do município de Joinville (SC), por meio de fax em 25 de julho de 2002, o município de Joinville, tem desenvolvido um programa de saneamento rural com tratamento biológico de esgoto doméstico por zona de raízes. Em julho de 2002 contava com dez sistemas instalados, sendo um em uma escola, outro num hotel e oito em residências. Análises laboratoriais verificaram níveis de redução entre 99% e 100% para a contagem de bactérias no esgoto tratado (VICZNEVSKI & MARCHESINI, 2002).

Análises laboratoriais realizadas nos três primeiros meses de funcionamento (junho, julho e agosto de 2002) da estação de tratamento de esgotos com plantas do Parque da Criança (Goiânia, GO) verificaram eficiência de 99,97% na redução dos níveis de coliformes fecais. Já as estações de tratamento condomínio “Ecologic Park de Thermas” (Caldas Novas, GO) e do campus II da Universidade Católica de Goiás (Goiânia, GO) apresentaram, respectivamente, eficiências da ordem de 96,79% e 99,96% na remoção de coliformes fecais (neste caso, as informações foram obtidas de “Artemec”,

responsável pela implantação das referidas estações de tratamento de esgoto, no dia 11 de julho de 2005, via e-mail.).

Segundo GERSBERG et al. (1986), TCHOBANOGLIOUS (1991), BRIX (1993) e SIEVERS (1993), as raízes das plantas utilizadas no tratamento de esgotos devem prover superfície para fixação das bactérias aeróbicas e fornecer-lhes oxigênio, retirar nutrientes da solução e absorver grandes montantes de água. Assim, a seleção das plantas para uma estação de tratamento deve ser criteriosa e será influenciada pela capacidade da planta em se enraizar e desenvolver no meio saturado em esgoto, sua habilidade em tratar esgotos em níveis aceitáveis e sua produção de biomassa (exigência de manutenção).

A vegetação desempenha um papel fundamental no tratamento de esgotos com plantas pela transferência de oxigênio, através das raízes e rizomas, ao fundo das bacias de tratamento, propiciando um ambiente propício ao desenvolvimento de microorganismos que atuam no tratamento biológico (TCHOBANOGLIOUS, 1991; BRIX, 1993). Todavia, a remoção dos contaminantes das águas residuais ocorre em resultado de complexas interações de fenômenos de natureza química, física e biológica (GERSBERG et al., 1986). É o complexo "substrato-microbiota-plantas" que assegura a descontaminação dos esgotos, e não, as plantas ou qualquer outro componente isoladamente (DIAS et al., 2002).

Os processos de tratamento de esgotos usualmente utilizados são bastante eficientes na remoção de sólidos em suspensão e de matéria orgânica, mas insuficientes para a remoção de microorganismos (SPERLING, 1996). Assim, a desinfecção dos efluentes com cloro, ozônio, dióxido de cloro, permanganato de potássio, cloraminas, ozônio/peróxido de hidrogênio ou radiação ultravioleta deve ser realizada, como tratamento terciário (RIBEIRO, 2003) o que encarece sobremaneira o tratamento do esgoto.

Segundo BRIX (1993) e TRATAMENTO... (2002), os patógenos são removidos dos esgotos por sedimentação, filtração e pela morte natural em meio desfavorável. Nos sistemas de tratamento do tipo zona de raízes, metabólitos liberados pelas raízes das plantas têm demonstrado efeito antibiótico sobre os patógenos (VAN KAICK, 2002).

