

FELIPE JACOB PIRES

**CONSTRUÇÃO PARTICIPATIVA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DOMÉSTICO NO ASSENTAMENTO RURAL OLGA BENÁRIO-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P667c
2012

Pires, Felipe Jacob, 1984-

Construção participativa de sistemas de tratamento de
esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário-MG /
Felipe Jacob Pires. – Viçosa, MG, 2012.
xiii, 118f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ana Augusta Passos Rezende.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 110-117.

1. Esgotos rurais. 2. Águas residuais - Purificação.
3. Assentamentos humanos. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 628.35

FELIPE JACOB PIRES

**CONSTRUÇÃO PARTICIPATIVA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DOMÉSTICO NO ASSENTAMENTO RURAL OLGA BENÁRIO-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de novembro de 2012.



Alisson Carraro Borges
(Coorientador)



Claudio Mudado Silva



Simone da Silva Ribeiro



Ana Augusta Passos Rezende

(Orientadora)

*“O saber a gente aprende com os mestres e com os livros.
A sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes.”
(Cora Coralina)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me proporcionar condições para poder servir a quem mais necessita, dando-me luz e força nesse caminho.

Aos meus pais e irmã, pelo apoio e carinho sempre.

À Nina Abigail, por estar ao meu lado em todos os momentos e pelo incentivo e força nessa caminhada.

À minha orientadora, professora Ana Augusta Passos Rezende, por ter acreditado nesse projeto e pelas ótimas orientações.

Ao grupo SAUIPE, pelo apoio nos trabalhos em campo, por me proporcionar ter um contato maior com a extensão dentro e fora da Universidade e pela formação complementar.

Aos professores Délio Porto Fassoni, Claudio Mudado, Alisson Carraro Borges e Simone da Silva Ribeiro, pelas idéias, críticas e sugestões ao trabalho.

Aos técnicos e bolsistas do Laboratório de Meio Ambiente, da Universidade Federal de Viçosa.

Aos amigos Bernardo de Brito, Diogo Machado, Alice Fassoni, Graziela de Freitas, Gisele Lamberti, Hérksson Mota, Raphael Fontes, Fernando Cardoso e Leandro Sonoda pela convivência, apoio e dedicação que proporcionaram a realização deste trabalho.

Ao Assentamento Rural Olga Benário, em especial ao Tião, Luis, Vantuil, Néia, Marli e Mariana, pela ótima parceria e convivência que ainda se estabelece, pela paciência, por acreditarem nesse projeto e pelos deliciosos lanches.

Aos amigos de pós-graduação, em especial, a Ana Paula Faria e Nayara Avelar.

À Capes e ao MEC/Proext, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
1 CAPÍTULO 1 – O PROCESSO PARTICIPATIVO NA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	4
1.1 INTRODUÇÃO	4
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
1.2.1 Saneamento Rural	5
1.2.2 Saneamento rural: investimentos em assentamentos de reforma agrária.	6
1.2.3 Saneamento rural: sistemas mais apropriados	7
1.2.4 Pesquisa-ação como processo participativo	10
1.2.5 Autogestão como reprodução da força de trabalho	12
1.3 METODOLOGIA	14
1.3.1 Caracterização do local de estudo	14
1.3.2 Ações desenvolvidas no assentamento com base em um processo participativo	17
1.4 RESULTADOS.....	22
1.5 CONCLUSÕES	34
2 CAPÍTULO 2 – TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E WETLAND CONSTRUÍDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	35
2.1 INTRODUÇÃO	35
2.2 OBJETIVO GERAL	36
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	36
2.4.1 Tanque de Evapotranspiração	36
2.4.2 <i>Wetland</i> Construído	43
2.5 MATERIAL E MÉTODOS.....	57

2.5.1 Tanque de Evapotranspiração	58
2.5.2 <i>Wetland</i> Construído	68
2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
2.6.1 Tanque de evapotranspiração	74
2.6.2 <i>Wetland</i> construído	89
2.7 CONCLUSÕES	106
CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
REFERÊNCIAS	110
ANEXO A – CARTILHA ELABORADA PARA OFICINA NO OLGA BENÁRIO	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Município de Visconde do Rio Branco , MG	15
Figura 1.2 - Mapa do Assentamento Olga Benário	17
Figura 1.3 - Recorte dos esquemas ilustrativos de modelos de sistemas de esgotamento sanitário: (a) banheiro seco compostável; (b) tanque séptico e filtro anaeróbio; (c) fossa biodigestora; (d) tanque de evapotranspiração; (e) <i>wetland</i> construído; (f) fossa negra e contaminação de água subterrânea.....	21
Figura 1.4 – Resultado referente ao interesse dos assentados pelos sistemas de tratamento de efluente doméstico	26
Figura 1.5 - Oficina realizada com as famílias do assentamento.....	30
Figura 1.6 - Resultado referente ao interesse dos assentados pelos sistemas de tratamento de efluente doméstico após oficina.....	31
Figura 1.7 - Oficina realizada com as famílias do assentamento Olga Benário	33
Figura 2.1 – Vista transversal de um tanque de evapotranspiração	39
Figura 2.2 – Lírio do brejo (<i>Hedychium coronarium</i>).....	55
Figura 2.3 - Croqui do sistema de tratamento.....	58
Figura 2.4 - Detalhes da construção da câmara decanto-digestora.....	59
Figura 2.5 - Detalhes dos materiais componentes das camadas do interior do TEvap	60
Figura 2.6 - Retirada das mudas de <i>Musa paradisíaca</i>	61
Figura 2.7 - Detalhes das mudas de <i>Musa paradisiaca</i> (esquerda) e plantio (direita).....	62
Figura 2.8 - Detalhe das mudas de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott (esquerda) e plantio (direita).....	62
Figura 2.9 - Pontos de amostragem no TEvap	63
Figura 2.10 - Hidrômetro instalado na caixa de descarga (esquerda) e detalhes do hidrômetro (direita).....	65
Figura 2.11 - Detalhe da construção da caixa de gordura em uma das residências.....	68
Figura 2.12 - Detalhe da caixa de passagem (esquerda) e caixa de passagem instalada (direita)	69

Figura 2.13 - Instalação das tubulações de entrada e saída de efluente no WC	71
Figura 2.14 - Plantio de <i>Hedychium coronarium</i> no WC	72
Figura 2.15 - Pontos de amostragem no WC	72
Figura 2.16 - Recipiente para a coleta de amostra composta em operação	73
Figura 2.17 - Variação do nível de água e do volume de entrada de água negra e pluvial no TEvap	76
Figura 2.18 - Plantio das mudas (a), 1 mês após o plantio (b), 3 meses após o plantio, com o aparecimento de mudas, (c) 4 meses após o plantio (d)	77
Figura 2.19 - Variação da temperatura do líquido nos TEvap	78
Figura 2.20 - Variação do pH nos TEvap	79
Figura 2.21 - Variação da condutividade elétrica (CE) nos TEvap	81
Figura 2.22 - Variação dos sólidos suspensos totais (SST) nos TEvap	82
Figura 2.23 - Variação dos sólidos suspensos voláteis (SSV) nos TEvap	83
Figura 2.24 - Variação dos sólidos suspensos fixos (SSF) nos TEvap	83
Figura 2.25 - Variação dos sólidos dissolvidos totais (SDT) nos TEvap	84
Figura 2.26 - Variação do oxigênio dissolvido (OD) nos TEvap	85
Figura 2.27 - Variação da demanda química de oxigênio (DQO) nos TEvap ...	86
Figura 2.28 - Variação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅) nos TEvap	87
Figura 2.29 - Plantio do <i>Hedychium coronarium</i> (a), surgimento de brotos no 1º mês (b), desenvolvimento do <i>Hedychium coronarium</i> no 3º mês (c)	91
Figura 2.30 - Variação da temperatura do líquido, ao longo do período de monitoramento nos WC	92
Figura 2.31 - Variação do pH nos WC	93
Figura 2.32 - Variação da condutividade elétrica (CE) nos WC	96
Figura 2.33 - Variação dos sólidos suspensos totais (SST) nos WC	96
Figura 2.34 - Variação dos sólidos suspensos voláteis (SSV) nos WC	97
Figura 2.35 - Variação dos sólidos suspensos fixos (SSF) nos WC	98
Figura 2.36 - Variação dos sólidos dissolvidos totais (SDT) nos WC	98
Figura 2.37 - Variação do oxigênio dissolvido (OD) nos WC	101
Figura 2.38 - Variação da demanda química de oxigênio (DQO) nos WC	102
Figura 2.39 - Variação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅) nos WC	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 - Fragmento do questionário elaborado para coleta de dados no Assentamento Olga Benário	20
Tabela 2-1 - Principais características de alguns TEvap	43
Tabela 2-2 - Parâmetros analisados, unidades e frequência de análise.....	64
Tabela 2-3 – Massas específicas dos materiais componentes do meio suporte do TEvap	65
Tabela 2-4 - Resultados relativos ao monitoramento de consumo de água do vaso sanitário, do nível de água no Tevap e da precipitação	75
Tabela 2-5 - Variação da turbidez nos TEvap.....	80
Tabela 2-6 - Variação da cor verdadeira nos TEvap.....	80
Tabela 2-7 - Relação entre a demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), durante o monitoramento nos TEvap	88
Tabela 2-8 - Resultados das análises microbiológicas nos TEvap	88
Tabela 2-9 - Variação da turbidez nos WC	94
Tabela 2-10 - Variação da cor verdadeira nos WC	95
Tabela 2-11 - Variação dos compostos nitrogenados nos WC	99
Tabela 2-12 - Variação do fósforo nos WC	100
Tabela 2-13 - Relação entre a demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), durante o monitoramento nos WC.....	104
Tabela 2-14 - Resultados das análises microbiológicas nos WC.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas

CE - Condutividade elétrica

CT - Coliformes totais

DBO₅ - Demanda bioquímica de oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

E. coli - *Escherichia coli*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

Lc1,2,3 - pontos de coleta no *wetland* construído na residência de Luís

Ln1,2,3,4 - pontos de coleta no tanque de evapotranspiração, na residência de Luís

NH₃ - Amônia não ionizada

NTK - Nitrogênio total Kjeldhal

OD - Oxigênio dissolvido

P - Fósforo

PA - Projeto de assentamento

pH - Potencial hidrogeniônico

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

SST - Sólidos suspensos totais

SSD - Sólidos suspensos dissolvidos

SSF - Sólidos suspensos fixos

SSV - Sólidos suspensos voláteis

Tc1,2,3 - pontos de coleta no *wetland* construída na residência de Tião

Tn1,2,3,4 - pontos de coleta no tanque de evapotranspiração, na residência de Tião

TEvap - Tanque de evapotranspiração

USEPA - *U.S. Environmental Protection Agency*

Vc1,2,3 - pontos de coleta no *wetland* construído na residência de Vantuil

Vn1,2,3,4 - pontos de coleta no tanque de evapotranspiração na residência de Vantuil

WC - *Wetland* construído

WC-FV - *Wetland* construído de escoamento vertical

WC-FH - *Wetland* construído de escoamento horizontal

RESUMO

PIRES, Felipe Jacob. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2012. **Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário-MG**. Orientadora: Ana Augusta Passos Rezende. Coorientadores: Alisson Carraro Borges e Ann Honor Mounteer.

