

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ADRIANA FARINA GALBIATI

TRATAMENTO DOMICILIAR DE ÁGUAS NEGRAS ATRAVÉS DE
TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

CAMPO GRANDE
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Coordenadoria de Biblioteca Central – UFMS, Campo Grande, MS, Brasil)

G148t Galbiati, Adriana Farina.
Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque
de evapotranspiração / Adriana Farina Galbiati. -- Campo
Grande, MS, 2009.

38 f. ; 30 cm.

Orientador: Paula Loureiro Paulo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

1. Águas residuais - Tratamento. 2. Fossas sépticas. I.
Paulo, Paula Loureiro. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ADRIANA FARINA GALBIATI

**TRATAMENTO DOMICILIAR DE ÁGUAS NEGRAS ATRAVÉS
DE TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Paula Loureiro Paulo

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Paula Loureiro Paulo
Orientadora – UFMS

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho
UFMS

Profa. Dra. Paula Pinheiro Padovese Peixoto
UFGD

Campo Grande - MS
2009

DEDICATÓRIA

*Aos meus filhos e aos trabalhadores
dos movimentos de
Permacultura e Ecovilas*

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora e amiga Profa. Dra. Paula Loureiro Paulo, aos professores do PGTA, na pessoa do seu coordenador, Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho e ao meu companheiro, Prof. Dr. Moacir Lacerda, pelo apoio, paciência e confiança a mim dispensados.

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul – FUNDECT, pela bolsa de mestrado e pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Centro Estadual de Monitoramento do Tempo, Clima e Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul – CEMTEC, na pessoa da pesquisadora Catia Cristina Braga Rodrigues, pelo fornecimento de dados meteorológicos.

Ao MULTILAB – Laboratório de Análises Clínicas e ao Dr. Donevir José Cividini, pela realização das análises parasitológicas.

Ao Laboratório do Departamento de Tecnologia de Alimentos – DTA da UFMS, pela realização das análises foliares.

À Associação de Mães Trabalhando a Inclusão, na pessoa da Sra. Creusa Veiga Macedo, pelo consentimento na instalação do tanque experimental nas dependências da instituição e pelo espírito de colaboração para com os pesquisadores.

Aos colaboradores: Glauber Altrão, Marcelo Rocco, Caroline Alvarenga Pertussatti, Aline da Silva Ribeiro e Cláudia Azevedo, que realizaram boa parte do trabalho.

*O processo de atender às necessidades das
pessoas de maneiras mais sustentáveis requer
uma revolução cultural.*

David Holmgren

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
EPÍGRAFE.....	v
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	1
ESGOTOS DOMÉSTICOS.....	1
SANEAMENTO ECOLÓGICO.....	2
TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	3
SISTEMAS SEMELHANTES AO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	5
PROCESSOS ENVOLVIDOS NO FUNCIONAMENTO DO TEVAP.....	7
DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	8
PROCESSOS AERÓBIOS.....	9
EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	9
ESTADO DA ARTE.....	10
CAPÍTULO 2 - TRATAMENTO DOMICILIAR DE ÁGUAS NEGRAS ATRAVÉS DE TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	14
RESUMO.....	14
PALAVRAS-CHAVE.....	14
ABSTRACT.....	15
KEYWORDS.....	15
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA.....	17
DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO TANQUE.....	19

ESTIMATIVA DA TAXA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	19
ANÁLISES QUALITATIVAS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CAPACIDADE DO TANQUE.....	24
DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	25
AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA.....	26
ANÁLISES QUALITATIVAS.....	29
OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES.....	31
CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ANEXO 1.....	38

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Jardim de águas servidas.....	6
FIGURA 2 – Wetland.....	7
FIGURA 3 - Corte em perspectiva do tanque.....	18
FIGURA 4 - Volumes mensais de entrada e de saída do TEvap instalado em Campo Grande-MS, em ℓ, no período entre agosto de 2008 e novembro de 2008.....	26
FIGURA 5 - Superfície do solo elevada em relação à borda do tanque, evitando a entrada excessiva de chuvas.....	32
FIGURA 6 - Registro fotográfico do TEvap aos 14 meses da implantação.....	33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Principais características de alguns sistemas de TEvap instalados no Distrito Federal	13
TABELA 2 - Taxas médias de evapotranspiração horária por faixas de umidade e temperatura..	25
TABELA 3 - Coeficiente do tanque (kd), calculado a partir da evapotranspiração total estimada para os dias de referência (ETd) e evapotranspiração de referência (ET0).....	25
TABELA 4 - Determinação da área necessária para a construção do TEvap, a partir da equação de dimensionamento.....	28
TABELA 5 - Resultados das análises físico-químicas do efluente do interior e da saída do TEvap, comparados com dados encontrados na bibliografia.....	29

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APHA	American Public Health Association
DBO	Demanda Bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
Eq.	Equação
NMP	Número mais provável
NTU	Unidade nefelométrica de turbidez
pH	Potencial hidrogeniônico
UR	Umidade Relativa do Ar

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da superfície do tanque, m ²
C	Capacidade do tanque, na camada considerada, ℓ.cm ⁻¹
ET ₀	Evapotranspiração de referência, mm.d ⁻¹
ET _c	Evapotranspiração de cultura, mm.d ⁻¹
ET _d	Evapotranspiração do tanque nos dias de referência, mm.d ⁻¹
ET _h	Evapotranspiração horária estimada do tanque, mm.h ⁻¹
ET _{tevap}	Evapotranspiração estimada do tanque, em cada um dos dias do período, mm.d ⁻¹
k _c	Coefficiente da cultura
k _d	Coefficiente do tanque para cada um dos dias de referência
k _i	Coefficiente de infiltração, variando de 0 a 1
k _{tevap}	coeficiente do tanque.
n	Número médio de usuários do sistema
ΔN _h	Varição de nível do tanque, cm
P	Pluviosidade média do local, mm.d ⁻¹
Q ₀	Radiação extraterrestre, mm.d ⁻¹
Q _d	Vazão diária por pessoa, ℓ
T	Temperatura média do dia, °C
T max	Temperatura máxima do dia, °C
T min	Temperatura mínima do dia, °C
V _e	Volume de entrada (esgoto + chuva), ℓ
V _s	Volume de saída ou volume extravasado, ℓ
V _{et}	Volume evapotranspirado, ℓ

Resumo

Os sistemas convencionais de tratamento de esgotos provocam impactos ao meio ambiente e à saúde das populações, pelo lançamento de esgotos parcialmente tratados em corpos de água. A segregação das águas negras (provenientes do vaso sanitário) das águas chamadas cinza (não contaminadas com fezes) permite o tratamento simplificado e descentralizado dos diferentes tipos de efluentes domésticos, possibilitando o reuso de água e nutrientes contidos no esgoto. O tanque de evapotranspiração (TEvap) é uma tecnologia proposta por permacultores para tratamento e reuso domiciliar de águas negras. O objetivo do presente trabalho foi determinar critérios para o dimensionamento e construção de tanques de evapotranspiração, tendo como referência a avaliação do funcionamento de um tanque construído para uma residência em área periurbana. Foram realizadas medições e cálculos para estimativa do balanço hídrico do sistema, análises físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas do substrato, plantas e efluente. A partir dos resultados obtidos, foi possível a elaboração de recomendações para a inclusão do sistema em projetos de residências, com alguns cuidados de ordem sanitária, concluindo-se que o TEvap se apresenta como uma alternativa viável para o tratamento de esgotos urbanos, periurbanos e rurais, diminuindo a pressão sobre as estações de tratamento de esgotos e a carga poluidora de corpos de água. O dimensionamento adotado para uma família média (de 4 a 5 pessoas) pode ser de 12 a 16 m², desde que sejam implantados dispositivos para destinação adequada dos eventuais efluentes finais.

Palavras-chave: Saneamento Ecológico; Permacultura; Paisagismo; segregação de esgoto.

Abstract

The conventional systems for the treatment of waste water cause impacts to the environment and the health of populations, by the release of partially treated waste water into bodies of water. The segregation of black water (from the toilet) of called gray water (not contaminated with faeces) allows simplified and decentralized treatment of different types of sewage, allowing the reuse of water and nutrients contained in waste water . The tank of evapotranspiration (TEvap) is a technology proposed by permacultors to treat and reuse household water black. The objective of this study was to determine criteria for the design and construction of tanks of evapotranspiration, based on the evaluation of the operation of a tank built in periurban area. Measurements and calculations were made for estimating the water balance of the system, physical-chemical, bacteriological and parasitological analysis of the substrate, plants and waste water. From the results it was possible to draw up recommendations for the inclusion of TEvap projects in rural, urban and periurban areas, allowing the reduction of charge in stations of treatment and pollution in the bodies of water. The sizing adopted for an average family (4 or 5 people) may be 12 to 16 m², provided the use of devices for appropriate allocation of any final effluent.

Keywords: Ecological Sanitation, Permaculture, landscape gardening, waste water segregation.

Capítulo 1

Introdução geral

Esgotos domésticos

O esgoto doméstico é composto essencialmente por água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem, oriundos das águas servidas de residências, instituições, estabelecimentos comerciais ou quaisquer edificações que disponham de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas (Ministério da Saúde, 1999). Sua composição muda de acordo com o volume de água consumido e os hábitos dos usuários. Os efluentes que compõem o esgoto doméstico podem ser classificados basicamente em dois tipos: águas negras e águas cinza. As águas cinza, provenientes das pias, chuveiros, banheiras e lavanderia, somam o maior volume do esgoto doméstico (Ridderstolpe, 2004). O tratamento da água cinza é relativamente simples, dependendo do objetivo do reuso, podendo ser feito nas próprias residências, inclusive com aplicação direta no solo, para irrigação de árvores e jardins, desde que sejam seguidos alguns critérios de ordem sanitária (Ridderstolpe, 2004). Já o efluente do vaso sanitário, contendo fezes e urina, é chamado de água negra e necessita de sistemas de tratamento mais complexos para reduzir sua carga de patógenos (Esrey et al., 1998). De acordo com (Otterpohl, 2001), águas negras são as águas residuárias provenientes dos vasos sanitários, contendo basicamente fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico. Alguns autores consideram como água negra também a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes (Rebouças et al., 2007). Apesar de conter a maior parte dos patógenos e dos nutrientes encontrados no esgoto doméstico, o volume de águas negras é bem menor do que o volume de água cinza produzido. Analisando-se a composição do esgoto doméstico, foi observada a proporção de 25.000 a 100.000 ℓ por ano por pessoa de água cinza, para 500 ℓ de urina e apenas 50 ℓ anuais de fezes produzidos por pessoa (Otterpohl, 2002). A quantidade total de fezes excretada por um humano em um ano é de 25 a 50 kg, contendo 550 g de nitrogênio, 180 g de fósforo e 370 g de potássio, mas a maior parte dos nutrientes provenientes da excreta humana se

encontra na urina. Um adulto pode produzir cerca de 400 l de urina por ano, contendo 4 kg de nitrogênio, 400 g de fósforo e 900 g de potássio. Estes nutrientes se encontram na forma ideal para serem absorvidos pelas plantas: nitrogênio em forma de uréia, fósforo como superfosfato e potássio na forma iônica (Esrey et al., 1998). A maior parte do carbono está nas fezes e outros nutrientes, como cálcio e magnésio, estão presentes quase que na mesma proporção nas fezes e na urina (Sawyer, 2006).