A escassez de água potável e a contaminação de águas pelo descaso ambiental matam milhões de pessoas, anualmente. Diante desta realidade, faz-se necessária a utilização de tecnologias que permitam o adequado tratamento dos efluentes de forma a preservar a qualidade da água dos mananciais e evitar que a atividade humana descontrolada provoque danos irreversíveis ao planeta.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2001) considera impróprios à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, os trechos dos mananciais de águas doces de classe 2 (todos os mananciais goianos se enquadram nesta classe) cujo valor obtido na última

amostragem for superior a 2.500 coliformes fecais (termotolerantes) por 100 mililitros. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A E. coli poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes-termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente (CONAMA, 2005).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação de Pesquisas em Tratamento de Esgotos (implantada com recursos do Fundo Estadual do Meio Ambiente – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Habilitação do Governo do estado de Goiás) da Universidade Federal de Goiás - UFG, situada no Campus Samambaia, no município de Goiânia, Goiás, a 16° 36' de latitude sul, 49° 17' de longitude oeste e 730 m de altitude; no ano de 2003. O esgoto utilizado foi coletado diretamente da rede de esgotos do campus Samambaia, gradeado e conduzido a uma caixa de decantação (1500 L úteis de capacidade), onde ocorria a separação da parte sólida (lodo de esgoto e areia) e dos materiais flutuantes (gordura, plásticos, etc). A parte líquida, situada na altura intermediária da coluna de esgoto, passava para uma segunda caixa (caixa de bombeamento com 1500 L úteis de capacidade) onde permanecia disponível para aplicação nos módulos de tratamento com plantas. A passagem do esgoto pelas caixas de decantação e de bombeamento é considerada como um tratamento primário do tipo tanque séptico ou decanto-digestor (NUVOLARI, 2003b).

A aplicação do esgoto primário foi feita no centro da superfície dos módulos de tratamento três vezes ao dia (as 3:00, 11:00 e 19:00 horas), num volume total de 120 litros diários em cada um dos módulos. Considerando-se uma contribuição média de 200 litros diários de esgoto por habitante (IMHOFF & IMHOFF, 2002) e uma recomendação de dois metros quadrados de área da estação de tratamento de esgotos por habitante (valor utilizado nos sistemas tipo zona de raízes, implantados em Goiás), foi adotada uma vazão 20% superior à recomendação teórica.

Os tempos de detenção do esgoto foram de 36,6 horas nas caixas de decantação e bombeamento (1965,6 litros por dia em 3000 litros de volume útil das caixas) e de 61,5 horas nos módulos de tratamento (0,7 m³ de substrato com 45% de espaços vazios, em cada um dos dezesseis módulos), totalizando 98,17 horas (4,09 dias) de detenção.

Os módulos de tratamento eram em número de dezesseis, distantes dois metros uns dos outros, agrupados quatro a quatro, num delineamento experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas representadas pelos substratos (quatro combinações) e as sub-parcelas pelas plantas (quatro espécies vegetais). As repetições, em número de

treze, foram constituídas pelas amostragens do esgoto, que ocorreram quinzenalmente.

Individualmente, cada módulo representou uma unidade de tratamento de esgotos, do tipo zona de raízes com fluxo sub-superficial vertical descendente, conforme classificação de BRIX (1993). Foi constituída por uma caixa, construída em fibra de vidro, com um metro cúbico de capacidade volumétrica (1 m x 1 m x 1 m), dotada de orifícios para entrada e saída de líquidos, preenchida com camadas sobrepostas de substrato até, aproximadamente, 0,2 m de sua borda superior (volume reservado para se evitar transbordamentos em função do acúmulo de águas de chuva ou da aplicação de esgoto).

Antes do preenchimento das caixas com os substratos, fez-se uma camada de drenagem com brita número um ou fibra seca de casca de coco verde. Posteriormente, procedeu-se ao preenchimento com os demais materiais, conforme esquema apresentado na Tabela 2. Foram utilizados: areia (Tabela 3), fibra seca de casca de coco, substrato de fibra de coco, casca de arroz carbonizada e conchas de ostras marinhas. Na superfície dos módulos de tratamento que utilizaram a fibra seca de casca de coco verde como substrato foi aplicada uma camada de substrato de fibra de coco Amafibra Golden Mix 47, cuja textura mais fina permitiu uma melhor sustentação das mudas das espécies vegetais.