No Brasil, o saneamento básico em zonas rurais encontra-se ainda em situação precária, sobretudo em relação ao tratamento do esgoto doméstico, expondo as famílias a focos de contaminação. A participação das comunidades rurais no processo decisório para a escolha das tecnologias de tratamento torna-se essencial para o acesso às informações e o sucesso dos sistemas a serem implantados. Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de conceber e construir, de forma participativa com famílias do assentamento rural Olga Benário, MG, sistemas de tratamento de esgoto mais apropriados à realidade local. No que se refere ao tratamento de efluentes domésticos, destaca-se a gravidade da realidade das famílias, principalmente, nas zonas rurais, onde a situação de saneamento é precária, as quais ficam constantemente sujeitas e vulneráveis a focos de contaminação. A participação da comunidade no processo decisório para a escolha das tecnologias de tratamento é de suma importância para garantir o acesso às informações e a indissociabilidade entre o usuário e o produto. A metodologia com base na pesquisa-ação foi utilizada de forma a aproximar a pesquisa aos anseios da comunidade. O sistema de tratamento de esgoto doméstico, composto de duas unidades: tanque de evapotranspiração e *wetland* construído, foi selecionado para o tratamento de águas negra e cinzas, respectivamente, e construído em três residências do assentamento pelos próprios moradores. A vegetação utilizada no tanque de evapotranspiração foi banana-nanica (*Musa paradisiaca*) e taioba (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) e na unidade *wetland* construída foi lírio do brejo (*Hedychium coronarium*). Os sistemas foram monitorados em diversos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. As unidades de evapotranspiração alcançaram eficiências médias acima de 90%, em termos de remoção de turbidez, DQO, DBO₅, SST, SSD, SSV e SSF, obtendo desenvolvimento foliar desejável e ausência de coliformes totais e *E. coli* em

análises realizadas nas folhas e talos das taiobas. As unidades *wetland* construídos obtiveram bom desempenho no tratamento de águas cinzas com remoções médias de 86% e 88% para DQO e DBO₅, respectivamente, e concentrações de sólidos suspensos totais no efluente variando de 19 e 37 mg.L⁻¹.

ABSTRACT

PIRES, Felipe Jacob. M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2012. **Participatory development of wastewater treatment systems in the Rural Settlement Olga Benário-MG.** Advisor: Ana Augusta Passos Rezende. Coadvisors: Alisson Carraro Borges and Ann Honor Mounteer.

In Brazilian rural areas there is still a lack of basic sanitation, especially concerning to wastewater treatment, exposing the communities to all sorts of contamination. The participation of rural communities in the decision making for choosing an adequate technology for wastewater treatment is essential to guarantee the access of information to the community and ultimately the success of the proposed treatment system. In this context, the present work aimed at the development and construction of wastewater treatment systems with fundamental participation of families of the Rural Settlement Olga Benário, Minas Gerais. The methodology based on “research-action” was used in order to approximate the research to the community needs. The wastewater treatment plants were composed of two units: evapo-transpirator tank and constructed wetland used for black and grey water treatment, respectively. The plants used for the evapo-transpiration tanks were “banana-nanica” (*Musa paradisiaca*) and “taioba” (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott). The plants used in the wetland units were “lirio do brejo” (*Hedychium coronarium*). They were built in three households, in a dynamic self-managed collective effort. The systems were monitored physical-chemical and microbiological analyses. The evapo-transpirator tanks achieved efficiencies above 90%, in terms of turbidity, COD, BOD₅, TSS, VSS and FSS removals. The vegetation used in the evapo-transpirator tank had a desirable development and absence of total coliforms and *E. coli*. in analyzes performed on the cocoyam’s leaves and stems. The constructed wetlands achieved a satisfactory performance in the grey water treatment, obtaining an organic matter removal average above 80%, reaching 86% and 88% for COD and BOD, respectively. In terms of suspended solids, the treated wastewater showed a concentration in a range of 19 and 37 mg.L⁻¹.

INTRODUÇÃO GERAL

A situação do saneamento ambiental no Brasil é precária, o que afeta a saúde da população e o equilíbrio do meio ambiente. Dados do IBGE (2010) mostram que 24 milhões de brasileiros vivem sem rede de água e 34,8 milhões sem rede de esgoto. Esse problema se estende a todas as regiões do país e a população rural é a mais afetada.

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílio (PNAD), ambas de 2008 (IBGE, 2010), 73% dos domicílios sem água potável estão localizados em áreas rurais, sendo a incidência de domicílios sem banheiro ou sanitários três vezes maior nas áreas rurais em relação aos da área urbana. Enquanto 89% dos domicílios urbanos recebiam, em 2008, coleta direta de resíduos sólidos, na área rural, 70% não dispunham de qualquer tipo de solução para seus resíduos.

Em se tratando de assentamentos de reforma agrária no Brasil, a situação é ainda mais alarmante. Em torno de 400.000 famílias estão assentadas, grande parte vivendo em condições precárias de moradia e saneamento básico (INCRA, 2002).

A preocupação com a questão de esgotamento sanitário nos assentamentos refere-se também a outros aspectos, como a dificuldade de acesso ao conhecimento e aos profissionais especializados, necessários para a implantação de tecnologias e soluções em tratamento de efluentes domésticos, garantindo qualidade de vida às famílias.

Além disso, nos assentamentos rurais, devido aos escassos recursos financeiros, dos próprios moradores e dos agentes financiadores, como, por exemplo, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), a autoconstrução é a condição imposta às famílias. Para Jacobi (1989), o processo de autoconstrução responde, basicamente, a satisfazer determinadas necessidades sociais que não são supridas a contento e que, segundo Abiko (1992), é reflexo do descaso do Estado em sociedades capitalistas em crise.

A descentralização dos serviços de coleta e tratamento de esgoto doméstico tem despontado como uma alternativa viável para regiões periféricas

aos grandes centros urbanos e zonas rurais. Somando a isso, é observada, em famílias que residem em áreas rurais, a cultura de segregar as águas residuárias em águas cinzas e negras, correspondendo ao efluente proveniente do vaso sanitário e o restante das águas servidas, respectivamente. Segundo Otterpohl (2001), esta prática permite soluções diferenciadas para o gerenciamento de água e de resíduos em ambientes urbanos e rurais, aumentando a eficiência da reciclagem da água e de nutrientes.

Aliada à perspectiva da sustentabilidade no saneamento, é de suma importância também a pesquisa de sistemas de tratamento de efluentes domésticos apropriados à realidade local, que busquem projetos simplificados, de fácil construção e operação.

Os sistemas *wetlands* construídos (WC) estão sendo utilizados com bons resultados no tratamento de águas residuárias e caracterizam-se por baixos custos de implantação e manutenção, facilidade de construção, reduzido consumo de energia, além de proporcionarem um caráter estético e paisagístico. Monteiro (2009), Begosso (2009) e Saccon (2009), utilizando *wetland* construído no tratamento de água cinza, obtiveram boa eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes. Estações de tratamento baseados em tratamento biológico, como o WC, têm sido amplamente difundidas na Europa, notadamente na Alemanha, na França e na Grã-Bretanha (COOPER *et al.* 1996; BOUTIN e LIÉNARD, 2004).

Embora os estudos dos *wetlands* construídos como alternativa tecnológica para o tratamento de esgotos domésticos venham sendo realizados desde os meados de 1970 e intensificados a partir de 1990, poucos são os trabalhos e as aplicações para a realidade brasileira (SEZERINO, 2006). Destaca-se que estes sistemas incorporam ações naturais de depuração dos esgotos e, conseqüentemente, estão diretamente submetidos às condições climáticas locais, sendo necessários estudos regionalizados para que os mecanismos e o desempenho de tratamento sejam mantidos ao longo do tempo.

Ainda, seguindo a linha da segregação de efluentes domésticos, recentemente, uma nova abordagem com relação ao uso das excretas humanas vem surgindo, mais notadamente em países como Suécia e

Dinamarca. Fezes e urina estão sendo utilizadas como fertilizantes ou complemento nas mais variadas culturas agrícolas, respeitando as suas diferentes características, em termos de patogenicidade e conteúdo de nutrientes. Segundo Nour *et al.* (2006), sistemas de tratamento que utilizam o processo anaeróbio de estabilização da matéria orgânica são os que se adaptam com mais flexibilidade às características deste tipo de efluente.

O tanque de evapotranspiração (TEvap), composto por um leito filtrante plantado, é um sistema anaeróbio/anóxico, que vem sendo estudado e implantado no tratamento e na utilização de água negra. Os sistemas tradicionais de tratamento de efluentes domésticos necessitam de unidades diferentes para atingir um resultado adequado em suas várias etapas e fases de digestão. Porém, o TEvap simplifica essas etapas, agrupando o tratamento primário e o secundário em um único sistema, não necessitando de pós tratamento, pois é um sistema estanque. Segundo Galbiati (2009), este sistema pode ser uma solução para localidades onde o lençol freático se encontra muito perto da superfície ou não haja um curso d'água próximo, para a disposição final do mesmo.

Em se tratando de projetos de esgotamento sanitário em comunidades isoladas, rurais ou urbanas, é de suma importância o trabalho de forma participativa com a população atendida, por meio de processos metodológicos que facilitem o diálogo e a construção do conhecimento. Além disso, sem a participação da comunidade durante a implantação de uma determinada tecnologia, o processo pode não ser internalizado. A pesquisa-ação é uma pesquisa social, com base empírica, que facilita este processo, trazendo princípios metodológicos orientados em função da resolução de problemas ou de objetivos de transformação.

Este trabalho está dividido em dois capítulos. No capítulo 1, o objetivo principal é a aplicação e a análise de um processo metodológico participativo, a pesquisa-ação, na concepção e construção dos sistemas de tratamento de esgoto domésticos com as famílias do assentamento rural Olga Benário, em Visconde do Rio Branco, MG. No capítulo 2, o objetivo é a avaliação do desempenho dos sistemas de tratamento implantados, em diversos parâmetros físico-químicos e biológicos.

1 CAPÍTULO 1 – O PROCESSO PARTICIPATIVO NA CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

1.1 INTRODUÇÃO

Apesar do avanço da cobertura dos serviços de saneamento nas áreas urbanas, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), nas zonas rurais a situação ainda continua com atendimento precário, tendo inexpressiva cobertura em toda a extensão territorial do Brasil.

Esses fatos não são diferentes em assentamentos de reforma agrária, onde as preocupações em relação aos sistemas de esgotamento sanitário também dizem respeito à falta de conhecimento e de assessoria técnica, o que deve ser solucionado com projetos sociais participativos com a comunidade envolvida, de forma educativa e desalienante.