Saneamento Ecológico

A partir dos dados apresentados, pode-se inferir sobre o potencial de utilização das águas negras para dar suporte ao crescimento de plantas, com diversos fins. A reciclagem de nutrientes, através do reaproveitamento das excretas, previne a contaminação direta causada pela descarga de águas negras nos mananciais e demais ecossistemas. Um benefício secundário é que se devolvem os nutrientes ao solo e às plantas, reduzindo-se com isso a necessidade de fertilizantes industriais (Esrey et al., 1998). A introdução do conceito de separação na fonte na gestão dos esgotos municipais permite o adequado tratamento de diferentes tipos de efluentes, de acordo com suas características. Esta é a chave de soluções técnicas para o reuso eficiente da água, energia e nutrientes. Como já é feito no tratamento de esgotos industriais, a baixa diluição do efluente e a separação na fonte são necessárias para a obtenção de sistemas econômicos (Otterpohl, 2002). Visando à simplificação do tratamento do esgoto doméstico, a segregação na fonte é um passo que possibilita a reutilização da água cinza e o tratamento das águas negras em sistemas mais compactos e descentralizados. O conceito de ciclagem de água e nutrientes, envolvendo sistemas com plantas no tratamento de esgotos, é uma idéia comum ao Saneamento Ecológico e à Permacultura.

O Saneamento Ecológico tem como enfoque principal o aumento da disponibilidade hídrica pela economia de água, a proteção dos recursos hídricos pelo não lançamento de esgoto - tratado ou não - nos cursos de água, possibilitando a reutilização racional de todos os nutrientes presentes nas excretas (Winblad & Simpson-Hérbert, 2004). Também representa uma das soluções para a queda nas emissões de carbono, além de estar diretamente ligado a três dos oito objetivos de desenvolvimento incluídos nas Metas do Milênio das Nações Unidas, a serem

cumpridos até 2015, que são: erradicar a extrema pobreza e a fome, reduzir a mortalidade infantil e garantir a sustentabilidade ambiental (SIWI, 2005).

A Permacultura é um sistema de planejamento baseado em éticas e princípios que podem ser utilizados para criar e gerir sistemas humanos realmente sustentáveis. Não é uma disciplina acadêmica, porque se vale de diversas disciplinas, como arquitetura, economia, ecologia, entre outras, numa abordagem holística, integrando conhecimentos de culturas ancestrais com as conquistas da ciência moderna. É baseada no planejamento e implantação de sistemas humanos simples, integrados e sustentáveis, aliando a satisfação das necessidades humanas de habitação, alimento e energia, à recuperação do equilíbrio ambiental e da diversidade biológica. A Permacultura surgiu na década de 1970, na Austrália, concebida inicialmente pelos pesquisadores Bill Mollison e David Holmgren. Desde então, o conceito tem sido adotado e desenvolvido por uma rede de ambientalistas, agricultores orgânicos e Ecovilas, por todo o mundo. Muitas das soluções encontradas pelos permacultores representam contribuições valiosas para áreas como a de habitações, saneamento, manejo da água, energia e recuperação de áreas degradadas.

Os sistemas convencionais de tratamento de esgotos, abordados vastamente na literatura, são as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), onde o esgoto de diversos bairros é recolhido em redes de esgoto, centralizado, tratado, com disposição do efluente final comumente em corpos de água (Jordão & Pessoa, 1995); (Von Sperling, 2005). Outra forma convencional de tratamento é a utilização de fossa séptica e sumidouro, com disposição profunda do efluente no solo (Ministério da Saúde, 1999). Essas formas de tratamento e disposição de esgotos apresentam sérios riscos ao ambiente e à saúde da população (Esrey, 1998). Os conceitos e técnicas apresentados pelo Saneamento Ecológico e pela Permacultura compõem uma nova abordagem dessa questão.

Tanque de evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é uma técnica desenvolvida e difundida por permacultores de diversas nacionalidades, com potencial para aplicação no tratamento domiciliar de águas negras em zonas urbanas e periurbanas (Pamplona & Venturi, 2004). Consiste em um tanque impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com

espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água. O sistema recebe o efluente dos vasos sanitários, que passa por processos naturais de degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção e evapotranspiração pelas plantas. Cada módulo é dimensionado para uma unidade familiar.

A utilização de sistemas plantados para tratamento de esgotos já é comum em diversas partes do mundo (EPA, 2000); (Larsson, 2003). No entanto, para o tratamento de águas negras, contendo alta concentração de patógenos e uma grande carga orgânica, os sistemas existentes necessitam de um pré-tratamento para a redução de matéria orgânica e sólidos e de pós-tratamento para eliminação do excesso de nutrientes e patógenos, antes da disposição final no solo ou em corpos de água. O TEvap simplifica essas etapas, pois funciona como uma câmara de digestão anaeróbia, em sua parte inferior; e como um banhado construído de fluxo subsuperficial, nas suas camadas intermediária e superior. Também diminui a necessidade de pós-tratamento do efluente, pois é dimensionado para que o efluente seja totalmente absorvido pelas plantas, em condições normais de funcionamento.

Diversos tanques de evapotranspiração foram implantados nos Estados Unidos e no Brasil (Mandai, 2006; Pamplona & Venturi, 2004), ainda sem acompanhamento científico do qual se tenha conhecimento. A idéia original é atribuída ao permacultor americano Tom Watson, adaptada em projetos implantados por permacultores brasileiros, principalmente no Estado de Santa Catarina e na região do Distrito Federal (Mandai, 2006); (Pamplona & Venturi, 2004). O sistema originalmente proposto por Tom Watson, denominado de *Watson wick*, consiste em uma trincheira escavada no solo, com largura e comprimento variáveis e aproximadamente 60 cm de profundidade, para a qual é encaminhado todo o esgoto doméstico – águas cinza e negras. O esgoto entra através de um tubo, posicionado dentro de um infiltrador, feito com um tambor cortado longitudinalmente ao meio e colocado com a concavidade voltada para baixo, no fundo do tanque, acima de uma camada de 5 cm de pedras porosas. O restante do volume do tanque é preenchido com uma camada de 45 cm de espessura de pedras, coberta com uma camada de 15 cm de solo, onde são colocadas as plantas. As paredes do tanque não são impermeabilizadas, permitindo a infiltração do efluente no solo. Para melhorar a filtragem do efluente, conforme relatado por Pamplona & Venturi (2004), o permacultor Tom Watson recomenda o recobrimento das paredes e do fundo com uma mistura de esterco, argila e palha, permitindo o desenvolvimento de um biofilme composto por bactérias anaeróbias, que funcionaria como filtro

biológico. Na porção oposta à entrada do esgoto, próximo à superfície do solo, é colocado um tubo para drenagem do excesso de água. É atribuída a Tom Watson a indicação de dimensionamento para o sistema de 2 m² de área por pessoa (Pamplona & Venturi, 2004). Sistema semelhante é adotado pelo permacultor estadunidense Scott Pittman, citado por Pamplona & Venturi (2004), com a recomendação de que o sistema seja inserido em ambiente do tipo jardim de inverno ou casa de vegetação, evitando a entrada de chuvas. Pittman, através de comunicação pessoal, indica a utilização de plantas que tenham alta demanda por água no interior do tanque e plantas menos exigentes em água no solo ao redor¹.

Uma variante desse tipo de sistema é apresentada por Lesikar & Enciso², em que dois leitos de evapotranspiração paralelos, com 45 a 90 cm de profundidade, são posicionados após um tanque séptico de dois compartimentos. O efluente tratado no tanque séptico é direcionado alternadamente para os dois leitos, evitando a saturação dos mesmos. Cada leito consiste em uma trincheira impermeabilizada, cheia com pedras, para onde é encaminhado o efluente, através de um tubo perfurado. Acima da camada de pedras é colocada uma manta geotêxtil, uma camada de solo argiloso e uma camada de solo arenoargiloso, plantado com grama. Uma mecha de solo argiloso se estende até o fundo do leito, com objetivo de promover a ascensão capilar do efluente até a superfície, onde ocorre a evapotranspiração.

Sistemas semelhantes ao tanque de evapotranspiração

Os chamados *jardins de águas servidas* são sistemas projetados para diminuir o volume de efluente. Normalmente são trincheiras cheias com pedras, com canos de distribuição perfurados, plantados especialmente com plantas que tenham grande demanda por água. O tratamento é principalmente insaturado e aeróbio. O efluente primeiro entra em um tanque, de onde é bombeado para dentro do leito de pedras, onde crescem plantas. O efluente que não sair por evapotranspiração é drenado de volta para o tanque de entrada, sendo reintroduzido no sistema (Steinfeld & Del Porto, 2004). Esse sistema é apresentado na figura 1.

¹ Scott Pittman (2007) Permacultor. Comunicação pessoal.

² Sem data

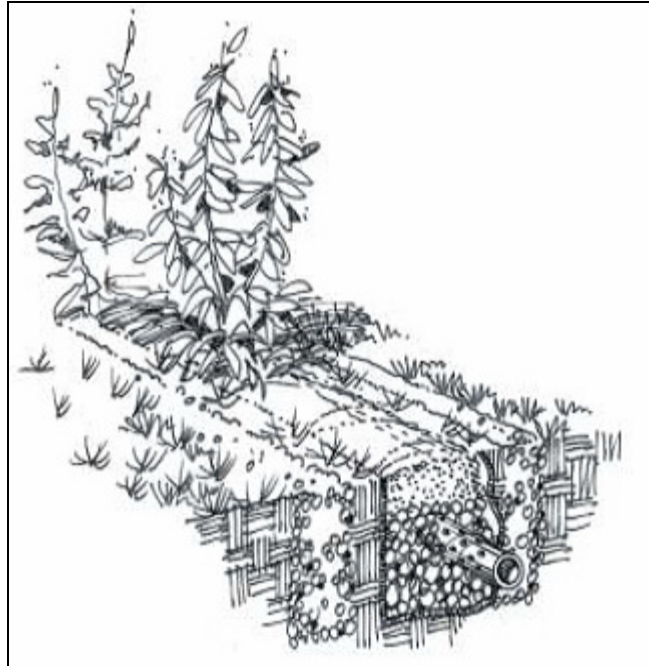


Figura 1
Jardim de águas servidas (Steinfeld & Del Porto, 2004)

Os *wetlands*, por sua vez, são inspirados em ecossistemas naturais como brejos e pântanos e são largamente utilizados para tratamento de água cinza ou como tratamento secundário de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos (EPA, 1993a). Podem ser classificados em Sistemas de Fluxo Horizontal e Sistemas de Fluxo Vertical. Nos Sistemas de Fluxo Horizontal o esgoto entra por um dos lados e flui horizontalmente pelo leito até a saída. Podem ser superficiais ou subsuperficiais. Os Sistemas de Fluxo Vertical são alimentados intermitentemente através da superfície e o fluxo percola verticalmente através do leito, saindo através de uma rede de tubos de drenagem (Wetlands International, 2003). O TEvap pode ser classificado como um *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial, por não apresentar lâmina de água acima da superfície do leito, diferenciando-se deste pelo fato de não apresentar efluente final, em condições normais de funcionamento. Um *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial está representado na figura 2.

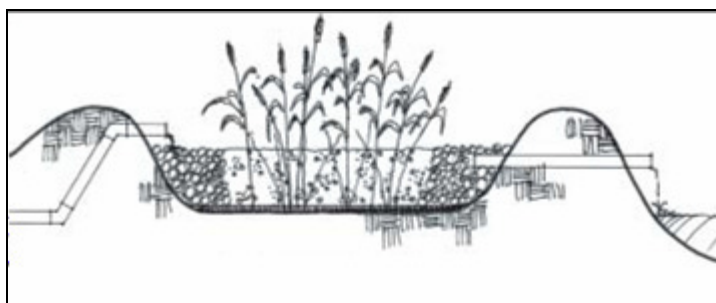


Figura 2
Wetland (Steinfeld & Del Porto, 2004)

Estudos da EPA (1993b) verificaram que os Sistemas Horizontais de Fluxo Subsuperficial podem ser um método de tratamento confiável e barato para diversos tipos de esgotos. Eles podem ter um baixo custo, baixo consumo de energia e seu funcionamento requer o mínimo de atenção operacional. Outras vantagens significantes são ausência de odores, ausência de mosquitos e outros insetos vetores de doenças, além do mínimo risco de exposição das pessoas ao contato com a água no sistema.