Tabela 2: Esquema de preenchimento com substrato* dos módulos de tratamento de esgoto no sistema zona de raízes

Substrato S3	Substrato S4	Substrato S2	Substrato S1
FOLGA LIVRE	FOLGA LIVRE	FOLGA LIVRE	FOLGA LIVRE
0,120 m ³ AREIA	0,120 m ³ AREIA		0,200 m ³ G.M.47
0,011 m ³ CONCHA	0,011 m ³ CONCHA		
0,120 m ³ AREIA	0,120 m ³ AREIA		
0,011 m ³ C.A.C.	0,011 m ³ C.A.C.		
0,120 m ³ AREIA	0,120 m ³ AREIA	0,644 m ³ AREIA	0,444 m ³ F.C.V.
0,011 m ³ C.A.C.	0,011 m ³ C.A.C.		
0,120 m ³ AREIA	0,120 m ³ AREIA		
0,011 m ³ C.A.C.	0,011 m ³ C.A.C.		
0,120 m ³ AREIA	0,120 m ³ AREIA		
0,150 m ³ BRITA 1	0,150 m ³ F.C.V.	0,150 m ³ BRITA 1	0,150 m ³ F.C.V.

* CONCHA = conchas de ostras marinhas; C.A.C. = casca de arroz carbonizada; F.C.V. = fibra de casca de coco verde, seca; G.M.47 = substrato de fibra de coco Amafibra Golden Mix 47.

Tabela 3: Granulometria* de areia** utilizada como substrato de preenchimento dos módulos de tratamento.

Diâmetro de partículas (mm)	Massa (g)	Percentual (%)
> 2,000	120,44	6,01
1,000 a 2,000	62,70	3,13
0,500 a 1,000	155,87	7,77
0,250 a 0,500	785,52	39,18
0,105 a 0,250	818,21	40,81
< 0,105	62,16	3,10

* Material seco em estufa até peso constante, resfriado e peneirado para separação das frações.

** Volume de vazios correspondente a 45% do volume total da areia.

As mudas das espécies vegetais foram coletadas às margens de mananciais das bacias hidrográficas dos rios Meia Ponte e João Leite, na área metropolitana da cidade de Goiânia, GO. Foram

utilizados a taboa (*Typha angustifolia* L.), o lírio do brejo (*Hedychium coronarium* J. König), a conta de lágrima (*Coix lacryma-jobi* L.) e o capim Angola (*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen) (Figura 1).

Figura 1: Espécies vegetais avaliadas no tratamento de esgotos pelo sistema zona de raízes. Fonte: Almeida et al. (2005)



a) Conta de lágrima
(*Coix lacryma-jobi* L.)



b) Lírio do Brejo
(*Hedychium coronarium* J. König)



c) Capim Angola
(*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen)



d) Taboa
(*Typha angustifolia* L.)

As mudas foram plantadas nos primeiros 0,10 m do substrato, na última semana de novembro de 2002, utilizando-se dez unidades vegetativas para cada módulo de tratamento, exceto para a taboa, cujo estande foi de nove plantas por metro quadrado.

Não foi feita irrigação dos módulos nesse período inicial, sendo a umidade mantida pelas precipitações pluviais. Semanalmente, fez-se a contagem das plantas, retirando-se aquelas que haviam morrido e plantando outras em seu lugar. O percentual de replantio observado foi de 78,33% para a conta de lágrima, 38,89% para a taboa e de 13,64% para o lírio do brejo. O capim Angola não necessitou de replantios. Os elevados índices de replantio alertam para a necessidade de irrigação suplementar das mudas recém plantadas, até o seu pegamento. As plantas foram podadas, periodicamente, visando mantê-las dentro da projeção vertical das laterais dos módulos de tratamento e as plantas que morreram após o início da aplicação de esgoto não foram retiradas do sistema, nem replantadas.