A construção de espaços que proporcionem momentos de diálogos e troca de experiências, unindo o saber científico e popular, é de suma importância, em se tratando de pesquisas e projetos de caráter extensionista. É nesses momentos que autores e atores se encontram para discutir a problemática da realidade em que estão inseridos e, dentro de uma dimensão participativa, conseguem conceber e construir algo coletivamente.

Nessa perspectiva, neste capítulo será explicitado o processo participativo que se deu na concepção e na implantação de sistemas para o tratamento local de efluentes sanitários residenciais, no assentamento rural Olga Benário. Como pesquisa social metodológica, utilizou-se a pesquisa-ação, de forma a viabilizar a interação entre autores e atores na proposição de tecnologias de tratamento de efluentes domésticos mais apropriados à realidade local.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 Saneamento Rural

Investimentos em saneamento no Brasil foram, historicamente, concentrados em políticas voltadas para os grandes centros urbanos, em detrimento da área rural e dos pequenos municípios. Como consequência desta prática, grande parcela da população não tem acesso aos serviços básicos de saneamento, acarretando em problemas de saúde pública e impactos ambientais. Segundo Funasa (2007), a utilização do saneamento como instrumento de promoção da saúde pressupõe a superação dos entraves políticos e gerenciais que têm dificultado a extensão dos benefícios aos residentes em áreas rurais e municípios de pequeno porte.

Como forma de buscar a universalização do acesso, a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade dos serviços de saneamento básico, a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais, dentre outros aspectos, foi elaborada a Política Nacional de Saneamento Básico, Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), que estabelece as diretrizes para o saneamento básico no país, priorizando o atendimento às populações tradicionais e rurais. Porém, na prática, essas ações ainda deixam a desejar, principalmente no que diz respeito ao saneamento no meio rural.

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 (IBGE, 2010), em apenas 28% dos municípios brasileiros há tratamento de esgoto. Mesmo na região sudeste, onde 95,1% dos municípios contam com coleta de esgoto, menos da metade (48,4%) trata o esgoto doméstico. Apesar disso, houve um aumento considerável do percentual de esgoto coletado que recebe tratamento, que passou de 35%, em 2000, para 68,8%, em 2008.

Ainda, segundo dados das pesquisas PNAD e PNSB de 2008, 73% dos domicílios sem água potável estão localizados em áreas rurais, onde a incidência de domicílios sem banheiro ou sanitários é três vezes maior nos do que na área urbana.

Desde 2004, a Funasa vem atuando na área de saúde e saneamento em comunidades rurais, atendendo às áreas especiais, a populações tradicionais (quilombolas e indígenas) e aos assentamentos de reforma agrária, entre outras comunidades rurais, intensificando sua atuação na primeira década do século XXI. De 2004 a 2010, foram 13 comunidades de reservas extrativistas, 421 comunidades quilombolas, 456 assentamentos rurais e 1.171 demais comunidades rurais atendidas com ações de saneamento pela Funasa (FUNASA, 2011).

Em relação aos assentamentos rurais de reforma agrária, estes estão apoiados por uma política de crédito de diferentes fontes de financiamento, como pelo Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA) que, dentro de alguns créditos e fomentos, garante o financiamento da construção de moradias e sistemas de esgotamento sanitário, por meio do Programa Crédito de Instalação.

1.2.2 Saneamento rural: investimentos em assentamentos de reforma agrária

O INCRA, por meio do Plano Nacional de Reforma Agrária, atribui às famílias o direito de acesso à terra mediante a desapropriação da propriedade rural pelo governo federal, sendo responsável por orientar ações importantes para a fixação da família, como assistência técnica, créditos e benefícios, bem como infraestrutura econômica e social (OLIVEIRA e MARAFON, 2006). Por meio da Norma de Execução 67/2007 (INCRA, 2007), que estabelece o Programa de Crédito Instalação, concede créditos nas seguintes modalidades: apoio inicial, aquisição de materiais de construção, fomento, adicional do semiárido, recuperação de materiais de construção e reabilitação do crédito de produção, sendo essa concessão de responsabilidade de suas superintendências regionais (SR). Segundo Cardoso *et al.* (2009), este programa tem o intuito de assegurar os meios necessários para a instalação e o desenvolvimento inicial e/ou recuperação dos projetos do Programa Nacional de Reforma Agrária.

No que tange à aquisição de materiais de construção, a Norma 67/2007 estabelece o seguinte:

DA APLICAÇÃO DOS RECURSOS

Art. 11. A modalidade Aquisição de Materiais de Construção admite: compra de itens necessários à construção da habitação rural e ao saneamento básico, permitindo-se, também, o pagamento de mão-de-obra até o limite de 15% do valor dos recursos.

DOS PRÉ-REQUISITOS

§1º. Na modalidade Aquisição de Materiais de Construção

V - o projeto das moradias deve estar aprovado pela comunidade, com planta e especificações técnicas assinadas por técnico habilitado, prevendo uma área mínima construída de 36 m², com utilização de materiais usuais em habitações rurais da região, garantia de saneamento básico, além de conforto térmico e respeito às peculiaridades e tradições locais.

Tendo em vista o baixo valor destinado à aquisição de materiais de construção (R\$ 15.000,00), é impossível considerar, simultaneamente, pagamento de mão de obra, serviço técnico específico e compra de materiais de construção para a execução de habitações com o mínimo de habitabilidade. Diante disso, o sistema de esgotamento sanitário, normalmente, nem é levado em consideração, ficando em segundo plano, o que acarreta, normalmente, na sua não execução.

Com isso, as habitações e os sistemas de saneamento são construídos pelos próprios assentados, em forma de mutirão autogerido, diminuindo os gastos com mão de obra. Esta se torna, então, a condição imposta pelos agentes financiadores às famílias assentadas.

1.2.3 Saneamento rural: sistemas mais apropriados

Segundo Phillipi, citado em Sabesp (2011), é fundamental uma leitura mais descentralizada do saneamento, e perceber que existem modelos que atendem melhor coletivamente e outros isoladamente. A instalação de serviços ou sistemas, sejam individuais ou coletivos, envolve diversos fatores que devem ser considerados, tais como a quantidade de pessoas por famílias atendidas, a disponibilidade de recursos financeiros e orçamentários, a dificuldade ou a disponibilidade de manancial apropriado, a alternativa tecnológica disponível ou a ser construída, a viabilidade social e econômica da alternativa/projeto e a gestão e sustentabilidade das ações e dos serviços.

A maioria das residências nas zonas rurais é distante uma das outras, o que inviabiliza, na maioria dos casos, a adoção de sistemas coletivos de tratamento de efluentes domésticos. Além disso, em habitações no meio rural, observa-se a segregação dos efluentes domésticos, sendo as fezes e a urina encaminhadas, normalmente, a uma fossa negra e o restante (águas servidas) é disposto diretamente no solo, o que leva à discussão a respeito de tecnologias de tratamento desses efluentes.

Os sistemas de saneamento sustentáveis, no que diz respeito à dimensão ecológica, abordam a segregação das correntes de efluentes domésticos em um ciclo das águas e em um ciclo de nutrientes e energia, conforme suas características em termos de volume, teor de nutrientes e contaminação biológica. Assim, urina e fezes se relacionam, predominantemente, com o ciclo dos nutrientes (água negra), enquanto as águas cinzas, provenientes de lavatórios, chuveiro, tanque e máquina de lavar, integram-se ao ciclo das águas (COHIM e COHIM, 2007).

Assim como os princípios acerca da sustentabilidade dos sistemas de saneamento, o conceito de tecnologia apropriada traz em si discussões sobre os princípios, estratégias e experiências, que enfatizam a interação e a indissociabilidade entre as dimensões institucional, ecológica, social, econômica e cultural.

Segundo Van Kaick (2002), as tecnologias apropriadas viabilizam subsistemas sociais e podem servir como exemplo de um projeto social alternativo, porém, a tecnologia apropriada, quando desconhecida, pode gerar certa desconfiança por parte da comunidade. Portanto, o trabalho de implantação de uma nova tecnologia exige estratégia em que os indivíduos da comunidade participam do processo de implantação e acompanhamento, observando as possíveis falhas e acertos dos sistemas.

Sem a participação da comunidade durante a implantação da tecnologia, o processo pode não ser internalizado, o que inviabiliza a continuidade de qualquer tecnologia implantada, principalmente em se tratando de comunidades rurais. De acordo com Coelho (2005), os objetivos e os métodos não são dados pela tecnologia disponível, nem existem *a priori* da reflexão partilhada e, sim, são construções socialmente orientadas.

As tecnologias de saneamento mais apropriadas devem ter como base as demandas expressas e as necessidades da população local. Nesse sentido, Lobo (2008) aponta que é tarefa fundamental atender a demandas concretas da população, que fomentem a organização e a coesão da comunidade. Um importante aspecto a ser analisado é a demonstração, pela comunidade beneficiada, do real interesse na participação ativa em todo o processo de implantação do sistema tecnológico (BREGNHOJ, 2005).

Torna-se importante que a população tenha acesso às informações, com a criação de espaços de diálogo, projeto e construção do conhecimento de forma coletiva e horizontal, sem hierarquização dos saberes (LOBO, 2008). Em se tratando de populações rurais, pode-se dizer que estas carecem de informação e assistência técnica especializada, resultando na ausência ou precariedade de sistemas de tratamento de efluentes. Segundo Martinetti (2009), as realidades são ímpares, portanto, devem ser desenvolvidas soluções mais apropriadas às particularidades de cada família e região do país, oferecendo alternativas que apresentem facilidades na sua implantação, execução e manutenção, com viabilidade econômica e ambiental.

Segundo Bregnhøj (2005), os projetos de sistemas mais apropriados para população rural podem ser analisados sob diversos aspectos, entre os quais os mais relevantes são os seguintes:

-tecnologicamente apropriados: as construções de sistemas de abastecimento de água e de saneamento devem ser robustas o bastante para serem duradouras e simples o bastante para serem de fácil operação e manutenção pela população local;

-institucionalmente apropriados: a operação e a manutenção local dependem do acesso e do suporte de órgãos competentes, para maiores detalhamentos técnicos;

-social-economicamente apropriados: os sistemas devem estar de acordo com as possibilidades financeiras da população;

-culturalmente apropriados: as tecnologias de saneamento devem estar de acordo com os aspectos culturais de higiene da população, para não haver grandes contrastes com a realidade local.