Processos envolvidos no funcionamento do TEvap

O funcionamento do TEvap pode ser assim descrito (Mandai, 2006; Pamplona & Venturi, 2004): o efluente entra pela câmara de recepção, localizada na parte inferior do tanque, permeando, em seguida, as camadas de material cerâmico e pedras. Na câmara de recepção e na camada de material cerâmico, ocorre a digestão anaeróbia do efluente. A camada de material cerâmico poroso é naturalmente colonizada por bactérias que complementam a digestão. Com o aumento do volume de esgoto no tanque, o conteúdo preenche também as camadas superiores, de brita e areia, até atingir a camada de solo acima, através da qual se move por ascensão capilar até a superfície, de onde evapora. Durante esse trajeto, o efluente é mineralizado e filtrado, através de processos aeróbios de decomposição microbiana. As raízes das plantas localizadas nas camadas superiores se desenvolvem em busca de água e dos nutrientes disponibilizados pela decomposição da matéria orgânica. Através da evapotranspiração, a água é eliminada do sistema, enquanto que os nutrientes presentes são removidos através da sua incorporação à biomassa das plantas. A manutenção do sistema consiste na colheita de frutos, retirada do excesso de mudas,

podas e retirada de partes secas de plantas. Os principais processos físicos, químicos e biológicos envolvidos no funcionamento do TEvap são precipitação e sedimentação de sólidos, degradação microbiana anaeróbia, decomposição aeróbia, movimentação da água por capilaridade e absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia, que ocorre na porção inferior do tanque, é um processo através do qual diversos grupos de microorganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em compostos mais simples, como metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. De acordo com Chernicharo (2007), o processo ocorre em dois estágios. No primeiro estágio, os compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios são fermentados e biologicamente convertidos em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis, por um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias, denominadas acidogênicas ou fermentativas. No segundo estágio, ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, como o metano e o gás carbônico. Esta conversão é efetuada por um grupo especial de bactérias, denominadas metanogênicas, as quais são estritamente anaeróbias. As bactérias metanogênicas dependem do substrato fornecido pelas acidogênicas.

Os sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos apresentam baixa produção de lodo; apresentam baixo requerimento nutricional; permitem aplicação de elevadas cargas orgânicas; degradam certos compostos tóxicos (tais como compostos halogenados e azóicos recalcitrantes à degradação aeróbia); possuem habilidade em preservar a atividade do lodo por longos períodos sob ausência de alimentação e requerem baixo ou nenhum gasto de energia (Chernicharo, 2007).

Nos processos anaeróbios, a formação de metano é desejável, uma vez que a matéria orgânica, geralmente medida como demanda química de oxigênio (DQO), é efetivamente removida da fase líquida, pois o metano apresenta baixa solubilidade na água. (Campos, 1999). No entanto, o metano emitido para a atmosfera é um dos principais agentes do chamado efeito estufa (Segers, 1998); (Wuebbles & Hayhoe, 2002). Existe a possibilidade de parte do metano produzido na zona anaeróbia no TEvap ser consumido ao passar pela camada de solo do tanque, devido à presença de bactérias metanotróficas, as quais promovem a oxidação do metano na

presença de oxigênio (Cicerone & Oremland, 1988). A câmara de recepção, logo na entrada do tanque, exerce funções comparadas às de um tanque séptico, que são decantação, flotação, desagregação e digestão dos sólidos sedimentados (lodo) e da crosta constituída pelo material flotante (escuma). Devido ao tempo de detenção hidráulica, os tanques sépticos propiciam também o tratamento anaeróbio da fase líquida e acumulam, por longos períodos, o lodo digerido, de volume bastante reduzido (Andrade Neto, 1997).

Processos aeróbios

Conforme o efluente ascende no leito do tanque, em direção à superfície - onde é maior a presença de oxigênio - passa dos processos anaeróbios e facultativos para processos aeróbios de degradação da matéria orgânica. A massa microbiana envolvida nos processos aeróbios é constituída basicamente por bactérias e protozoários, sendo que as bactérias têm a maior presença e importância nos sistemas de tratamento de esgotos. A conversão aeróbia da matéria carbonácea consome oxigênio do meio, gerando gás carbônico, água e energia. Em ambiente aeróbio, os compostos orgânicos nitrogenados passam pelo processo de nitrificação, no qual a amônia é convertida em nitrito e, em seguida, em nitrato (Von Sperling, 1996). O nitrogênio na forma de nitrato pode ser absorvido pelas raízes das plantas presentes no tanque.

Evapotranspiração

A parte superior do leito do TEvap deve apresentar condições de insaturação em água. Nessa porção do tanque, a água continua ascendendo até a superfície, por capilaridade, que é a interação dos fenômenos de coesão entre as moléculas de água e de adesão das mesmas em relação às partículas do solo, preenchendo seus poros menores (Ferri, 1985). Também ocorre o fenômeno de adsorção da água pelas partículas do solo, que são carregadas eletricamente. Com a absorção da água do solo pelas raízes das plantas, estabelece-se uma diferença de potencial entre as regiões próximas às raízes e as regiões mais distantes. Como a água procura espontaneamente estados mais baixos de energia, ela se move em direção às raízes (Ferri, 1985). Em condições climáticas propícias – radiação solar, vento e umidade do ar abaixo da saturação – o potencial da água na parte aérea da planta é menor do que nas raízes, o que provoca a translocação da água dentro da planta, em direção às folhas, passando dessas para a atmosfera, fenômeno chamado de evapotranspiração (Ferri, 1985).

De acordo com Klocke (2004), em uma cultura de milho irrigado por aspersão, em solo arenoso, sem cobertura morta, cerca de 30 % da evapotranspiração consiste na evaporação pela superfície do solo. A colocação de cobertura morta pode permitir um melhor aproveitamento da água pelas plantas, diminuindo a evaporação pelo solo. Quando a superfície do solo seca, a água contida nas camadas inferiores move-se em direção à superfície do solo. Há uma diminuição da taxa de evaporação, à medida em que a superfície do solo seca, levando cada vez mais tempo para a água se mover através do solo para a superfície (Klocke, 2004).

A evapotranspiração é mais comumente estudada e estimada com o objetivo de se dimensionar sistemas de irrigação de culturas agrícolas. Existem inúmeros métodos conhecidos para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) de um determinado local (Pereira et al, 1997). A escolha do método mais apropriado depende dos objetivos pretendidos e das vantagens e limitações de cada um deles. De acordo com Smith (1991), citado por Pereira et al (1997), a ET_0 é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com uma altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 69 s.m^{-1} e albedo de 0,23, sem falta de água. A evapotranspiração de cultura (ET_c) é a evapotranspiração de uma cultura, nos seus diferentes estágios de desenvolvimento (Pereira et al, 1997). A razão entre a evapotranspiração de cultura e a evapotranspiração de referência é: $k_c = \frac{ET_c}{ET_0}$, definido como coeficiente da cultura (k_c).

Quanto maior o coeficiente de uma cultura, maior sua evapotranspiração. Este é um dado importante para a escolha das espécies a serem utilizadas no TEvap.

O método de Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1985), citado por Pereira *et al* (1997), foi desenvolvido para estimar a evapotranspiração de referência em clima semi-árido, utilizando apenas dados de radiação extraterrestre, temperatura máxima diária, temperatura mínima diária e temperatura média diária. Estes dados são disponibilizados pelas estações meteorológicas locais, razão pela qual o método foi escolhido para utilização neste trabalho.

Estado da arte

Conforme relatam Pamplona & Venturi (2004), o conceito de tanque de evapotranspiração chegou ao Brasil através de uma série de cursos ministrados por Scott Pittman, em janeiro de

2000. A partir de então, como relata Jorge Timmermann³, a técnica passou a ser divulgada e aplicada por diversos permacultores, passando por algumas adaptações ao longo do tempo, chegando-se ao modelo descrito a seguir.

De acordo com Venturi (2004), a escolha do local para instalação do TEvap deve levar em conta o tipo de solo, profundidade do lençol freático e a incidência solar direta. O dimensionamento comumente utilizado para o tratamento apenas das águas negras é de 1 m a 1,2 m de profundidade, com 10 m² de área – 2 m x 5 m, para uma família de 5 pessoas - 2 m² por pessoa, no mínimo, dependendo do clima da região (Pamplona & Venturi, 2004). Legan (2007) propõe a construção de dois tanques em paralelo, com 1 m de largura e 4 m de comprimento cada um, para uma família de 5 pessoas, podendo-se aumentar o comprimento dos tanques, de acordo com a quantidade de usuários. Esses tanques operariam de forma alternada, de modo a evitar o extravasamento do efluente. A impermeabilização do TEvap é considerada opcional, sendo feita, na maioria das vezes, em ferro-cimento. Essa técnica construtiva de baixo custo consiste em uma armação de ferro e tela de galinheiro recobrimdo o fundo e as paredes da trincheira, sobre a qual é aplicada uma fina camada de argamassa de cimento (Mandai, 2006); (Pamplona & Venturi, 2004). Essa impermeabilização também pode ser feita com manta asfáltica ou lona plástica, em substituição à estrutura em ferro-cimento (Venturi, 2004). Longitudinalmente, ao fundo do tanque, é instalada uma câmara de recepção, também chamada de câmara de fermentação (Mandai, 2006), câmara séptica ou fermentador (Pamplona & Venturi, 2004), por onde o esgoto é admitido no sistema. Essa câmara é composta de meias manilhas de concreto perfuradas ou pneus usados, justapostos em pé, ao fundo do tanque, formando uma espécie de túnel horizontal (Mandai, 2006; Pamplona & Venturi, 2004). São mantidos pequenos espaços entre os pneus, permitindo a passagem do efluente através deles. A principal função dessa câmara é a recepção do esgoto e a deposição de eventuais materiais sólidos, evitando entupimentos no sistema, já que a digestão anaeróbia da matéria orgânica ocorre em toda a extensão das camadas inferiores e não só na câmara. Ao redor e acima da câmara de recepção, o TEvap é preenchido por camadas de materiais com granulometria decrescente (Mandai, 2006); (Pamplona & Venturi, 2004). Ao fundo, são colocados grandes fragmentos de tijolos, telhas e pedras, até uma altura de 40 a 50 cm. De acordo com Jorge Timmermann (comunicação pessoal), esse material pode ser substituído por pedaços de bambu

³ Jorge Timmermann, Permacultor. Florianópolis. 2009. Comunicação pessoal.

cortados transversalmente. A seguir, são colocadas camadas que variam de 10 a 20 cm de espessura, na seguinte sequência: camada de pedras e/ou fragmentos cerâmicos menores; camada de britas, cascalhos e seixos; e uma camada de areia ou areia e cascalho. Por fim, é colocada uma camada de cerca de 30 cm de solo, no qual serão introduzidas as plantas. Também em comunicação pessoal, Jorge Timmermann recomenda que o solo da camada superior do TEvap seja composto de um terço do seu volume de areia, um terço de argila e um terço de composto orgânico, de forma a se alcançar uma boa capacidade de retenção de água, favorecendo a ascensão capilar e evitando a entrada excessiva de água de chuva. Recomenda-se também que a camada superficial tenha um formato abaolado, mais alta no centro, protegida com *mulch*, de forma que a água da chuva possa escoar superficialmente para fora do tanque (Lesikar & Enciso). Essa recomendação é confirmada por Jorge Timmermann, em comunicação pessoal. Um tubo de drenagem é colocado 10 cm abaixo da superfície, para escoar o excesso de água, principalmente a de chuva (Mandai, 2006). A saída constante de água pelo tubo ladrão significa subdimensionamento do sistema (Venturi, 2004). Algumas espécies recomendadas para introdução no TEvap são: bananas (*Musa sp.*); inhames e taiobas (*Colacasia sp.*); mamoeiro (*Carica papaya*), ornamentais como copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*); maria-sem-vergonha (*Impatiens walleriana*); lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*); caeté banana (*Heliconia spp.*) e junco (*Zizanopsis bonariensis*) (Venturi, 2004; Mandai, 2006). Hortaliças como couve e tomateiros também podem ser introduzidas, evitando-se hortaliças rasteiras ou plantas das quais são consumidas as raízes cruas. Segundo observações de diversos usuários, esses sistemas raramente extravasam, mesmo em épocas de chuvas e alta umidade relativa do ar, como afirma Timmermann (comunicação pessoal).