A aplicação do esgoto iniciou-se somente após o pegamento e desenvolvimento satisfatório de todas as espécies vegetais, em todos os módulos de tratamento, conforme recomendação de SIEVERS (1993) e SOLANO et al. (2004), o que ocorreu em meados de janeiro de 2003. O nível do esgoto dentro dos módulos foi mantido a cerca de 0,10 m abaixo da superfície do substrato, pelo posicionamento externo do tubo de drenagem.

A partir de junho de 2003, quinzenalmente, por um período de seis meses, foram coletadas amostras de esgoto na saída de cada um dos módulos (dezesseis pontos de coleta), na entrada de esgoto nos módulos de tratamento (um ponto de coleta, feito

aleatoriamente entre os módulos) e na entrada do esgoto na caixa de decantação (um ponto de coleta que representava o material antes de ser submetido aos tratamentos - esgoto bruto). As amostras foram submetidas a análises laboratoriais e os resultados foram utilizados no cálculo de eficiência na remoção de atributos do esgoto. As coletas das amostras e suas análises laboratoriais foram realizadas por técnicos da Agência Ambiental do Estado de Goiás, conforme metodologias determinadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), atendendo ao disposto no Artigo 7º da Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2001).

Para os cálculos estatísticos determinou-se o índice de eficiência no tratamento de esgoto pela utilização da equação Eficiência = entrada / saída, em que, Eficiência = índice de eficiência do tratamento para determinado atributo; entrada = teor médio de um determinado atributo do esgoto bruto e saída = teor de um determinado atributo do esgoto, após passar pelo módulo de tratamento.

Os teores médios dos atributos do esgoto bruto foram utilizados, em substituição aos teores verificados em cada uma das análises, em função das coletas de esgoto bruto e tratado terem sido realizadas no mesmo dia. Como o tempo de detenção foi de 4,09 dias (desconsiderando-se as perdas de água por evapotranspiração e os ganhos por precipitação pluvial) o material de saída correspondia àquele aplicado quatro dias antes.

Foram avaliados os efeitos dos substratos e das espécies vegetais sobre os coliformes totais e coliformes fecais. Os resultados foram submetidos ao

teste de Tukey-Kramer. Foram descartados os dados correspondentes à parcela com substrato S2 (brita1+areia) por ter apresentado um vazamento na parte central da base de um dos módulos, impossível de ser solucionado sem a completa retirada das plantas e do substrato. Os números mais prováveis (NMP) de coliformes fecais e totais tiveram seus valores mínimos limitados a 20 NMP.100mL⁻¹ (valor teórico considerado limite de detecção do método de análise empregado). Destaca-se o fato de que muitos resultados apresentaram valores nulos (zero), o que representaria 100% de remoção e um índice de eficiência inexistente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de tratamento analisado constituiu-se de um gradeamento (tela localizada na entrada de esgoto por ocasião de sua captação), de um tanque séptico (representado pelas caixas de decantação e de bombeamento) e de uma zona de raízes; nessa seqüência. Assim, o tratamento com as plantas pode ser classificado como do tipo secundário, definido por DACACH (1991), McGHEE & STEEL (1991) e SPERLING (1996) como um processo predominantemente biológico que objetiva principalmente a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

Normalmente, o sistema com plantas é utilizado como tratamento secundário ou mesmo terciário (TCHOBANOGLIOUS, 1991; SIEVERS, 1993; DIAS et al., 2002). Todavia, em alguns casos, pode ser utilizado no tratamento primário (SOLANO et al., 2004), desde que o esgoto bruto esteja livre de material grosseiro.

A eficiência das plantas e dos substratos no tratamento do esgoto e os percentuais de remoção observados nas caixas de decantação e de bombeamento e na zona de raízes estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 4 e 5.