Torna-se, então, necessário elaborar estratégias diferenciadas que respeitem a identidade local, com uma visão mais sistêmica, não apenas do ponto de vista da infraestrutura, mas que considerem as características regionais de cada localidade, onde vai acontecer a ação ou o projeto de saneamento básico e, até mesmo, os modelos que podem ser reconstruídos a partir de cada realidade concreta (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

Em comunidades isoladas, principalmente rurais, sistemas de tratamento de efluente doméstico individuais estão sendo mais amplamente implantados por órgãos responsáveis, como a FUNASA e o INCRA. Alguns sistemas que estão sendo implantados:

- banheiro seco compostável: sistema de armazenamento e tratamento de dejetos humanos sem o uso de descarga hidráulica;
- tanque séptico/filtro anaeróbio: sistema de tratamento primário/secundário de efluente doméstico, composto por um tanque de decantação/digestão e um filtro biológico anaeróbio;
- fossa biodigestora: sistema desenvolvido pela Embrapa, composto por três tanques, para o tratamento de água negra residencial.

Diante do exposto, o desafio, então, é construir sistemas mais apropriados de tratamento de efluentes, por meio de um processo que seja participativo e que possibilite a apropriação do conhecimento, de acordo com a realidade local. A pesquisa-ação é um método de pesquisa social, de ação participativa, que facilita e proporciona uma interação entre o pesquisador e a comunidade na construção do conhecimento.

1.2.4 Pesquisa-ação como processo participativo

Freire (1985) explora o termo “extensão” a partir do seu sentido linguístico, em que, em poucas palavras, se resumiria ao ato de estender algo a alguém, ou, na relação extensionista/produtor, estender o conhecimento a alguém, ação esta de cima para baixo, de forma dominadora, em que o produtor é objeto e não sujeito, que o próprio autor caracteriza como “invasão cultural”.

Mas, qual extensão acredita-se, defende-se e pratica-se? Freire (1985) diz, com toda razão, que conhecer não é o ato por meio do qual um sujeito transformado em objeto recebe, dócil e passivamente, os conteúdos que outro lhe dá ou lhe impõe. O conhecimento, pelo contrário, exige uma presença curiosa do sujeito em face do mundo. Requer uma ação transformadora sobre a realidade.

O mesmo autor afirma que os grupos populares não são meros objetos de pesquisa, mas sujeitos do conhecimento, pois só se pode conhecer a realidade com a participação deles. Segundo Silva (1991), a pesquisa participante representa uma convivência do pesquisador com as pessoas reais e, por meio delas, com culturas, grupos sociais e classes populares, compartilhando com estes momentos de aproximação no interior de seu cotidiano.

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa participativa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1996).

Na fase de definição da pesquisa-ação, uma condição necessária consiste na elucidação dos objetivos e, em particular, da relação existente entre os objetivos da pesquisa e os objetivos de ação. O objetivo prático contribui para o maior equacionamento possível do problema, considerado como central na pesquisa, com levantamento de soluções e propostas de ações para auxiliar o agente na sua atividade transformadora. Com natureza bastante imediata, os objetivos práticos propõem soluções, quando for possível, no auxílio de soluções correspondentes ou, pelo menos, fazer progredir a consciência dos participantes, no que diz respeito à exigência de soluções e de obstáculos (THIOLLENT, 1996).

Já o objetivo do conhecimento, obtém informações que seriam de difícil acesso por meio de outros procedimentos, aumentando o conhecimento de determinadas situações (reivindicações, representações, capacidade de ações ou de mobilização, etc.). A pesquisa-ação visa manter algumas condições de

pesquisa e algumas exigências de conhecimento associadas ao ideal científico (THIOLLENT, 1996).

Nesse sentido, pode-se dizer que a pesquisa-ação é uma orientação de pesquisa cuja aplicação, experimentação ou intervenção não excluem outros recursos técnicos mais convencionais que permanecem necessários em determinadas circunstâncias. Thiollent (1996) admite o uso de dispositivos comuns, como entrevistas e questionários, ressaltando, todavia, a necessidade do devido controle dos problemas de natureza qualitativa e quantitativa que essas técnicas carregam.

Nesse processo, a pesquisa-ação admite que os pesquisadores profissionais envolvidos possam trazer a bagagem teórica que possuem para estabelecer explicações e interpretações adequadas, não devendo, porém, monopolizar a interpretação dos dados, devendo, constantemente, submetê-la aos grupos implicados.

1.2.5 Autogestão como reprodução da força de trabalho

A autogestão como prática para a solução do problema habitacional surgiu no Brasil no bojo do movimento dos anos 1980, de forma não consciente e não previamente definida (BONDUKI, 1992). Segundo Conti (1999), para o surgimento da ideia de autogestão no Brasil foi marcante a experiência do cooperativismo uruguaio que, por meio de uma organização popular, deu origem a uma central de cooperativas habitacionais, de onde surgiram as primeiras formas de uma política habitacional na América Latina. Isso permitiu uma relação entre população organizada, técnicos e poder público, alcançando excelentes resultados em termos de qualidade e redução de custos nas obras.

A partir da experiência uruguaia, portanto, toma forma no Brasil, em campo habitacional, o conceito de autogestão como sendo o trabalho de construção e gestão administrativas realizado pelos futuros moradores reunidos em associações. A ideia era a de que essa prática, se introduzida e aplicada corretamente, pudesse ter a abrangência que teve no Uruguai, qual seja, solucionar, também de forma coletiva, outros problemas sociais comuns,

como criação de postos de saúde, creches, bibliotecas, cooperativas de consumo, etc.

Era necessária, portanto, uma adequação dessa prática às características brasileiras e isso só foi possível graças ao apoio de técnicos, permitindo que líderes e participantes se aprimorassem quanto às potencialidades da autogestão, no contexto nacional. Sem essa interação, seria impossível para o movimento habitacional formular programas alternativos, estabelecer formas de controle da ação do poder público e assumir inteiramente a gestão do processo de produção de moradia. Defendendo a ideia de que a produção das casas deveria ser controlada pelos próprios moradores organizados, conceito central do mutirão autogestionado, o movimento apoiava um processo de autoconstrução e de mutirão, com o governo atuando no sentido de garantir recursos e verbas.

Composto pelos chamados “mutirantes” e baseado no esforço coletivo e organizado das comunidades, o mutirão é uma alternativa para a construção de infraestruturas próprias. Como sistema de operação, o mutirão não é novo e, segundo Jacobi (1989), pode ser encontrado em todo o mundo, em diferentes momentos e com diversas aplicações. O mutirão caracteriza o processo de autoconstrução que, ainda de acordo com Jacobi (1989), responde, basicamente, às necessidades de satisfazer a determinadas necessidades sociais que não são supridas a contento.

Para Abiko (1992), o “mutirão habitacional” é uma evolução da modalidade da autoconstrução, justificada pela necessidade de resolver o problema habitacional nas sociedades capitalistas em crise. Essa forma de solucionar o problema habitacional ganhou muita importância diante do crescimento urbano fortemente influenciado pelo assentamento residencial da população migrante do campo. Para Maricato (1980), autoconstrução e mutirão são processos de trabalho calcados na cooperação entre as pessoas, na troca de favores, nos compromissos familiares, diferenciando-se, portanto, das relações capitalistas de compra e venda da força de trabalho.

Ainda, segundo Maricato (1980), o mutirão possibilita um maior contato do produtor com o produto, permitindo-lhe uma visão integrada de processo

produtivo e, portanto, um contato desalienante com o produto, já que o morador acompanha, decide e executa os mínimos detalhes da própria construção.

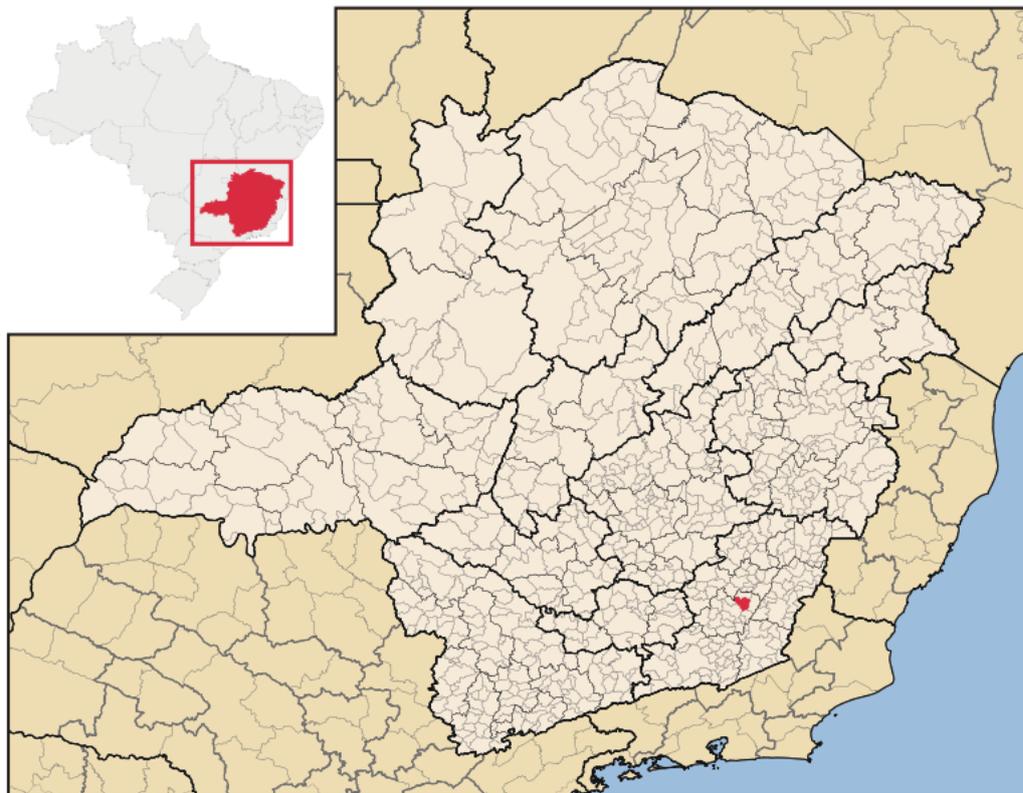
No entanto, para que seja viável a adoção de programas de mutirão habitacional num determinado contexto, faz-se necessária a escolha criteriosa dos procedimentos de gestão a serem utilizados. Apesar das inúmeras características positivas apresentadas, o mutirão não deve ser entendido como a única solução. Existem várias formas de se resolver o problema e o mutirão é uma alternativa a ser empregada em determinadas condições de organização da comunidade e de estrutura e capacitação técnica de apoio.

1.3 METODOLOGIA

1.3.1 Caracterização do local de estudo

O trabalho foi desenvolvido no Assentamento Rural Olga Benário, localizado na zona rural do município de Visconde do Rio Branco, MG (Figura 1.1). O município está situado na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais, cuja localização geográfica da sede do município é de 21°00'36" latitude sul e 42°50'27" longitude oeste. Tem uma área de, aproximadamente, 243 km² e, em 2010, a população era de 37.952 habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). Limita-se com os municípios de São Geraldo, Paula Cândido, Divinésia, Ubá, Guidoal e Guiricema e pertence à bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, tendo como principais afluentes os rios São Geraldo e São Clemente.