Foram observados cinco dos sistemas de TEvap construídos na região do Distrito Federal. Suas principais características estão apresentadas na tabela 1.

TABELA 1					
Principais características de alguns sistemas de TEvap instalados no Distrito Federal					
Identificação	1. Canário Verde	2. Junior e Marina	3. Sérgio Pamplona	4. Isabel e Alan	5. Sítio Geranium
Area x prof. (m)	12,5 x 1,0	9,0 x 1,0	16,0 x 1,0	4,0 x 1,0	17,5 x 1,2
Nº de usuários	3	4	Eventual	2	Uso sazonal
Plantas	Bananeiras e taiobas	Bananeiras	Bananeiras e taiobas	Bananeiras	Diversas
Impermeabilização e material da câmara	Ferro-cimento e câmara de pneus	Ferro-cimento e manilhas perfuradas	Ferro-cimento e câmara de pneus	Sem impermeab. e câmara de pneus	Lona plástica e câmara de pneus

Todos eles foram preenchidos com entulho de obras, brita, areia e solo, em camadas, variando a profundidade e o material de impermeabilização e da câmara de fermentação. De acordo com depoimento dos usuários, apenas os sistemas 2 e 4 apresentaram extravasamento por ocasião de chuvas com formação de enxurradas. Isso ocorreu pela ausência de barreiras ao redor do TEvap, detalhe facilmente corrigível.

O sistema 5 atende a uma estrutura onde são ministrados cursos sazonais, com número variável de alunos. Como não foram observados extravasamentos, pode-se concluir que o sistema absorve uma grande quantidade de esgoto de forma concentrada no tempo, desde que esse fluxo não se prolongue por muitos dias.

Capítulo 2

Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração⁴

Resumo

Os sistemas convencionais de tratamento de esgotos provocam impactos ao meio ambiente e à saúde das populações, pelo lançamento de esgotos parcialmente tratados em corpos de água. A segregação das águas negras (provenientes do vaso sanitário) das águas chamadas cinza (não contaminadas com fezes) permite o tratamento simplificado e descentralizado dos diferentes tipos de efluentes domésticos, possibilitando o reuso de água e nutrientes contidos no esgoto. O tanque de evapotranspiração (TEvap) é uma tecnologia proposta por permacultores para tratamento e reuso domiciliar de águas negras. O objetivo do presente trabalho foi determinar critérios para o dimensionamento e construção de tanques de evapotranspiração, tendo como referência a avaliação do funcionamento de um tanque construído para uma residência em área periurbana. Foram realizadas medições e cálculos para estimativa do balanço hídrico do sistema, análises físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas do substrato, plantas e efluente. A partir dos resultados obtidos, foi possível a elaboração de recomendações para a inclusão do sistema em projetos de residências, com alguns cuidados de ordem sanitária, concluindo-se que o TEvap se apresenta como uma alternativa viável para o tratamento de esgotos urbanos, periurbanos e rurais, diminuindo a pressão sobre as estações de tratamento de esgotos e a carga poluidora de corpos de água. O dimensionamento adotado para uma família média (de 4 a 5 pessoas) pode ser de 12 a 16 m², desde que sejam implantados dispositivos para destinação adequada dos eventuais efluentes finais.

Palavras-chave: Saneamento Ecológico; Permacultura; Paisagismo; segregação de esgoto.

⁴ Este artigo será submetido ao periódico WATER SA e foi redigido de acordo com as instruções contidas no anexo 1

Abstract

The conventional systems for the treatment of waste water cause impacts to the environment and the health of populations, by the release of partially treated waste water into bodies of water. The segregation of black water (from the toilet) of called gray water (not contaminated with faeces) allows simplified and decentralized treatment of different types of sewage, allowing the reuse of water and nutrients contained in waste water . The tank of evapotranspiration (TEvap) is a technology proposed by permacultors to treat and reuse household water black. The objective of this study was to determine criteria for the design and construction of tanks of evapotranspiration, based on the evaluation of the operation of a tank built in periurban area. Measurements and calculations were made for estimating the water balance of the system, physical-chemical, bacteriological and parasitological analysis of the substrate, plants and waste water. From the results it was possible to draw up recommendations for the inclusion of TEvap projects in rural, urban and periurban areas, allowing the reduction of charge in stations of treatment and pollution in the bodies of water. The sizing adopted for an average family (4 or 5 people) may be 12 to 16 m², provided the use of devices for appropriate allocation of any final effluent.

Keywords: Ecological Sanitation, Permaculture, landscape gardening, waste water segregation.

Introdução

O lançamento de esgotos tratados ou não em córregos e rios é uma das principais causas da degradação de mananciais de água potável, sendo desejável a pesquisa de formas eficientes de tratamento do esgoto domiciliar *in loco* e reuso. O esgoto, de acordo com sua origem e composição, pode ser classificado em águas cinza – águas servidas de pias, chuveiro, lavadora de roupas – e águas negras – esgoto proveniente do vaso sanitário, composto principalmente por água, urina e fezes. As águas negras contêm a maior parte da carga orgânica e de patógenos, apesar de ser produzida em menor volume, apresentando maior risco de contaminação. Visando à simplificação do tratamento do esgoto doméstico, a segregação na fonte é um passo que

possibilita a reutilização da água cinza e o tratamento das águas negras em sistemas mais compactos e descentralizados (Otterpohl, 2001).

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é um sistema de tratamento de águas negras que se utiliza de plantas, apresentando-se como uma alternativa aos sistemas de tratamento convencionais. Consiste em um tanque retangular impermeabilizado, dimensionado para uma unidade familiar, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água. O efluente do vaso sanitário (águas negras) entra no sistema pela câmara de recepção, localizada na parte inferior do tanque, permeando, em seguida, as camadas de material cerâmico e pedras. Nessa porção inferior do tanque, ocorre a digestão anaeróbia do efluente. Com o aumento do volume de esgoto no tanque, o conteúdo preenche também as camadas superiores, de brita e areia, até atingir a camada de solo acima, através da qual se move por ascensão capilar até a superfície. Através da evapotranspiração, a água é eliminada do sistema, enquanto que os nutrientes presentes são removidos através da sua incorporação à biomassa das plantas.

A utilização de sistemas plantados para tratamento de esgotos, denominados de *wetlands*, já é comum em diversas partes do mundo (EPA, 1993a); (Wetlands International, 2003). No entanto, para o tratamento de águas negras, contendo alta concentração de patógenos e uma grande carga orgânica, os sistemas existentes necessitam de um pré-tratamento para a redução de matéria orgânica e sólidos e de pós-tratamento para eliminação do excesso de nutrientes e patógenos, antes da disposição final, o que demanda grandes áreas para sua implantação. O sistema estudado neste trabalho procura simplificar essas etapas, pois funciona como uma câmara de digestão anaeróbia, em sua parte inferior, e como um banhado construído de fluxo subsuperficial, nas suas camadas intermediária e superior. Também procura eliminar a necessidade de pós-tratamento, pois, em condições normais de funcionamento, espera-se que o efluente seja totalmente absorvido e evapotranspirado pelas plantas. No caso de sobrecarga, o efluente final, já parcialmente mineralizado, pode ser encaminhado para infiltração no solo ou para o sistema de coleta de esgoto, no caso de sistemas urbanos.

Durante a revisão da literatura, não foram encontrados trabalhos de pesquisa científica publicados sobre este tipo específico de sistema. A investigação mais aprofundada do funcionamento do TEvap se justifica pelos relatos de profissionais que tiveram experiências práticas de construção e acompanhamento de tanques de evapotranspiração, a respeito da sua

eficácia, afirmando que os mesmos não apresentaram problemas de entupimento, alagamento ou exalação de odor, quando construídos corretamente. Em visitas realizadas a cinco tanques de evapotranspiração, projetados pelo Arquiteto e Permacultor Sérgio Pamplona e construídos na região do Distrito Federal foram observados diferentes dimensionamentos, em sistemas utilizados por famílias com características diversas. Destes, apenas dois apresentaram ocorrência de extravasamento do efluente, por estarem posicionados no terreno de uma forma que permitiu a entrada de enxurradas. Também foi observado um bom nível de satisfação dos usuários contatados, em relação à eficácia da tecnologia e facilidade de manutenção.

O objetivo do presente trabalho foi determinar critérios para o dimensionamento e construção de tanques de evapotranspiração, tendo como referência a avaliação do funcionamento de um tanque construído em área periurbana, na cidade de Campo Grande/MS. Foram realizadas medições para estimativa do balanço hídrico do sistema, análises físico-químicas, bacteriológicas e parasitológicas do substrato, plantas e efluente. A partir dos resultados obtidos, foi possível a elaboração de recomendações para a inclusão do TEvap em projetos rurais, urbanos e periurbanos, bem como para a realização de futuras pesquisas na área.

Material e métodos

Implantação do sistema

O sistema estudado foi implantado em escala real em uma residência com dois moradores. Foi destinado ao TEvap apenas o esgoto do vaso sanitário – água negra, encaminhando-se as águas cinza – pias e chuveiro – para uma fossa. O TEvap foi montado em ferro-cimento, sobre uma trincheira feita no solo, com fundo nivelado, nas dimensões de 1 metro de profundidade, 2 metros de largura e 2 metros de comprimento. A borda do tanque se estendeu a cerca de 10 cm acima da superfície do solo, de modo a evitar o escoamento superficial de água da chuva para dentro do sistema. Uma câmara formada pelo alinhamento de pneus usados foi posicionada longitudinalmente ao fundo do tanque, sem nenhum tipo de rejunte, de forma que o efluente pudesse sair da câmara, passando por entre os pneus. A tubulação de entrada de esgoto foi posicionada para dentro dessa câmara. Ao redor da mesma, foi colocada uma camada de aproximadamente 45 cm de entulho cerâmico, cobrindo todo o fundo do tanque. Acima, foram colocadas camadas com as seguintes espessuras: brita, 10 cm, areia, 10 cm e solo, 35 cm. Na

saída do tanque foi colocado um tubo de drenagem de 50 mm de diâmetro, 18 cm abaixo da superfície do solo, para o caso de eventuais extravasamentos do tanque. Foi instalado um piezômetro (tubo de visita), feito com tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, com acesso ao túnel de pneus e também caixas de inspeção de alvenaria, na entrada e na saída do tanque, para manutenção e para a coleta de amostras do efluente final, quando presente. A caixa de saída foi conectada a uma vala de infiltração, para disposição final do efluente extravasado. A figura 1 mostra o desenho esquemático da composição das camadas e estrutura do tanque. Na superfície, foram plantadas três mudas de bananeiras (*Musa cavendishii*), distribuídas longitudinalmente ao centro do tanque; taiobas (*Xanthosoma sagittifolium*), em metade da área do tanque e beri (diversas espécies do gênero *Canna*), na outra metade. Depois do plantio, o tanque foi cheio completamente com água, para acomodação dos substratos e verificação da capacidade líquida do tanque. O volume de água introduzido inicialmente no tanque foi medido através de um hidrômetro.