Foram verificados coeficientes de variação entre 20% e 24%, que podem ser considerados baixos, tendo em vista que a dificuldade de amostragem de um material heterogêneo e variável, como os esgotos, é enorme (McGHEE & STEEL, 1991; Van KAICK, 2002). Via de regra, os volumes das amostras são pequenos e não garantem a representatividade do fluxo total, uma vez que deveriam contemplar a secção transversal inteira do duto ou do local. McGHEE & STEEL (1991) avaliando a variabilidade de resultados de análises de esgotos, entre oito laboratórios, observou desvios padrões de 40% a mais que 100% para os resultados da determinação de nitrogênio orgânico, de 10% a próximo de 70% para amônia, de 12% para DBO, de 10% para DQO e de 4% para fósforo.

Tabela 4: Eficiência percentual* e índice de eficiência* de plantas, índice de eficiência de substratos, coeficiente de variação e valores médios de saída** observados na remoção de coliformes em esgoto sanitário submetido a tratamento num sistema do tipo zona de raízes de fluxo vertical descendente, precedido por decantação

Planta	Coliformes totais***		Coliformes fecais***	
	%	Índice	%	Índice
Angola	99,97	4,51 a	99,96	4,72 a
Conta	99,60	3,72 b	99,61	3,94 a
Lírio	99,58	4,33 ab	99,61	4,59 a
Taboa	99,93	3,84 ab	99,97	4,30 a
Substrato	Coliformes totais***		Coliformes fecais***	
	%	Índice	%	Índice
Areia1+brita	-	4,98 a	-	5,05 a
Areia1+casca	-	4,12 a	-	4,60 a
Fibra+casca	-	3,19 b	-	3,51 b
CV (%)	20,90		23,67	
Média	7,2.10 ⁵ NMP.100ml ⁻¹		5,8.10 ⁵ NMP.100ml ⁻¹	

* Eficiência percentual = 100((entrada-saída)/entrada); índice de eficiência = entrada/saída; em que: entrada: valor do parâmetro na entrada da caixa de decantação e saída: valor do parâmetro na saída do módulo de tratamento. Valores seguidos por mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer a 5% de probabilidade.

** Observados em amostras coletadas nas saídas dos módulos de tratamento.

*** Dados transformados por log₁₀(x), em que x é o índice de eficiência.

Tabela 5: Valores médios de atributos e eficiência na sua redução em esgoto sanitário submetido a tratamento num sistema do tipo zona de raízes com fluxo vertical descendente, precedido por decantação

	Coliformes totais (NMP.100mL ⁻¹) [*]	Coliformes fecais (NMP.100mL ⁻¹)
Esgoto bruto	4,2.10 ⁷	3,8.10 ⁷
Redução (%)	84,82	83,85
Após decantação	6,4.10 ⁶	6,1.10 ⁶
Redução (%)	88,85	90,50
Após plantas	7,2.10 ⁵	5,8.10 ⁵
Redução total (%)	98,31	98,47

A ^{*} NMP: número mais provável

eficiência na remoção de coliformes totais e fecais situou-se acima de 99,5% para todos os tratamentos (espécies vegetais). Não houve diferença entre os tratamentos para a remoção de coliformes fecais, cujo valor médio de saída foi de 5,8.10⁵ NMP.100mL⁻¹. Quanto aos coliformes totais, o capim Angola (99,97%) obteve o melhor desempenho, embora não diferindo da taboa e do lírio do brejo. A conta de lágrima apresentou o menor desempenho (99,58%) sem, contudo, diferir do lírio do brejo e da taboa. O valor médio na saída observado foi da ordem de 7,2.10⁵ NMP.100mL⁻¹.

Os tratamentos com a presença de areia no substrato foram mais eficientes na redução no número de coliformes totais e fecais, sugerindo um efeito positivo da filtração. A eficiência na remoção de coliformes foi da ordem de 84% nas caixas de decantação e de bombeamento e de 89% nos módulos com as espécies vegetais.

A legislação brasileira não determina limite de coliformes para os efluentes de estações de tratamento de esgoto. Ainda, a contribuição do efluente não pode elevar a contagem de coliformes termotolerantes nos corpos receptores acima de 1.000 NMP.100mL⁻¹ (CONAMA, 2005). Assim, as vazões do efluente e do corpo receptor e a concentração de coliformes já existentes no corpo receptor é que vão definir o limite máximo de coliformes permitido ao efluente da estação.