Figura 1.1 – Município de Visconde do Rio Branco, MG



Fonte: commons.org/File:Visconde_do_Rio_Branco

A área do assentamento conta com, aproximadamente, 12 nascentes que originam cursos d'água de regime intermitente, sendo o Santa Helena o principal rio que atravessa o seu interior (ELEODORO *et al.*, 2008). Um poço artesiano foi perfurado por uma equipe técnica do INCRA, porém, ainda não foi construído o reservatório para armazenamento da água. A água consumida pelas famílias, em sua maioria, provém de poços rasos ou direto das nascentes. Em se tratando de esgotamento sanitário, não existia nenhum tipo de tratamento de efluente doméstico no Assentamento, sendo a água negra destinada para a fossa negra e as águas servidas dispostas diretamente no solo. Quanto aos resíduos sólidos, como não há coleta de lixo no assentamento, os resíduos que não são recicláveis são queimados ou enterrados, e a parte orgânica é destinada à alimentação de animais.

O clima dominante na região é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico), com duas estações definidas, verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média anual é de 1.221,4 mm, sendo as máximas observadas no verão. O regime de chuvas, em toda a área, é irregular e tipicamente tropical. A

temperatura média anual é de 19,4 °C, sendo a média máxima anual equivalente a 26,4 °C e a média mínima anual, de 14,8 °C (ALMG, 2011).

A unidade geomorfológica que abrange a região é a depressão do rio Paraíba do Sul, que se estende do baixo curso do rio Paraibuna até uma área ao norte do rio Muriaé, prolongando-se, a leste, pelo estado do Rio de Janeiro. Para o interior de Minas Gerais, evolui até as escarpas da Mantiqueira, ao norte de Visconde do Rio Branco (Serra de São Geraldo); em direção ao centro do estado alonga-se pelos rios Pomba e Novo. Predominam, nesta unidade, formas de relevo em colinas côncavo-convexas, amplas planícies aluviais e alinhamentos de cristas isoladas, encontradas em dois níveis de antigas superfícies de aplainamento. O relevo é fortemente ondulado, com vales encaixados (INCRA, 2002).

O assentamento Olga Benário, criado em 2005, está localizado na antiga fazenda Santa Helena, ocupada em 14 de junho de 2005, organizado pelo Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) e pelo movimento estudantil das Universidades Federais de Viçosa, Juiz de Fora e Ouro Preto.

As famílias que participaram da ocupação eram provenientes de outros acampamentos da região metropolitana de Belo Horizonte e do sul do estado. Algumas delas, que já residiam na área, se integraram às demais, formando a comunidade do Assentamento Olga Benário. Como esta já era uma área vistoriada pelo INCRA, em vias de ser criado o assentamento, não houve conflito ou ameaça de despejo após a entrada na fazenda (NOGUEIRA, 2007).

Atualmente, o assentamento Olga Benário tem 27 famílias assentadas, que estão organizadas em três núcleos de base (Santa Helena, Lênin e União) e segundo algumas instâncias político-administrativas, quais sejam, a assembleia, que tem caráter deliberativo e informativo, e ocorre de acordo com a necessidade e a coordenação, que tem a função de levantar e discutir os problemas e demais assuntos de interesse geral do assentamento, dando os devidos encaminhamentos após consulta coletiva aos núcleos de base ou assembleia (CARDOSO *et al.*, 2009).

A divisão espacial e algumas características geomorfológicas do assentamento Olga Benário podem ser observadas na Figura 1.2. Segundo Eleodoro *et al.* (2008), a organização sócio-espacial do assentamento Olga

Benário contempla diferentes estratégias de sobrevivência dos camponeses. Isso porque as opções feitas pelos assentados, de espacialização da produção, da moradia e de formas de trabalho, se encaixam em um modelo que tem como mola mestra a produção familiar e a segurança alimentar, valendo-se, esporadicamente, de ajuda mútua (os mutirões) baseada em baixa tecnificação dos instrumentos de produção e uma relação íntima com a terra.

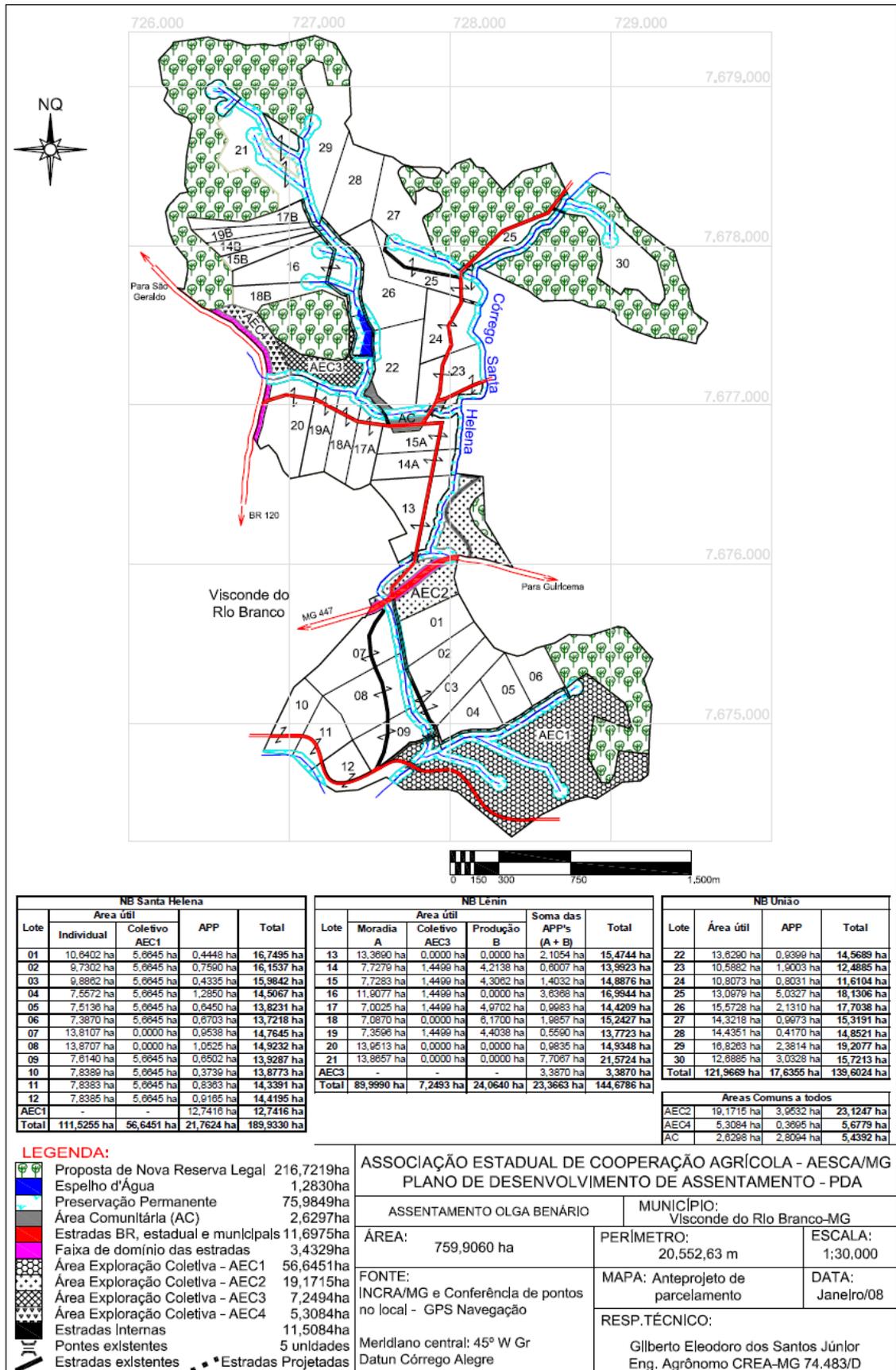
1.3.2 Ações desenvolvidas no assentamento com base em um processo participativo

A problemática inerente ao assentamento Olga Benário, que diz respeito a este trabalho, envolve a precariedade e a ausência de sistemas de tratamento de efluentes domésticos. Sabe-se que a situação geral do assentamento é precária, demandando diversas melhorias, porém, não fazem parte da discussão deste trabalho. Entretanto, como o processo de construção das moradias está atrelado aos sistemas de tratamento de efluente doméstico, os processos de discussão de ambos se deram concomitantemente.

A base metodológica do trabalho estrutura-se na pesquisa-ação, conforme Thiollent (1996), envolvendo a pesquisa social com base empírica, concebida e realizada em estreita associação com ações na resolução dos problemas coletivos de saneamento no Assentamento no qual houve o envolvimento dos pesquisadores e participantes representativos da situação, neste caso, os assentados, de modo cooperativo e participativo.

Para facilitar a interação com as famílias, as atividades foram inseridas na estrutura organizacional do assentamento, utilizando-se as instâncias já existentes, como os núcleos de base e as assembleias gerais. Novos espaços para o desenvolvimento de atividades específicas foram criados de forma consensual com as famílias e dirigentes do assentamento, de acordo com o surgimento de novas demandas.

Figura 1.2 - Mapa do Assentamento Olga Benário



Fonte: INCRA

De modo a sistematizar o planejamento das atividades junto à comunidade e otimizar o espaço-tempo da pesquisa, o estudo foi dividido, resumidamente, em três etapas.

Na primeira etapa, foram realizadas reuniões, principalmente com os Núcleos de Base, para o planejamento e a orientação das estratégias da pesquisa. De forma a levantar as expectativas das famílias e coletar dados acerca da realidade local, foram realizadas entrevistas, com o auxílio de um questionário estruturado.

Em um segundo momento, desenvolveram-se discussões sobre tecnologias mais apropriadas disponíveis em tratamento de efluentes domésticos e aspectos relativos à contaminação de água, utilizando-se, para isso, ferramentas ilustrativas, como a elaboração de croquis didáticos, e embasamentos teóricos.

Na terceira etapa da pesquisa, foram realizadas oficinas teórica/práticas, com o objetivo de estreitar melhor a relação entre o produto (sistemas de tratamento) e o produtor (assentados), sendo a autoconstrução a condição imposta aos assentados pelos agentes financiadores.

1.3.2.1 Reuniões com as famílias

As famílias e a equipe precisam se conhecer melhor, a fim de discutirem possíveis caminhos para a solução da problemática do saneamento ambiental. Neste momento, a participação de todos foi necessária para encaminhar as ações propostas, identificando e fomentando a liderança comunitária.

As reuniões com as famílias assentadas se deram em âmbito de núcleo e assembleias gerais, de modo que, inicialmente, houvesse o entendimento de todos sobre o projeto e, no decorrer do tempo, as metas e os objetivos fossem contemplados.

Para que não houvesse um desgaste demasiado das famílias sobre um assunto específico e dentro de um espaço único demandado, privilegiou-se colocar em pauta as discussões inerentes ao saneamento, dentro das reuniões já pré-estabelecidas pelos núcleos do assentamento.