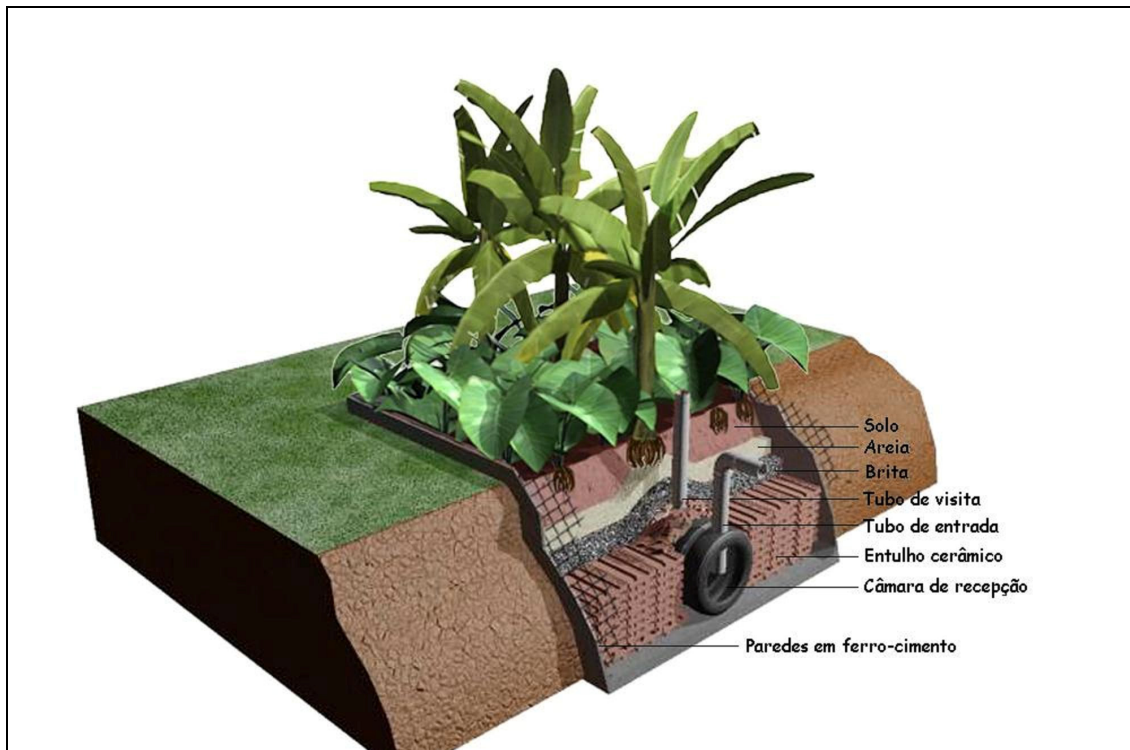


Figura 3
Corte em perspectiva do tanque

Foi elaborada uma escala, correlacionando-se o volume de água contido no tanque com cada nível da água medido no interior do piezômetro, com o auxílio de uma trena. A calibração dessa escala foi feita através da adição progressiva de volumes de água conhecidos no tanque e verificação da variação de nível, antes do início da operação do sistema. Dessa forma, foi possível se determinar a capacidade de armazenamento de água em cada uma das diferentes camadas do tanque. Após esse procedimento, também foi medido o volume de água retirada do tanque, por sifonamento, para determinação do volume de água livre no sistema. O volume restante foi considerado o volume de água retida por capilaridade nas diversas camadas de substrato. Para o início da operação do sistema, foi conectada ao tanque a tubulação de esgoto do vaso sanitário.

Determinação da capacidade do tanque

O volume de entrada no tanque foi registrado através de leituras diárias de um hidrômetro velocimétrico, instalado na tubulação que alimenta a caixa de descarga do banheiro, e de um pluviômetro do tipo Hellmann, com 200 cm² de área de captação, instalado próximo ao tanque, cujo volume captado foi medido após cada chuva, durante o período de coleta de dados. O volume de entrada de chuva no sistema foi estimado a partir da multiplicação do valor de leitura do pluviômetro pela área do tanque, considerando-se que toda a chuva incidente sobre o tanque penetrou no sistema. Também foi registrado, diariamente, o nível do conteúdo do tanque e observações a respeito do extravasamento ou não do tanque no período e outras ocorrências.

Estimativa da taxa de evapotranspiração

O sistema entrou em operação em novembro de 2007. Os dados experimentais considerados para a determinação da taxa de evapotranspiração do tanque foram os coletados entre 1/8/2008 e 8/12/2008. Além da coleta diária de dados, foram feitas coletas de dados mais detalhadas num conjunto de 11 dias, utilizados como referência: 19/8/2008, 20/8/2008, 21/8/2008, 6/11/2008, 15/11/2008, 4/12/2008, 8/12/2008, 10/12/2008, 5/5/2009, 6/5/2009 e 7/5/2009. Para melhor compreensão do procedimento adotado, esses dias foram denominados de “dias de referência” e o conjunto de dias referentes ao período total da pesquisa foi denominado de “dias do período”. Com o objetivo de estimar a taxa de evapotranspiração real do sistema nos dias de referência, a entrada de esgoto no tanque foi suspensa e foi medida a variação do nível do conteúdo em

intervalos de 1 (uma) hora, em diferentes faixas de horário e períodos contínuos de 2 a 12 horas de duração. A partir da variação horária do nível do tanque, medida em cm.h^{-1} , multiplicada pela capacidade do tanque, em ℓ/cm , foi determinada a evapotranspiração para cada intervalo de 1 (uma) hora, em mm.h^{-1} :

$$ET_h = \Delta N_h \cdot C \quad (1)$$

Onde:

ET_h = Evapotranspiração horária estimada do tanque, em mm.h^{-1} ;

ΔN_h = Variação de nível do tanque, em cm ;

C = Capacidade do tanque, na camada considerada, em $\ell.\text{cm}^{-1}$.

Associados a cada medida de nível, foram registrados os valores instantâneos de umidade relativa do ar e de temperatura, lidos em um termohigrômetro digital, instalado próximo ao tanque. Esses dados climáticos foram agrupados em 8 (oito) faixas de umidade e temperatura, às quais foram associados os valores de ET_h obtidos a partir da medição de nível. Para cada faixa climática, foram calculados a média e o desvio padrão das taxas de evapotranspiração a elas associadas. O somatório dessas médias associadas às faixas climáticas de cada hora dos dias selecionados gerou uma estimativa da evapotranspiração total do tanque, em cada um dos dias de referência:

$$ET_d = \sum_0^{23} (ET_h) \quad (2)$$

Onde:

ET_d = Evapotranspiração real do tanque nos dias de referência, em mm.d^{-1} ;

ET_h = Evapotranspiração horária, atribuída a cada faixa de umidade e temperatura, em mm.h^{-1} ;

Os dados climáticos locais, correspondentes aos horários não cobertos em cada um dos dias observados, foram estimados, com base nos dados climáticos fornecidos pelo Centro Estadual de Monitoramento do Tempo, Clima e Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul –

CEMTEC/AGRAER/INMET - MS. Para isso, foram comparados os dados horários de temperatura e umidade coletados no local, com os dados horários de umidade e temperatura fornecidos pela estação meteorológica, obtendo-se uma equação de ajuste, por regressão linear, para a complementação dos dados faltantes. Dessa forma, obteve-se um quadro com valores de umidade e temperatura instantâneas horárias, para cada um dos onze dias utilizados como referência. Os dados fornecidos pelo CEMTEC foram gerados pela estação meteorológica Campo Grande-A702, latitude 20,45 Sul, altitude 530 m.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) para a cidade de Campo Grande/MS, no período considerado para a pesquisa, foi obtida com base nos dados de temperatura média, máxima e mínima diárias, umidade relativa do ar média, máxima e mínima diárias, também disponibilizados pelo CEMTEC/AGRAER/INMET. O método adotado para esse cálculo foi o proposto por Hargreaves & Samani (1985), como apresentado por Pereira et al. (1997). A equação para determinação da Et_0 , dada em mm.d^{-1} , proposta pelos autores é:

$$Et_0 = 0,0023 Q_0 (T \max - T \min)^{0,5} (T + 17,8) \quad (3)$$

Onde:

Et_0 = Evapotranspiração de referência, em mm.d^{-1} ;

Q_0 = radiação extraterrestre, convertida em mm.d^{-1} e cujos valores são tabelados, de acordo com os meses do ano;

$T \max$ = temperatura máxima do dia, em $^{\circ}\text{C}$;

$T \min$ = temperatura mínima do dia, em $^{\circ}\text{C}$;

T = temperatura média do dia, em $^{\circ}\text{C}$.

Para operacionalização do cálculo da Et_0 , foi utilizado o *software* REF-ET (ALLEN, 2000). O quociente entre a ET_d e a ET_0 média obtida foi adotado como sendo o coeficiente do tanque (k_{tevap}). Esse coeficiente, multiplicado pela evapotranspiração de referência, em cada um dos dias, resultou na estimativa da evapotranspiração do TEvap:

$$ET_{tevap} = ET_0 \cdot k_{tevap} \quad (4)$$

Onde:

ET_{tevap} = Evapotranspiração estimada do tanque, em cada um dos dias do período, em $mm.d^{-1}$;

ET_0 = Evapotranspiração de referência, para cada um dos dias do período, em $mm.d^{-1}$;

k_{tevap} = coeficiente do tanque.

Para cada um dos onze dias de referência, foi calculado um coeficiente k_d , pela razão entre a evapotranspiração estimada para o tanque, em cada um dos dias, e a ET_0 diária calculada para os mesmos dias:

$$k_d = \frac{ET_d}{ET_0} \quad (5)$$

Onde:

k_d = coeficiente do tanque para cada um dos dias de referência;

ET_d = Evapotranspiração total do tanque em cada um dos dias de referência, em $mm.d^{-1}$;

ET_0 = Evapotranspiração de referência para cada um dos dias de referência, em $mm.d^{-1}$.

A seguir, obteve-se a média desses coeficientes, adotada como k_{tevap} :

$$k_{tevap} = \frac{\sum_1^8 k_d}{n} \quad (6)$$

Onde:

n = número de dias de referência.

Esse coeficiente médio diário (k_{tevap}), aplicado aos valores de ET_0 obtidos, permitiu a estimativa dos valores de evapotranspiração no sistema, em todos os dias do período - eq. (4), convertida em medida de volume, através da sua multiplicação pela área do tanque:

$$V_{et} = ET_t \cdot A \quad (7)$$

Onde:

V_{et} = Volume evapotranspirado, em ℓ ;

A = área da superfície do tanque, em m^2 .

Subtraindo-se os volumes evaporados estimados dos volumes diários de entrada do tanque, foi possível estimar o volume extravasado do tanque, ou volume de saída do efluente:

$$V_s = V_e - V_{et} \quad (8)$$

Onde:

V_s = Volume de saída ou volume extravasado, em ℓ ;

V_e = Volume de entrada (esgoto + chuva), em ℓ .

Análises qualitativas

Foram coletadas amostras das partes aéreas de taioba, plantadas dentro e fora do sistema, no sétimo mês após o início da operação do tanque, para análise de coliformes totais e termotolerantes. Também foram avaliadas as concentrações de coliformes totais e termotolerantes em uma amostra de talos da taioba de dentro do tanque, sem pele e em uma amostra de plantas inteiras de taioba de fora do tanque, lavada em água clorada. Essas análises foram realizadas pelo Laboratório do Departamento de Tecnologia de Alimentos – DTA, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS.