Alguns resultados de análise mostraram 100% de remoção de coliformes, o que comprova a eficiência do sistema com plantas. Ainda, o sistema não conseguiu se estabilizar, mesmo após seis meses de aplicação de esgoto. Tal fato se deve à grande variabilidade dos constituintes do esgoto da UFG. Quando os microorganismos estão prestes a se adaptar definitivamente ao meio, este é alterado por uma nova contribuição química ao esgoto. É de se esperar que a eficiência no tratamento de esgotos essencialmente domésticos seja ainda superior ao encontrado nesta pesquisa, aproximando-se de 100%.

VICZNEVSKI & MARCHESINI (2002) verificaram reduções entre 99% e 100% para coliformes, em Santa Catarina. COSTA et al. (2003) verificaram redução de 99,96%, na Paraíba. Van KAICK (2002) observou redução de 94% dos coliformes num sistema com taboa e atribuiu a redução à morte natural dos microorganismos em ambiente desfavorável e ao efeito tóxico de secreções radiculares sobre eles. Ainda, PRESZNHUK et al. (2003), em dois experimentos, verificaram redução do

número de coliformes totais da ordem de 69% e 75% e de coliformes fecais da ordem de 67% e 76%, bastante inferiores ao encontrado neste trabalho. E Van KAICK (2002) relatou a redução quase nula do número de coliformes em um outro de seus experimentos.

SOLANO et al. (2004) verificaram eficiência entre 87% e 99% para a remoção de coliformes fecais, no primeiro ano de avaliação de duas espécies vegetais, submetidas a duas lâminas de aplicação de esgoto sanitário. Não houve diferenças significativas na eficiência para as plantas e, tampouco, para as lâminas de aplicação. Ainda, no segundo ano de avaliação, verificaram melhores eficiências para a taxa de aplicação de 75 litros por metro quadrado por dia (em relação a 150 litros) e as plantas apresentaram eficiências menores (43% a 93%) sem, contudo, diferirem entre si.

A grande eficiência na remoção de coliformes, verificada neste trabalho, sugere que a utilização da zona de raízes nos sistemas de tratamento de esgotos sanitários pode vir a dispensar o tratamento terciário, simplificando e barateando as estações de tratamento.

CONCLUSÕES

- 1 – O sistema de tratamento do tipo zona de raízes mostrou-se bastante eficiente na remoção de coliformes do esgoto sanitário, atingindo níveis próximos à totalidade;
- 2 – As espécies vegetais comportaram-se de modo semelhante na remoção de coliformes fecais.
- 3 – O substrato fibra+casca foi menos eficiente na redução dos coliformes que os substratos com areia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. A. et al. Tratamento de esgoto com plantas: sistema zona de raízes. In: *PRÊMIO CREA Goiás de Meio Ambiente 2004: compêndio dos trabalhos premiados*. Goiânia: Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Estado de Goiás, 2005. p. 115-134.
- ALMEIDA, R. A.; PEREIRA, L. S.; POSCH, S. Eficiência de espécies vegetais no tratamento de esgoto sanitário. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA*, 43, 2003, Ouro Preto. *Resumos*, p. 46. Ouro Preto: Associação Brasileira de Química, 2003a.
- ALMEIDA, R. A.; PEREIRA, L. S.; POSCH, S. Tratamento de efluentes domésticos com plantas. In:

- CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 43, 2003, Ouro Preto. *Resumos*, p. 47. Ouro Preto: Associação Brasileira de Química, 2003b.
- ALMEIDA, R. A.; POSCH, S.; GODINHO, C. A. Tratamento de esgotos com plantas: sistema zona de raízes. In: SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA, 3. 2002, Uberaba. Eletrificação rural: sinal de eficiência, renda e qualidade de vida no campo. Uberaba: Cemig, 2002. CD-ROM.
- ANDRADE NETO, C. O. *Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira*. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- APHA. American Public Health Association. American Water Works Association. The Water Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17th. Ed. New York, EUA. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-9648: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário: procedimento*. Rio de Janeiro, 1986.
- BARROS, R. T. V. et al. *Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios*. Belo Horizonte: DESA: UFMG, 1995.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de saneamento*. 3. ed. Brasília, DF, 2004a.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde. *Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica*. Brasília, DF, 2004b.
- 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.
- CESAN. *Fontes de poluição*. Disponível em: http://www.cesan.com.br/pesquisa_estudantil/tratamento_agua/fontes.php. [Acesso em 19 nov. 2005].
- 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.
- 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 União*. Brasília, DF, 08 jan. 2001.
- COSTA, L. L. et al. Eficiência de wetlands construídos com dez dias de retenção hidráulica na remoção de colídeos e bacteriófagos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p.1-23, 2003.
- DACACH, N. G. *Tratamento primário de esgoto*. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica. 1991.
- DIAS, V. N. et al. *Fito-ETARs: pressupostos teóricos de funcionamento e tipos*. Disponível em: http://www.apesb.pt/Comunicacoes/9_PAPER_2.htm >. Acesso em: 23 jul. 2002.
- FERNANDES, C. *Esgotos sanitários*. João Pessoa: Editora da UFPb, 1997.
- GERSBERG, R. et al. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Research*, Halliolford, v. 20, n. 3, p. 363-368, 1986.
- 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.
- IBGE. *Pesquisa nacional de saneamento básico 2000*. Rio de Janeiro, 2002.
- IMHOFF, K. R.; IMHOFF, K. R. *Manual de tratamento de águas residuárias*. São Paulo, E. Blücher, 2002.
- IPEA. Radar Social. Brasília, 2005. 144 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/Destaques/livroradar/introducao.pdf>. [Acesso em 29 ago. 2005].
- McGHEE, T. J.; STEEL, E. W. *Water supply and sewerage*. 6th ed. Columbus: McGraw-Hill, 1991. 602 p.
- NUVOLARI, A. Um pouco de história. In: NUVOLARI, A. (Coord.). *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. São Paulo: E. Blücher. 2003a.
- NUVOLARI, A. As diversas opções de tratamento do esgoto sanitário. In: NUVOLARI, A. (Coord.). *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. E. Blücher, 2003b.
- OLGUÍN, E. J. et al. Aprovechamiento de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. In: *Tecnologías ambientales para el desarrollo sustentable*. Veracruz, Mexico, Instituto de Ecología Xalapa, p. 11-20, 1994.
- PESSÔA, 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.
- 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, p. 336-340. Curitiba: CEFET-PR, 2003.
- RIBEIRO, J. T. Desinfecção de efluentes das ETEs. In: NUVOLARI, A. (Coord.). *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. São Paulo: E. Blücher, 2003. p. 381-460.
- SANEAGO. *Esgoto*. Disponível em: <http://www.saneago.com.br>. [Acesso em 30 jun. 2005].
- SIEVERS, D. M. *Design of submerged flow wetlands for individual homes and small wastewater flows*. Special Report 457. Columbia: University of Missouri. 1993.
- 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.
- SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1. 2^a ed. Belo

Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

TCHOBANOGLOUS, G. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 3rd. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1991.

TRATAMENTO de Efluentes: processo fitopedológico. Disponível em:

<http://intermega.globo.com/ambienteonline/wetlands.html>. Acesso em: 23 jul. 2002.

TSUTIYA, M. T.; ALÉM SOBRINHO, P. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 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*. Curitiba, 2002. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

VICZNEVSKI, I. S.; MARCHESINI, G. B. *Programa de saneamento rural: tratamento biológico de esgoto doméstico por zona de raízes*. Joinville: Secretaria da Agricultura e Meio Ambiente: Fundação Municipal 25 de Julho, 2002.

Texto recebido em 25/11/2005

Publicação aprovada em 10/12/2005.