1.3.2.2 Levantamento das expectativas e a realidade local

Com base em Freire (1985), que considera os grupos populares não meros objetos de pesquisa, mas do conhecimento e em Silva (1991), segundo o qual a convivência do pesquisador com a comunidade proporciona o compartilhamento de momentos de aproximação no interior de seu cotidiano, foram realizadas entrevistas, em todas as propriedades do assentamento, com o objetivo de vivenciar e observar o modo de vida de cada família, com uma percepção apurada referente aos aspectos que dizem respeito ao saneamento. Para facilitar o levantamento de dados, foi utilizado um questionário estruturado, com perguntas geradoras, conforme Tabela 1-1.

A concepção do questionário foi intimamente relacionada com o tema e os problemas que foram levantados nas discussões iniciais. Com a constatação dos problemas e dos anseios de cada família, a discussão voltou aos caminhos seguidos para o planejamento e a execução das atividades inerentes ao projeto.

Tabela 1-1 - Fragmento do questionário elaborado para coleta de dados no Assentamento Olga Benário

Família (nome do casal):

Número total de integrantes:

Núcleo:

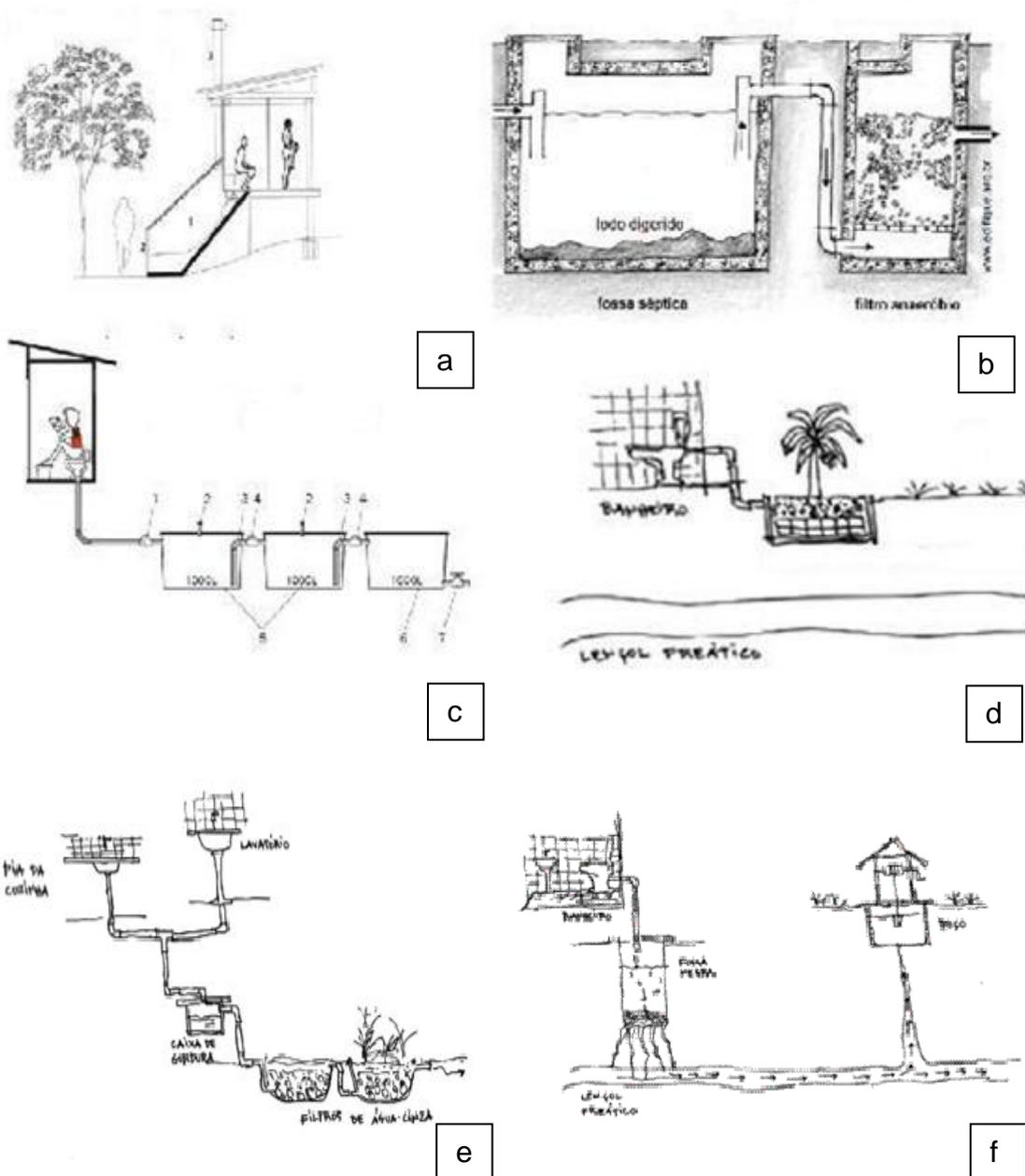
1. Como pretende resolver o problema do saneamento?
 2. De onde vem a água?
 3. Conhece alguma técnica de tratamento de esgoto? Qual?
 4. Utilizaria algum sistema não convencional?
 5. Algum membro da família exerce atividade de canteiro de obras?
-

1.3.2.3 Discussão sobre os modelos de tratamento de efluentes domésticos

Após o entendimento da relação entre as famílias, a água consumida e, principalmente, a destinação dos efluentes domésticos, além da expectativa de cada família diante do projeto, criaram-se espaços para a discussão sobre os diversos sistemas de saneamento e a problemática acerca da contaminação

das águas (Figura 1.3). A escolha das tecnologias para discussão juntamente com os assentados tem como base conceitos e aspectos dos sistemas mais apropriados à realidade local.

Figura 1.3 - Recorte dos esquemas ilustrativos de modelos de sistemas de esgotamento sanitário: (a) banheiro seco compostável; (b) tanque séptico e filtro anaeróbio; (c) fossa biodigestora; (d) tanque de evapotranspiração; (e) *wetland* construído; (f) fossa negra e contaminação de água subterrânea



1.3.2.4 Oficinas de saneamento

As oficinas tiveram como objetivo principal a capacitação e a formação das famílias, desde a conscientização da importância do saneamento e suas ações (abastecimento de água, esgotamento sanitário, poluição das águas) até a concepção, a construção e o monitoramento dos sistemas de esgotamento sanitário.

Pretendeu-se dar ênfase nas dimensões participativas, ideológicas e culturais, durante as oficinas, envolvendo os membros do assentamento com experiência na construção civil, reapropriando o conhecimento com a troca de saberes.

1.3.2.5 Construção das unidades experimentais

A construção das unidades experimentais de tratamento partiu de uma demanda do assentamento, de forma a permitir melhor concretização das discussões sobre saneamento, da capacitação das famílias para a construção e a gestão dos sistemas e, posteriormente, a avaliação do seu funcionamento.

Como a autoconstrução foi a condição imposta aos assentados, essa fase de projeto se tornou essencial. Além disso, esta etapa proporcionou uma avaliação de diversos aspectos construtivos, durante e após as construções, como as dificuldades enfrentadas no canteiro de obras, os materiais de construção realmente necessários, assim como as mudanças que podem ser realizadas para a melhoria de diversos aspectos construtivos. Após a finalização das obras e o início do funcionamento das unidades, foi também realizada a avaliação da eficiência de tratamento, que será abordada no capítulo 2.

1.4 RESULTADOS

O desenvolvimento dos trabalhos relacionados às moradias no assentamento Olga Benário teve início em 26 de março de 2008, pelo projeto

Terra Crua¹, quando se iniciaram as primeiras reuniões, no intuito inicial de promover a integração da equipe de trabalho e a apresentação efetiva do panorama geral do projeto. No dia 29 de março de 2008, foi realizada a primeira visita ao assentamento, com o objetivo de promover a sensibilização, a percepção do espaço e a compreensão da demanda em relação à realidade percebida.

Essa visita teve um caráter investigativo de pesquisa empírica exploratória, em que, segundo Marconi e Lakatos (2003), obtêm-se, frequentemente, descrições qualitativas do objeto de estudo e o pesquisador deve conceituar as inter-relações entre as propriedades do fenômeno, fato ou ambiente observado. Segundo Valeska (2011), as visitas ao local constituem importante ferramenta de estudo dentro de uma pesquisa qualitativa, em se tratando de estudos de caso.

Diante das visitas realizadas, e com um olhar mais atento às questões referentes ao saneamento, foi possível constatar a predominância de sistemas rudimentares de disposição de esgoto doméstico, como fossas negras, a ausência de qualquer tipo de tratamento de águas residuárias, a prática já existente da segregação dos efluentes nas residências, como também identificar as possíveis fontes de contaminação de poços e minas de captação de água. Valeska (2011), analisando a situação sanitária do assentamento rural Estrela do Norte, em Montes Claros, MG, constatou que 52% das residências dispõem a céu aberto os efluentes domésticos e 48%, em fossas negras. Já Martinetti (2009) observou que a disposição do efluente é predominantemente por meio do uso de fossas negras, no assentamento Sepé-Tiaraju, em Ribeirão Preto, SP. Em relação à segregação dos efluentes domésticos, Larsen (2010) constatou, em seu estudo, que 95% das residências rurais da bacia do rio Verde dispõem de forma segregada as águas residuárias.

O segundo passo, após a visita ao assentamento, foi o diálogo com as lideranças locais, para o esclarecimento e a apresentação de um panorama geral do local, com a demanda concreta e a elaboração mínima de um cronograma com as principais datas limite.

¹ Projeto “Terra Crua: A participação das famílias nos projetos de habitação, saneamento e produção em Assentamento de Reforma Agrária”

Durante o ano de 2009, diversas atividades foram, então, desenvolvidas na elaboração das primeiras tipologias de habitação, em um processo participativo com os assentados, futuros moradores das novas residências. Como o projeto esbarrou em dificuldades sociais, econômicas e técnicas, o desenvolvimento do projeto arquitetônico se estendeu por um longo período de tempo.

A problemática inerente aos sistemas de tratamento de efluentes ao longo desse processo começou a tornar-se foco das discussões, principalmente durante as visitas *in loco* nas residências das famílias, que aconteceu em meados de 2009. Para tanto, foram realizadas entrevistas, que consistiram em um procedimento utilizado na investigação social, para a coleta de dados e para ajudar no diagnóstico e tratamento de um problema social. Para isso, foi elaborado um questionário estruturado, de modo a nortear as conversas com as famílias. Essas entrevistas contaram também com algumas questões relevantes ao projeto das habitações e, como não são o foco da discussão deste trabalho, não serão elucidadas.