As análises parasitológicas foram realizadas uma vez em amostras das fezes dos membros da família usuária do sistema, no sétimo mês; duas vezes em amostras de solo, coletadas dentro e fora do tanque, no sétimo e décimo-quinto meses; duas vezes em amostras do efluente final, no sétimo e décimo-quinto meses e uma vez em amostra de esgoto, coletada no interior do tanque, no sétimo mês. Essas análises também foram realizadas em laboratório de terceiros. Amostras do efluente foram coletadas em dois pontos – no interior e na saída do tanque, em dez datas diferentes, de abril a outubro de 2008, para análise dos seguintes parâmetros: coliformes totais e *Escherichia coli*, obtidos pelo método COLILERT, baseado no NMP (Número Mais Provável); pH, condutividade, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), fosfato total, nitrito, nitrato, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica

de oxigênio (DBO), sólidos totais, sólidos suspensos totais, cloreto e alcalinidade. Todas as amostras coletadas foram transferidas para recipientes próprios para cada tipo de parâmetro e preservadas até a análise, de acordo com as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). As análises foram realizadas no LAQUA – Laboratório de Qualidade da Água, da UFMS.

Resultados e discussão

Capacidade do tanque

O sistema em estudo foi construído com 4 (quatro) m² de área superficial, para atender a uma residência com dois habitantes. No entanto, na prática, foi utilizado por número variável de pessoas. Devido a frequentes extravasamentos do efluente, não foi possível a determinação exata da variação do volume de efluente no tanque através de medidas diretas. Portanto, todas as informações a respeito da capacidade do tanque foram estimadas. De acordo com os resultados obtidos, o volume útil total do tanque foi de 1.233 ℓ, dos quais 992 ℓ eram ocupados pela água livre e 241 ℓ representaram a água retida por capilaridade nos materiais de enchimento e substratos do tanque. A camada inferior, composta por entulho cerâmico, pneus e brita, se estendeu até a altura de 55 cm, contando a partir do fundo do tanque, e apresentou um volume útil de 1195 ℓ (21,70 ℓ/cm). A segunda camada, composta principalmente de areia e solo, apresenta um volume útil de 38 ℓ (1,41 ℓ/cm). Foi constatado, durante os ensaios de verificação da variação do nível do tanque, que, abaixo do nível de 55 cm, o efeito da evapotranspiração é praticamente nulo, provavelmente pelo fato dos substratos – entulho cerâmico, pneus e brita – não permitirem a ascensão capilar da água contida nessas camadas. Dessa forma, além de se considerar a taxa de evapotranspiração do sistema para avaliar sua capacidade, deve-se observar a capacidade de armazenamento das camadas de areia e solo que, no caso, foi de 38 ℓ. Dessa forma, nas condições do tanque estudado, volumes superiores a esse não poderiam ser introduzidos no tanque de uma só vez, ocorrendo extravasamento do sistema, independentemente da taxa de evapotranspiração. Uma forma possível para a solução desse problema seria a colocação de faixas verticais de solo que alcancem toda a profundidade do tanque, protegidas com manta geotêxtil, possibilitando a ascensão capilar da água armazenada nas camadas inferiores, como proposto por Lesikar & Enciso.

Determinação da taxa de evapotranspiração

Os valores de evapotranspiração para cada uma das faixas de umidade relativa do ar (UR) e temperatura (T) medidas, nos onze dias escolhidos como referência, encontram-se na tabela 1.

TABELA 1				
Taxas médias de evapotranspiração horária por faixas de umidade e temperatura				
Faixas	UR(%)	T(°C)	ET _h (mm.h ⁻¹)	
			Média	Desvio padrão
1	até 20	28 a 38	0.79	0.58
2	20,1 a 40	19,8 a 27,9	0.29	0.16
3	20,1 a 40	28 a 38	0.87	0.74
4	40,1 a 55	19,8 a 27,9	0.71	0.63
5	40,1 a 55	28 a 38	0.90	0.60
6	55,1 a 70	19,8 a 27,9	0.38	0.18
7	55,1 a 70	28 a 38	0.64	0.50
8	70,1 a 85	19,8 a 27,9	0.17	0.19

TABELA 2			
Coeficiente diário do tanque (kd), calculado a partir da evapotranspiração total estimada para os dias de referência (ET _d) e evapotranspiração de referência (ET ₀). * ET _d = $\sum (E_h)$; kd = ET _d / ET ₀			
Dias	ET _d * (mm.d ⁻¹)	ET ₀ (mm.d ⁻¹)	kd calculado*
19/8/2008	16.68	4,6	3,60
20/8/2008	17,43	4,4	4,00
21/8/2008	17,02	4,4	3,83
6/11/2008	9,75	6,2	1,57
15/11/2008	18,15	7,2	2,51
4/12/2008	10,71	5,0	2,13
8/12/2008	14,86	7,4	2,01
10/12/2008	14,34	6,1	2,36
05/05/2009	8,25	2,8	2,92
06/05/2009	6,21	3,0	2,08
07/05/2009	8,26	2,9	2,86
Média			2,71
Desvio padrão			0,80

Os valores de evapotranspiração total (ET_d) para cada um dos dias considerados, calculada pelo somatório das taxas de evapotranspiração horárias⁵ (ET_h), correspondentes às faixas de umidade e temperatura atribuída a cada hora do dia, encontram-se na tabela 2, bem como os valores encontrados para o coeficiente k_d do tanque, para cada dia.

Avaliação do dimensionamento do sistema

O k_d médio assim obtido (2,71), foi adotado como k_{levap} (coeficiente do tanque) que, multiplicado pela evapotranspiração de referência de cada dia do período total considerado, gerou uma estimativa dos valores de evapotranspiração diária. Esses valores diários, subtraídos do volume diário de entrada no sistema, resultaram na estimativa dos volumes extravasados do tanque, a cada dia.

O gráfico da figura 2 mostra os volumes mensais de entrada no sistema (esgoto + chuva) e os volumes mensais de extravasamento ou saída do efluente, no período compreendido entre agosto de 2008 e novembro de 2008.

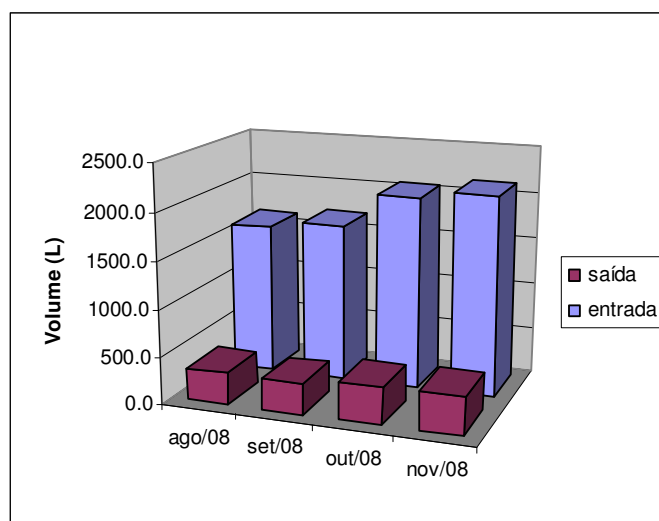


Figura 4

Volumes mensais de entrada e de saída do TEvap instalado em Campo Grande-MS, em ℓ, no período entre agosto de 2008 e novembro de 2008.

Esses resultados foram considerados coerentes com as observações de campo a respeito do extravasamento do tanque. No período entre 1/8/2008 e 8/12/2008, o volume de entrada no tanque foi composto de 1401,23 ℓ de água de chuva e 6759,17 ℓ originados das descargas do

⁵ Resultados não mostrados.

vaso sanitário, totalizando 8160,4 ℓ. Desse total, 80% saíram do sistema por evapotranspiração. Considerando, para o período, a diluição do esgoto pela água de chuva e a sua concentração pela evaporação nos 1233 ℓ de volume útil do tanque, calcula-se que o conteúdo foi reduzido a 23 % do seu volume total. Esse dado deve ser levado em conta ao ser avaliada a qualidade do efluente. Como o funcionamento ideal do TEvap prevê o mínimo extravasamento do efluente, em condições normais de uso e funcionamento, conclui-se que as dimensões adotadas para o tanque estudado não são adequadas ao volume de consumo registrado para esse grupo de usuários. Considerando que, em média, cada pessoa utilize o vaso sanitário cerca de 4 (quatro) vezes por dia e o volume de cada descarga varie entre 7 ℓ e 20 ℓ, dependendo do tipo de equipamento, pode-se estimar que o consumo de água médio por pessoa, relativo ao uso do vaso sanitário, varie entre 21 ℓ e 60 ℓ.d⁻¹. Adotando-se como base para o cálculo uma caixa de descarga com capacidade para 8 ℓ, estima-se um consumo *per capita* de 32 ℓ.d⁻¹. Para as condições climáticas de Campo Grande – MS, pode-se propor a seguinte equação para dimensionamento do sistema:

$$A = \frac{n \cdot Q_d}{ET_0 \cdot k_{tevap} - P \cdot k_i} \quad (9)$$

Onde:

A = área superficial do tanque, em m²;

n = número médio de usuários do sistema;

Q_d = vazão diária por pessoa, em ℓ.d⁻¹, de acordo com o tipo de descarga e o número de utilizações por pessoa;

k_{tevap} = coeficiente do tanque, adotado como 2,71, para as condições da realização da pesquisa;

ET₀ = evapotranspiração de referência média do local, em mm.d⁻¹;

P = pluviosidade média do local, em mm.d⁻¹;

k_i = coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.

O coeficiente de infiltração, proposto neste estudo, é uma variável dependente da forma com que o tanque foi construído, tipo de cobertura do solo, inclinação da superfície do solo do tanque, presença ou não de obstáculos ao escoamento superficial e demais fatores que

influenciam na penetração da água das chuvas. Valores de k_i próximos de 1, significam que toda a água precipitada penetra no tanque. Valores menores de k_i indicariam o escoamento superficial da água das chuvas mais torrenciais para fora do sistema. A determinação de uma escala de valores para k_i depende de novas pesquisas, bem como a verificação da validade da equação apresentada para aplicação em outras localidades.

A tabela 3 mostra alguns valores de dimensionamento de um TEvap, para diferentes volumes de entrada de águas negras, para a cidade de Campo Grande – MS, considerando-se a $ET_0 = 4,36 \text{ mm.d}^{-1}$; $k_{\text{tevap}} = 2,71$ e $P = 3,85 \text{ mm.d}^{-1}$. O período considerado para o cálculo de ET_0 e P foi o de 01/11/2007 a 31/10/2008.

O valor de $k_{\text{tevap}} = 2,71$ foi adotado para as condições da realização da pesquisa. Esse coeficiente pode variar de acordo com fatores como condições de insolação sobre o tanque e incidência de ventos. Em locais mais protegidos de correntes de ar seco ou com sombreamento, o k_{tevap} adotado poderia ser menor, por precaução. Em regiões desérticas, com grande efeito de evapotranspiração de oásis (Pereira, 1997), esse coeficiente poderia ser ainda maior. Esse tema se apresenta como um importante campo para futuras pesquisas.