Com base nos dados coletados, foi possível averiguar, de modo geral, que a situação, em se tratando de saneamento básico, era precária, além do desconhecimento das famílias acerca de sistemas de tratamento de efluentes domésticos. Outro dado importante coletado foi a existência de assentados com experiência em construção civil, o que pode ser útil na construção dos sistemas de tratamento. Foi percebida também certa preocupação em relação aos banheiros, diante de comentários, em vários momentos, em relação a “onde despejar o esgoto”, reforçando a importância de evitar a poluição das águas. Isso levou à conclusão de que a percepção dos impactos ambientais e a preservação do meio-ambiente está em processo avançado no assentamento, o que poderia facilitar o processo de mobilização e decisão referente às tecnologias de tratamento a utilizar.

Diante disso, optou-se por fazer um levantamento, na literatura, de alguns sistemas de tratamento de esgoto que fossem mais apropriados à realidade local e apresentá-los às famílias, em uma reunião geral. Martinetti (2009) acredita que esse processo permite que as pessoas possam ter acesso a diversas técnicas e tecnologias, possibilitando a comparação com os

sistemas já utilizados pelos mesmos. Além disso, segundo a mesma autora, indiretamente, as famílias podem fazer uma análise da sustentabilidade dos sistemas, sobre seus pontos de vista e conseguem questionar a sua realidade.

Como observado durante as visitas, há um grande distanciamento entre as residências do assentamento, optando-se por sistemas individuais de tratamento, que fossem mais apropriados à realidade local, atrelados ao baixo recurso financeiro e crédito de aquisição de materiais de construção. Os sistemas apresentados foram: banheiro seco compostável, tanque séptico/filtro anaeróbio, tanque séptico/sumidouro, tanque de evapotranspiração, *wetland* construído e fossa biodigestora.

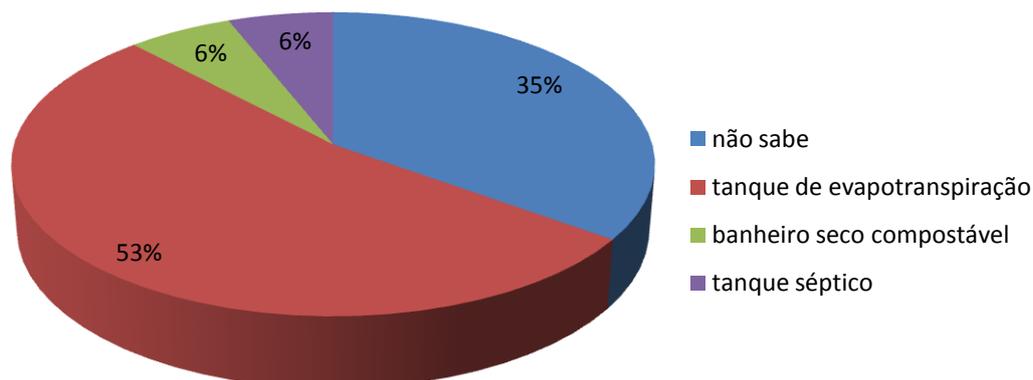
Somando a isso, para facilitar o entendimento dos assentados em relação a contaminação das águas superficiais e subterrâneas por esgoto doméstico lançado em fossas negras e *in natura* nos cursos d'água, foram demonstrados alguns croquis com ilustrações didáticas. Com isso, observou-se um aumento considerável em relação à preocupação das famílias com a discussão acerca da possibilidade de contaminação dos poços de captação de água, sendo essa discussão prolongada por um longo período de tempo. Com isso, o tempo para a explanação dos sistemas de tratamento de efluentes diminuiu, impossibilitando o esclarecimento de todas as dúvidas geradas.

No momento da apresentação do banheiro seco compostável, observou-se que as pessoas tiveram certa aversão, por ser um sistema mais rudimentar e representar para elas um retrocesso, pois a maioria associou ao sistema do tipo latrina, ou fossa seca. Além disso, a necessidade de retirada do composto e a possibilidade de utilizá-lo na agricultura também não agradaram a maioria. Esse fato também foi observado por Martinetti (2009), ao apresentar o banheiro seco aos assentados do Sepé-Tiaraju. Apenas uma pessoa se interessou pela construção desse sistema em sua propriedade, pois, de acordo com o assentado, a área de plantio é distante de sua residência e há ausência de banheiro no local.

No término da reunião já foi possível identificar, de modo geral, os sistemas de tratamento de maior interesse (Figura 1.4). Porém, apenas algumas pessoas opinaram pelo sistema que mais as agradou, tendo a maioria sido levada pela decisão de poucos. Este fato também foi relatado por

Martinetti (2009), em cujo estudo apenas alguns assentados opinaram no processo de escolha dos sistemas.

Figura 1.4 – Resultado referente ao interesse dos assentados pelos sistemas de tratamento de efluente doméstico



Muitas dúvidas ainda permaneciam com os assentados, principalmente em relação aos aspectos construtivos, funcionamento e operação dos sistemas. Martinetti (2009), durante a explanação dos sistemas de tratamento para os assentados, relatou que as variáveis mais questionadas foram o custo de construção e a forma de operação e manutenção dos sistemas. A questão do custo também foi foco de discussão no Olga Benário, diante do pequeno recurso disponível para a construção das habitações.

Diante disso, foram realizadas oficinas teóricas na antiga escola do assentamento, sendo divididas em grupos de acordo com o Núcleo de Base, para facilitar a aproximação e o diálogo com cada assentado. Essa estratégia metodológica facilitou a troca de experiências e saberes da equipe de trabalho com os assentados, com a construção do conhecimento acerca do assunto discutido e problematizado. Diante de um consenso, decidiu-se que seriam construídos sistemas para o tratamento de águas residuárias segregadas, sendo o tanque de evapotranspiração (TEvap) para águas negras e *wetland*

construído (WC) para águas cinzas, denominados pelos assentados de fossa das bananeiras e filtro, respectivamente. Utilizando-se essas denominações, verificou-se maior facilidade para distinguir esses sistemas dos demais, além de tornar mais fácil a memorização dos nomes.

A escolha do TEvap se deu, principalmente, por ser um sistema que possibilita o uso de espécies comestíveis, como bananeiras e taiobas, em sua estrutura funcional. Porém, algumas pessoas questionaram sobre a confiabilidade de os alimentos estarem isentos de contaminação fecal. O processo de decisão desse sistema repercutiu grandes discussões, pelo *design* diferenciado do sistema de tratamento, gerando interesse e curiosidade pelo sistema arrojado. Com isso, o tratamento de águas cinzas não foi levado muito em consideração, por ser também menos preocupante para as famílias. Esse fato constatado nas visitas *in loco*, quando se observou que as águas cinzas são dispostas diretamente no solo, próximo às residências.

Definidas, então, as unidades de tratamento, partiu-se para a etapa de projeto e construção. Optou-se por realizar uma oficina prática para a construção dos sistemas, pois, de acordo com Cardoso *et al.* (2009), no programa Crédito de Instalação, regulamentado pelo INCRA, cabe à família a função de coordenar o processo, não havendo acompanhamento sistemático da obra por arquitetos, engenheiros civis e demais profissionais relacionados à área. Ao técnico fornecido pelo INCRA cabe a função apenas de aprovar a liberação dos recursos de acordo com as fases da obra, executada pelas famílias em regime de mutirão e, geralmente, sem capacitação para a realização de atividades de canteiro de obras.

A primeira oficina prática foi realizada na casa do dirigente do assentamento, com a construção do TEvap, aberta à participação de todos os assentados, em um processo de mutirão autogerido. A escolha do local de construção foi decidida em uma assembleia geral, respeitando-se as tomadas de decisão e instâncias do assentamento. Esse processo construtivo foi também realizado no intuito de avaliar a participação e a afinidade dos assentados, e o desenvolvimento das atividades de canteiro de obras em mutirão.

As oficinas contaram com a participação de uma pequena parcela dos assentados, não cumprindo o objetivo inicial da atividade, pela dificuldade de organização das famílias, fato também constatado por Martinetti (2009), na construção participativa de tanques sépticos no assentamento Sepé-Tiaraju. Além disso, essa situação foi resultado da dificuldade de sincronização dos tempos da equipe com o das famílias, pois a vida do camponês depende de dedicação exclusiva à produção agrícola, reservando os finais de semana para descanso e atividades religiosas.

A construção do TEvap teve a participação da família beneficiada e de alguns assentados que participaram de apenas algumas etapas construtivas. Percebeu-se que os que participaram tinham alguma experiência em construção civil, contribuindo para a melhoria de vários aspectos práticos e técnicos construtivos. Além disso, os assentados que participaram tinham uma afinidade maior com os moradores, fazendo parte do mesmo núcleo de base, o que corrobora a proposta do assentamento, na construção das habitações na forma de mutirão, separados por núcleo.

O banheiro da casa beneficiada estava em fase de acabamento, sem piso e vaso sanitário. Isso perdurou por um longo período de tempo, por dificuldades financeiras e de tempo do morador, o que impossibilitou a avaliação do desempenho de tratamento do sistema implantado. Além disso, o sistema de tratamento de água cinza não foi executado, devido ao desinteresse do próprio morador e à perspectiva remota de entrar em funcionamento, devido ao atraso nas construções das instalações hidráulicas na residência.

Diante da impossibilidade de acompanhamento do sistema de tratamento e da proposta dos assentados da construção das habitações em mutirão por núcleo de base, foi proposta, em uma reunião com os coordenadores, a construção de um sistema de tratamento em cada núcleo, contendo as duas unidades de tratamento (TEvap e WC). Após essa discussão, os coordenadores levaram a proposta para a assembleia geral, de modo a decidir quem seriam os beneficiários.

A estratégia foi construir nas residências dos assentados que tinham maior experiência na construção civil, possibilitando a capacitação para a construção dos sistemas de tratamento, pois serão estes os mestres de obra

de cada núcleo, no momento em que forem construídas as futuras habitações. Shimbo e Ino (2005) utilizaram estratégia semelhante, capacitando um grupo de assentados na construção de uma casa-modelo, para que fosse peça-chave na construção das futuras casas do assentamento.

A etapa inicial desse processo foi a sistematização de alguns dados levantados pelo questionário e visitas, além de revisões, na literatura, para a elaboração do projeto arquitetônico dos sistemas de tratamento. Um dado importante para o início de projeto é o número de habitantes em cada residência, considerando que, no assentamento, há, em média, cinco habitantes por moradia, dado levantado na sistematização das entrevistas.

Trabalhou-se com uma média per capita por habitação, para que houvesse um menor número de modelos de projetos enviados ao INCRA, pois isso facilitará o processo de aprovação dos mesmos. Isso se deu tanto para os modelos de habitação como para os sistemas de tratamento. Além disso, como uma das propostas é o monitoramento dos sistemas de tratamento, sistemas com as mesmas dimensões e demais aspectos construtivos, daria maior confiabilidade às análises estatísticas dos sistemas entre si, variando apenas o número de habitantes, de modo geral.