TABELA 3				
Determinação da área necessária para a construção do TEvap, a partir da equação de dimensionamento Eq.(9)				
Entrada		A (m²)		
n	consumo (ℓ.d⁻¹)	k_i = 1	k_i = 0,5	k_i = 0,2
2	64	8,1	6,5	5,8
3	96	12,1	9,7	8,7
4	128	16,1	13,0	11,6
5	160	20,1	16,2	14,5
6	192	24,2	19,4	17,4

Esse método de dimensionamento foi baseado nos resultados obtidos em uma série de estimativas realizadas durante a pesquisa, necessitando ainda passar por experimentos de validação para ser aceito como um método universal para o dimensionamento do TEvap. Pode ser utilizado para se determinar as dimensões mínimas para atender as necessidades de um determinado grupo de pessoas, em condições variáveis, observando-se as características ambientais para se ajustar o k_{tevap} e o k_i intuitivamente. No entanto, esses parâmetros são úteis

como pontos de partida para novas pesquisas, a partir das quais se possa determinar com mais segurança os fatores que interferem na variação desses índices, tornando o método mais exato.

Análises qualitativas

Os resultados das análises físico-químicas do efluente do tanque foram comparados com os resultados obtidos por Rebouças et al. (2007) para amostras de água negra bruta, cada uma composta por 6ℓ de água, papel higiênico, fezes e 250 ml de urina. Esses resultados são apresentados na tabela 4.

TABELA 4						
Resultados das análises físico-químicas do efluente do interior e da saída do TEvap, comparados com dados encontrados na bibliografia						
Parâmetro	Unidade	Interior do tanque		Saída		Rebouças et al (2007)
		Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	
pH		7,84 (9)*	0,28	7,81 (10)	0,14	7,84
Condutividade	(mS/cm)	2,22 (9)	0,53	2,45 (10)	0,52	
Turbidez	NTU	481,04 (9)	291,35	88,01 (10)	44,22	
Coliformes totais	NMP /100 m ℓ	1,65 x 10 ⁷ (3)	1,47 x 10 ⁷	3,24 x 10 ⁷ (5)	6,91 x 10 ⁷	1,5 x 10 ⁹
<i>E. coli</i>	NMP / 100 m ℓ	5,15 x 10 ⁶ (3)	4,72 x 10 ⁶	3,71 x 10 ⁶ (6)	5,27 x 10 ⁶	
DQO	mg/ℓ	723,46 (9)	363,41	406,05	257,85	6619
PO ₄ ⁻³	mg/ℓ	54,46 (5)	20,27	43,18(6)	30,68	
NH ₃	mg/ℓ	326,85 (5)	81,04	46,21 (5)	96,74	
NO ₂ ⁻	mg/ℓ	0,03 (5)	0,02	0,44 (5)	0,66	
NO ₃ ⁻	mg/ℓ	0,17 (5)	0,04	0,17 (5)	0,08	
NTK	mg/ℓ	335,40 (5)	89,30	227,01 (5)	145,44	365
OD	mgO ₂ /ℓ	0,00 (1)	0,00	0,00 (1)	0,00	
DBO	mgO ₂ /ℓ	360,88 (5)	237,37	72,74 (5)	24,92	1893
ST	mg/ℓ	1137,58 (6)	249,34	746,75(6)	205,04	
SST	mg/ℓ	385,69 (9)	200,01	37,74 (9)	11,50	2365
Cloreto	mg/ℓ	141,38 (4)	83,31	154,01 (4)	88,86	
Alcalinidade	mg/ℓ	816,04 (5)	341,11	1061,56 (5)	251,10	

* (n° de amostras) NTU = Unidades Nefelométricas de Turbidez
NMP = Número Mais Provável

Apesar do TEvap não ser propriamente um sistema de tratamento de esgoto para o qual se possa aplicar o conceito de “eficiência” pelo qual se avalia a diferença entre a qualidade do esgoto que entra e o que sai do tanque, a observação dos valores obtidos nas análises físico-químicas auxiliam no entendimento do funcionamento do sistema. Observa-se uma boa remoção de sólidos suspensos totais e turbidez, provavelmente devido à passagem do efluente pela camada de areia e solo e por apresentar fluxo ascendente. O mesmo pode-se dizer dos níveis de DQO e DBO. Não se pode afirmar, comparando os dados, que houve uma concentração maior do efluente de saída, em relação ao conteúdo do interior do tanque. O pH, a condutividade, cloretos e os parâmetros microbiológicos não se alteram significativamente, enquanto que a alcalinidade aumenta sensivelmente. Tanto o conteúdo do interior do tanque, quanto o efluente de saída, apesar de sofrerem concentração pela evaporação contínua da água, apresentaram valores menores para os parâmetros analisados, em comparação com os encontrados na água negra bruta, apresentados por Rebouças et al. (2007). Isso pode significar que os processos de decantação e sedimentação, decomposição da matéria orgânica e filtragem pelo solo e pelas raízes das plantas, que ocorrem no tanque, exercem a função de tratamento do efluente, demandando futuras pesquisas para a determinação dos seus índices de eficiência.

O efluente final do TEvap, quando presente, pode ser encaminhado para a rede municipal de esgotos ou para sistemas de infiltração subsuperficial no solo, como as valas de infiltração (Santos & Athayde Junior, 2008) e os círculos de bananeiras. O círculo de bananeiras é uma técnica para disposição final de água cinza ou esgotos tratados. De acordo com Martinetti (2007), consiste em uma vala preenchida com britas e coberta com solo, ao redor da qual são plantadas bananeiras e outras plantas. De acordo com Vieira (2006), a vala é preenchida com matéria orgânica de difícil decomposição, como galhos e pedaços de madeira e coberta com folhas secas e capim. O efluente é conduzido para o interior da vala, por onde infiltra no solo, beneficiando as bananeiras.

A presença de nutrientes como fósforo e nitrogênio no efluente final sugere a conveniência da sua utilização como fertilizante, em valas de infiltração, ao longo das quais sejam introduzidas plantas. As composições paisagísticas possíveis, bem como as condições sanitárias para a produção de alimentos a partir desse recurso, poderiam ser alvo de futuras pesquisas.

Foi detectada a presença de coliformes totais, em número mais provável por grama (NMP/g) = $1,1 \times 10^4$, nas amostras de partes aéreas de taioba plantadas no interior do tanque e NMP/g = $1,2 \times 10^2$, em amostras de plantas externas ao tanque. No entanto, não foi detectada presença de coliformes termotolerantes nas amostras de dentro do tanque, sendo que as amostras de plantas de fora do tanque apresentaram NMP/g = $3,9 \times 10$ de coliformes termotolerantes. A partir dessas informações preliminares, pode-se afirmar que o consumo dessas plantas com fins alimentícios poderia ser recomendado, desde que se proceda à higienização das folhas com hipoclorito de sódio ou ácido peracético, como se procede com outras hortaliças, conforme Srebernich (2007).

As análises parasitológicas realizadas em junho de 2008, apontaram a presença dos seguintes parasitos intestinais nas amostras de fezes dos membros da família usuária do sistema, *Endolimax nana*, *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*; em amostra do efluente de saída do tanque, *Endolimax nana* e *Entamoeba coli*; em amostra da fase líquida do interior do tanque, *Endolimax nana*, *Entamoeba histolytica* e *Giardia lamblia*; em amostra de lodo do fundo do tanque, *Endolimax nana*, *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* e *Strongyloides stercoralis*. Em amostra de solo retirada de local distante cerca de 3 metros do tanque, foi detectada a presença de *Strongyloides stercoralis*. No entanto, em quatro amostras de solo retiradas de dentro do tanque, à profundidades de até 10 cm, não foi detectada a presença de nenhum tipo de parasito. As análises parasitológicas realizadas em fevereiro de 2009, em triplicata, detectaram a presença de *Strongyloides stercoralis* no efluente de saída do tanque e novamente apresentaram resultado negativo em relação à presença de parasitos nas duas amostras do solo do interior do tanque. Pela presença de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes no efluente final, não se recomenda nenhum outro tipo de reuso para irrigação que não os métodos de infiltração no solo descritos acima (Santos & Athayde Junior, 2008).

Observações complementares

Durante chuvas muito intensas, a superfície do TEvap apresentou alagamento temporário, pelo fato de a superfície do solo no interior do tanque estar posicionada num nível inferior à borda. De acordo com recomendações de Timmermann (comunicação pessoal) e Lesikar & Enciso, como mostra a figura 3, a superfície do solo do tanque deve ser abaolada, mais alta no centro, acima do nível da borda, de forma que a água da chuva possa escoar superficialmente, após a

saturação da camada superficial de solo. Também de acordo com Timmermann (comunicação pessoal); Pamplona & Venturi (2004) e Mandai (2006), o tubo ladrão deve ser posicionado 10 cm abaixo da superfície do solo do tanque. A colocação do tubo ladrão no TEvap estudado, 18 cm abaixo da superfície, reduziu consideravelmente a capacidade de armazenamento do tanque.

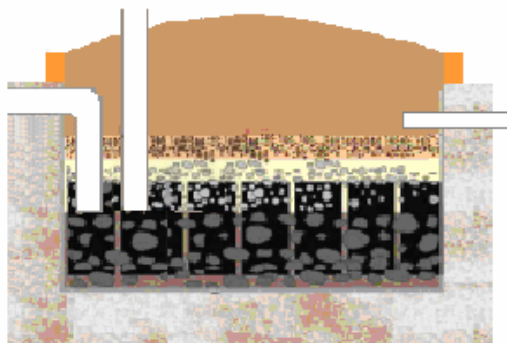


Figura 5

Superfície do solo elevada em relação à borda do tanque, evitando a entrada excessiva de chuvas

Observou-se que, mesmo em casos de subdimensionamento do sistema, os volumes de efluente extravasados do tanque são pequenos, se comparados com o volume que seria infiltrado no solo no caso do uso do sistema de fossa e sumidouro. Portanto, pode-se recomendar sua implantação em residências urbanas e periurbanas, de forma a se reduzir o impacto ambiental pelo lançamento de esgotos em córregos e rios. O aproveitamento da água e dos nutrientes contidos no esgoto pelo TEvap, demonstrou um bom potencial para sua utilização em projetos de condomínios habitacionais populares, nos quais também se poderiam incluir sistemas semelhantes ao TEvap, em linha, de forma a dar suporte a cercas vivas entre as residências. Os riscos de contaminação pela manutenção do TEvap não são maiores do que os apresentados em sistemas convencionais, contando ainda com vantagens adicionais, no que diz respeito ao aproveitamento da água e nutrientes para a produção de alimentos e composição do paisagismo. Dependendo do sistema construtivo adotado, os custos de implantação do TEvap podem ser menores do que os da implantação de um sistema de fossa séptica e sumidouro.

Observando-se o aspecto estético do TEvap, o sistema demonstra um grande potencial na composição paisagística de quintais e espaços públicos, dependendo do manejo aplicado, como retirada de plantas e partes mortas e do excesso de mudas. A figura 4 mostra o aspecto geral do TEvap aos 13 meses da sua implantação.



Figura 6

Registro fotográfico do TEvap aos 14 meses da implantação

O levantamento de informações a respeito do funcionamento do TEvap a partir do presente trabalho serviu de base para a realização de futuras pesquisas referentes a essa tecnologia. A equação de dimensionamento proposta deverá ser validada para sua aplicação a outras condições de solo e espécies vegetais e para outras localidades. Da mesma forma, sistemas derivados do TEvap como linhas de evapotranspiração e tanques sépticos seguidos de leitos de evapotranspiração podem ser desenvolvidos, para serem aplicados a diferentes situações e necessidades.

Conclusões

A partir do trabalho de pesquisa realizado, conclui-se que:

O tanque de evapotranspiração é uma alternativa viável e importante para o tratamento de esgotos urbanos, periurbanos e rurais, podendo ser aplicado tanto em pequenos quintais, quanto em áreas maiores.

O uso crescente do TEvap nos domicílios para tratamento local de águas negras pode evitar a sobrecarga das estações de tratamento de esgotos e diminuir a carga poluidora lançada em rios e córregos pelo tratamento parcial de esgotos urbanos.

O TEvap pode substituir as fossas sépticas residenciais com vantagens ambientais e econômicas, inclusive em áreas onde há rede coletora de esgotos, para a qual pode ser encaminhado seu efluente, caso ocorra.

Em locais onde não há rede coletora de esgotos, o eventual efluente do TEvap pode ser encaminhado para valas de infiltração, de acordo com as normas vigentes (ABNT, 1993).

O único cuidado sanitário adicional na manutenção do TEvap, em relação aos tanques e fossas sépticas, deve ser tomado ao se manipular partes das plantas que tenham contato com o solo do interior do TEvap, que pode conter alto índice de coliformes.

Os frutos e folhas comestíveis produzidos no TEvap podem ser consumidos por humanos, após sua correta higienização.

O TEvap pode ser utilizado para compor o paisagismo dos quintais, escolhendo-se espécies de plantas com potencial ornamental.

O dimensionamento adotado para uma família média (de 4 a 5 pessoas) pode ser de 12 a 16 m², considerando-se que haverá uma destinação adequada para os eventuais efluentes finais.

As técnicas construtivas podem variar de acordo com os recursos disponíveis, devendo sempre garantir a completa impermeabilização do tanque. A técnica do ferro-cimento demonstrou atender a esse requisito, apresentando também um baixo custo.

As pesquisas informais realizadas por leigos e permacultores devem ser consideradas no desenvolvimento de novas pesquisas acadêmicas, aproveitando o conhecimento acumulado na prática, além dos conhecimentos acadêmicos já produzidos.

Referências Bibliográficas

ABNT (1993) – Associação de Normas Técnicas. NBR 7229 “Projeto, construção e operação de tanques sépticos”.

ALLEN RG (2000) REF-ET: Reference evapotranspiration calculator. Version Windows 2.0, Utah State University, Logan, USA.

ANDRADE NETO CO (1997) *Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES. Rio de Janeiro.

- APHA (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 21ª ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- CAMPOS JR (1999) (coord.), *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo*. PROSAB. ABES. Rio de Janeiro.
- CHERNICHARO CAL (2007) *Reatores anaeróbios*. Série: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, V 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária – UFMG.
- CICERONE RJ & OREMLAND RS (1988) *Biogeochemical aspects of atmospheric methane. Global Biogeochem Cycles*. V 2.
- EPA (1993a) Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. United States Environmental Protection Agency.
- EPA (1993b) Subsurface flow constructed wetlands for waste water treatment. United States Environmental Protection Agency.
- EPA (2000) Introduction to Phytoremediation. United States Environmental Protection Agency
- ESREY SA, GOUGH J, RAPAPORT D, SAWYER R, SIMPSON-HÉBERT M, VARGAS J & WINBLAD U (1998) *Saneamiento Ecológico*, tr. da edição em inglês *Ecological Sanitation*. Agencia Sueca de Cooperación para el desarrollo Internacional - SIDA, Estocolmo.
- FERRI MG (1985) *Fisiologia Vegetal*. Editora Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo.
- JORDÃO EP, PESSOA CA (1995) *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: ABES.
- KLOCKE NL (2004) Crop Residue and Soil Water Evaporation. Water Resources Engineering. Kansas State University. Garden City, Kansas.
- LARSSON S (2003) Short-rotation Willow Biomass Plantations Irrigated and Fertilised with Wastewaters. European Commission. DG VI, Agriculture. Svalöv, Sweden
- LEGAN L (2007) *Soluções sustentáveis. Uso da água na Permacultura*. Mais Calango Editora. Pirenópolis, GO.
- LESIKAR B & ENCISO J (Sem data) Sistemas individuales para el tratamiento de águas negras. Cama de evapotranspiración. Texas Water Resources Institute. Sistema Universitario Texas A&M. Disponível em <<http://texaserc.tamu.edu>>. Acesso em 15/10/2008.

- MANDAI, P (2006) Modelo descritivo da implantação do sistema de tratamento de águas negras por evapotranspiração. Associação Novo Encanto de Desenvolvimento Ecológico - ANEDE. Monitoria Canário Verde, Brasília. Relatório técnico.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (1999) *Manual de Saneamento*. Fundação Nacional da Saúde, Brasília.
- OTTERPOHL RU (2001) Black, brown, yellow, grey - the new colors of sanitation. *Water*, V 21.
- OTTERPOHL RU (2002) Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas. Keynote presentation at IWA Small 2002, Istanbul.
- PAMPLONA S & VENTURI M. (2004) Esgoto à flor da terra. *Permacultura Brasil*. Soluções ecológicas. V16.
- PEREIRA AR, VILA NOVA NA & SEDIYAMA GC (1997) *Evapo(transpi)ração*. FEALQ. Piracicaba.
- REBOUÇAS TC, BIANCHI G & GONÇALVES RF (2007) Caracterização de águas residuárias de origem residencial. Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina, Fortaleza.
- RIDDERSTOLPE P (2004) *Introduction to greywater management*. Stockholm Environment Institute - SEI, Uppsala.
- SANTOS AB, ATHAYDE JUNIOR GB (2008) Esgotamento sanitário: qualidade da água e controle da poluição: guia do profissional em treinamento: nível 2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Salvador: ReCESA.
- SAWYER R (2006) *Cerrando el Ciclo – Saneamiento ecológico para la seguridad alimentaria*. SIDA – Agencia Sueca de Cooperación para el desarrollo Internacional, Tepoztlán, México. Segunda Edición.
- SEGBERS R (1998) Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes. Department of Theoretical Production Ecology. Wageningen Agricultural University. *Biogeochemistry*, V 41.
- SREBERNICH SM (2007) Utilização do dióxido de cloro e do ácido peracético como substitutos do hipoclorito de sódio na sanitização do cheiro-verde minimamente processado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* V 27.

- STEINFELD C, DEL PORTO D (2004) Growing away wastewater. *Landscape Architecture*, January.
- SIWI (2005) UN Millennium Project Task Force on Water and Sanitation Final Report. Health, Dignity, and Development: What Will It Take? Key Recommendations. Final report. Swedish International Water Institute (SIWI).
- VENTURI M (2004) Experiência de Extensão: Tratamento de esgotos que produz alimentos. Disponível em <<http://www.agroecologia.ufsc.br/material>> Acessado em 03/12/2008.
- VIEIRA I (2006) Círculo de bananeiras. Disponível em <<http://www.setelombas.com.br/2006/10/14/circulo-de-bananeiras>>. Acessado em 12/11/2008
- VON SPERLING M (1996) Princípios básicos de tratamento de esgotos. Série: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG.
- VON SPERLING M (2005) Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. UFMG.
- WETLANDS INTERNATIONAL (2003) *The use of constructed wetlands for wastewater treatment*. Selangor.
- WINBLAD U & SIMPSON-HÉBERT M (2004) *Ecological Sanitation - revised and enlarged edition*. Stockholm Environment Institute - SEI, Stockholm.
- WUEBBLES DJ, HAYHOE K (2002) Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Reviews*, V 57.

GUIDE TO AUTHORS

AIMS AND SCOPE

This journal publishes refereed, original work in all branches of water science, technology, engineering and policy. This includes water resource development; the hydrological cycle; surface hydrology; geohydrology and hydrometeorology; limnology; salinisation; treatment and management of municipal and industrial water and wastewater; treatment and disposal of sewage sludge; environmental pollution control; water quality and treatment; aquaculture in terms of its impact on the water resource; agricultural water science; water policy; water as a social good; etc. The journal is published quarterly.

Contributions may take the form of a paper, a critical review, a short communication, a rapid communication, a technical note or comments on papers already published. A **paper** is a comprehensive contribution to the subject, including introduction, experimental information and discussion of results (Technical accounts involving application of well-known techniques, and situation assessment/observation/sampling papers reporting results of work not carried out as a research activity, cannot be considered). A **review** is an authoritative, critical account of recent and current research in a specific field to which the author has made notable contributions. A **short communication** is a concise account of new and significant findings to inform readers of preliminary or limited research results. A **rapid communication** is an original contribution which merits prompt publication to publicise the findings of very recent research with immediate significance. A **technical note** describes an original process or technique without necessarily including extensive data, theory or critical evaluation. **Comments** on papers already published are sent to the authors of the paper for reply and both the comments and the authors' reply will be published in the upcoming issue of *Water SA*. Preference is given to concise contributions.

GENERAL

Submission of manuscript

Each submission must be accompanied by a covering letter, stating the name(s) and title(s) and contact details of each author, as well as the author to whom correspondence should be addressed. The submission of a paper will be taken to indicate that it has not, and will not, without the consent of the Editor, be submitted for publication elsewhere. Manuscripts, in English only, have to be submitted in MS Word by E-mail to ingridb@wrc.org.za. The Internet address is <http://www.wrc.org.za>.

Reprints

Ten free offprints of each paper will be provided.

Abstracts

Papers have to be accompanied by an abstract and keywords. Abstracts have become increasingly important with the growth of electronic data storage. In preparing abstracts, authors should give brief, factual information about the objectives, methods, results and conclusions of the work. Unsubstantiated viewpoints should not be included. Do not cite references in an abstract.

Refereeing

Manuscripts will be submitted to and assessed by referees. The evaluation of any manuscript is undertaken with the understanding that neither the substance of the article nor the figures or tables have been published or will be submitted for publication elsewhere during the period of review. Authors bear sole responsibility for the factual accuracy of their publications.

Correspondence

State the name and address of the author to whom correspondence should be addressed on the title page.

SCRIPT REQUIREMENTS

Lay-out of manuscript

An MS Word script should be submitted by e-mail and must be accompanied by a covering letter. The **title** should be concise and followed by authors' names and complete addresses. Clearly indicate who the corresponding author is and provide a footnote on the title page with full contact details, i.e. e-mail address, telephone and fax numbers. A paper may be organised under main headings such as **Abstract, Introduction, Experimental, Results, Discussion** (or **Results and Discussion**), **Conclusions, Acknowledgements** and **References**.

Contents of manuscripts

The International System of Units (SI) applies. Technical and familiar abbreviations may be used, but must be defined if any doubt exists. Always use a space between the last digit and the unit of measure, except for % and °, e.g. 10% and 5°C, but 13 MW. The scientific notation for litres is ℓ. *Water SA* uses UK English and **at the point of submission** the choice of font, font size, and line spacing is at the authors' discretion. The layout of accepted papers is done in *InDesign* in terms of the *Water SA* house style.

Tables

Tables must be in MS Word and are numbered in Arabic numerals (TABLE 1). They should bear a short but adequate descriptive caption. Their appropriate position in the text should be indicated.

Illustrations and line drawings

Electronic figures and photographs should be submitted in their **original format** (e.g. Excel, TIFF, JPG) and not be embedded in the MS Word document. Scanned figures of low resolution are not acceptable; resolution should be at least 300 dpi.

Revised manuscripts

The **final accepted** and **updated** manuscript should be submitted on disk or by e-mail. MS Word is the preferred software format. Electronic figures and photographs have to be submitted in their original format (e.g. Excel, TIFF, JPG) as a separate file to facilitate electronic layout.

References

Authors are responsible for the accuracy of references. References to published literature should be quoted in the text as follows: Smith (1982) or (Smith, 1982). Where more than two authors are involved, the first author's name followed by et al. and the date should be used.

All references are listed alphabetically at the end of each paper and not given as footnotes. The names of all authors should be given in the list of references. Titles of journals of periodicals are abbreviated according to **Chemical Abstracts Service Source Index** (Cassi).

Two examples of the presentation of references are the following:

GRABOW WOK, COUBROUGH P, NUPEN EM and BATEMAN BW (1984) Evaluations of coliphages as indicators of the virological quality of sewage-polluted water. *Water SA* 10 (1) 7-14.

WETZEL RG (1975) *Limnology*. WB Saunders Company, Philadelphia. 324 pp.