Para dar início à execução das obras, e tendo em vista a pequena participação na primeira oficina e o anseio de aumentar a participação dos assentados em todo o processo, aproveitou-se uma atividade referente à habitação, para a demonstração e discussão do TEvap implantado. Essa atividade contou com uma visita direcionada ao sistema de tratamento e a elaboração de um informativo técnico e demonstrativo das fases construtivas do TEvap a ser visitado (Figura 1.5).

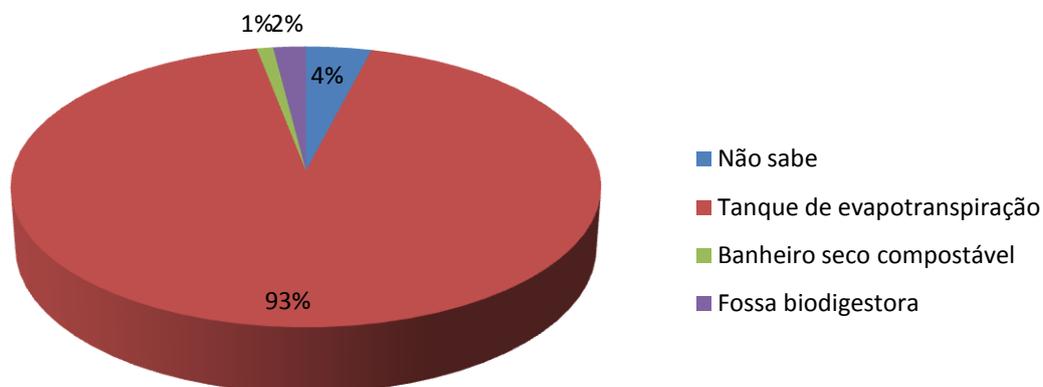
A inserção de fotografias no informativo técnico, feitas durante a construção, detalhando as diversas etapas e aspectos construtivos, facilitou a melhor compreensão do sistema.

Figura 1.5 - Oficina realizada com as famílias do assentamento



A atividade, em geral, durou o dia todo, sendo a parte do saneamento reservada para o período da tarde. No primeiro momento, foi abordado o objetivo geral, fazendo-se uma retrospectiva, desde o processo de escolha até o momento atual. Nesse momento, algumas pessoas se justificaram por não terem comparecido à oficina de construção do TEvap, dizendo que tinham outras demandas e algumas outras disseram que não estavam sabendo da atividade. Em um dado momento, uma pessoa questionou a possibilidade de construção da fossa biodigestora, dizendo que o custo era mais baixo e de mais fácil construção. Isso gerou pouca discussão, pois todos entendiam que a decisão já estava tomada, por consenso, pela construção do TEvap, e não havia como construir mais de um modelo, por questões operacionais. Com isso, levantaram-se as decisões acerca do interesse dos assentados pela tecnologia escolhida (Figura 1.6).

Figura 1.6 - Resultado referente ao interesse dos assentados pelos sistemas de tratamento de efluente doméstico após oficina



Em novembro de 2011 tiveram, então, início as construções dos sistemas de tratamento. A primeira fase foi a definição da localização da obra, juntamente com a participação dos moradores beneficiados. Para tanto, foram discutidos diversos pontos, como distância das moradias em relação ao curso d'água, nascentes, poços de captação de água, área de plantio e as futuras residências a serem construídas. Também foram discutidos aspectos relacionados à declividade do terreno.

A segunda fase foi a escavação do terreno, que contou com o auxílio de uma retroescavadeira. Esta etapa da obra aconteceu pela decisão de os sistemas serem construídos abaixo do nível do terreno, devido, principalmente, à necessidade de se ter o escoamento do efluente por gravidade, e o relevo próximo às residências não proporcionava alternativa diferente. O uso da máquina também diminui o tempo que seria gasto na escavação manual, tempo este precioso para os agricultores, devido ao plantio, principalmente nessa época do ano.

Terminada essa etapa em todas as residências, a terceira fase foi a construção propriamente dita dos sistemas de tratamento, que contaram apenas com a participação dos moradores beneficiados. Optou-se por construir

o TEvap e WC paralelos, na perspectiva de elaboração de um projeto arquitetônico de sistema compacto e integrado. A construção conjunta das duas unidades foi executada apenas na casa de Tião e Marli, utilizando-se apenas uma parede para a divisão dos sistemas, reduzindo o orçamento.

Durante a fase construtiva dos sistemas, por meio de solicitação dos técnicos da Brigada Manoel Marulanda², atuantes no Olga Benário, e do dirigente do assentamento, foi realizada mais uma atividade, com o objetivo de demonstrar o andamento das construções e tentar aproximar ainda mais os assentados nos processos decisórios em relação aos aspectos construtivos e operacionais. O sindicato do município de Visconde do Rio Branco, MG e o assentamento Dennis Gonçalves, localizado em Goianá, MG, foram convidados a participar, porém, não compareceram.

Essa atividade foi realizada durante uma tarde, em um final de semana, e contou com a presença, principalmente, das famílias envolvidas nas construções, dos técnicos do MST e de alguns poucos assentados. Em um primeiro momento, foi demonstrado, mais detalhadamente, o funcionamento dos sistemas e, desta vez, dando ênfase ao tratamento de água cinza, até então pouco elucidado e discutido entre as famílias do assentamento. Com isso, pode-se perceber um maior interesse pela unidade, principalmente pelo aspecto estético e paisagístico que proporciona, na utilização de vegetação no processo de tratamento. A discussão mais detalhada acerca dos aspectos construtivos e do andamento das obras foi realizada durante a visita a uma das residências beneficiada pelo projeto (Figura 1.7).

² A Brigada Manoel Marulanda é uma entidade vinculada ao Movimento dos Sem Terra (MST) que atua na região da Zona da Mata de MG.

Figura 1.7 - Oficina realizada com as famílias do assentamento Olga Benário



Nesse momento, algumas questões, como instalações e componentes hidráulicos, foram levantadas pelos assentados, principalmente devido às peculiaridades de cada local. Isso foi importante, pois, apenas nesse momento é que foi possível discutir a respeito desses aspectos, como a caixa de gordura, elemento essencial na etapa de tratamento e ainda pouco abordado durante as outras atividades.

As construções foram divididas em etapas, pois era preciso o acompanhamento diário da obra e se ter uma melhor logística de entrega dos materiais de construção. Como era preciso terminar uma etapa em uma residência para começá-la na próxima e a época de construção ter sido em um período chuvoso, o tempo de execução das obras se prolongou por um período maior. Com isso, o período de amostragem para avaliação do tratamento dos sistemas diminuiu consideravelmente. O dimensionamento das unidades de tratamento, os aspectos construtivos e o monitoramento serão abordados no capítulo 2.

1.5 CONCLUSÕES

- A pesquisa-ação participativa proporcionou a aproximação dos pesquisadores com a comunidade, em que ambos puderam visualizar a problemática inerente ao saneamento no assentamento e as possibilidades de resolução desta questão;
- Com a diminuição do andamento das discussões e atividades referentes à habitação, diante das dificuldades proporcionadas pelo INCRA, a questão do saneamento foi tomada como prioridade pela comunidade;
- O uso de croquis didáticos e imagens de diversos sistemas de tratamento de efluente doméstico foi essencial, devido ao desconhecimento dos assentados diante das possibilidades de tratamento, além de os croquis permitirem uma compreensão melhor da problemática da ausência de sistemas de esgotamento sanitário.
- As oficinas práticas e teóricas tiveram pouca participação da comunidade, porém, isso não afetou as tomadas de decisão por aqueles que estavam presentes, sentindo-se parte importante em todo o processo.
- Observou-se que a construção dos sistemas de tratamento pelos próprios moradores proporcionou a capacitação e um entendimento maior do funcionamento e da operação dos mesmos.

2 CAPITULO 2 – TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E WETLAND CONSTRUÍDO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

2.1 INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes domésticos vem sendo, cada vez mais, apontada como alternativa mais viável diante a situação de crise ambiental atual. Denominações como saneamento sustentável, ecológico, mais apropriado, entre outros, trazem em si uma nova concepção de saneamento que se enquadram nas diversas dimensões da sustentabilidade.

A separação das correntes de águas residuárias residências em águas cinzas e negras corrobora os princípios da sustentabilidade de tratamento, com a diminuição dos gastos de energia e o aumento da possibilidade de reuso do efluente tratado. Entende-se como água cinza o efluente residencial, excluindo-se a contribuição dos vasos sanitários e a água negra compreende apenas o efluente proveniente do vaso sanitário.

A maioria das pesquisas realizadas nesse sentido estuda a viabilidade no tratamento de águas cinzas, com a finalidade de reuso do efluente para diversos fins, porém, ainda são poucos os estudos para o tratamento de águas negras, principalmente no Brasil.

Alguns sistemas de tratamento de águas negras, como o tanque de evapotranspiração (TEvap), vêm sendo aplicados por alguns permacultores no Brasil e no mundo, porém, as pesquisas científicas na avaliação da sua potencialidade de tratamento ainda são muito escassas. Além disso, são poucos os estudos aplicados no dimensionamento do TEvap, para que todo afluente sofra a evapotranspiração e não haja efluente final, em se tratando de um sistema estanque.

Estudos de sistemas de tratamento, como os *wetlands* construídos (*constructed wetlands*), vêm despontando, alcançando bom desempenho no tratamento de esgoto doméstico e água cinza. Os *wetlands* construídos (WC) são leitos rasos impermeabilizados para tratamento de águas residuárias, de origem doméstica, industrial ou agrícola, com espécies vegetais aquáticas

adaptadas ao meio, e uma complexa teia microbiana auxiliando nos processos físicos, químicos e biológicos no tratamento do efluente.

2.2 OBJETIVO GERAL

Neste capítulo, o objetivo foi avaliar a potencialidade do tanque de evapotranspiração e *wetland* construído no tratamento de águas negras e cinzas, respectivamente, no assentamento rural Olga Benário, em Visconde do Rio Branco, MG.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar e construir um sistema de tratamento composto por um tanque de evapotranspiração e *wetland* construído, em três residências do Assentamento.
- Avaliar o desempenho dos sistemas de tratamento em operação, segundo diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos.
- Analisar a contaminação de espécies vegetais, em termos microbiológicos, no TEvap.
- Estimar a taxa de evapotranspiração no TEvap.

2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.4.1 Tanque de Evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é um sistema de tratamento de águas negras, com o reaproveitamento dos nutrientes, mineralizados pela ação de organismos decompositores, na produção agrícola.

O sistema foi idealizado pelo permacultor norte-americano Tom Watson, com o nome de *Watson wick* (BODENS e OLIVEIRA, 2009). Diversas denominações foram atribuídas a este sistema, ao longo do tempo, como tanque de evapotranspiração (GALBIATI, 2009), fossa evapotranspiradora, *evaporation bed system* (MORAES *et al.*, 2008) e fossa verde (ARAÚJO *et al.*,

2010), entre outros. Estes vêm sendo desenvolvidos e difundidos por permacultores e alguns pesquisadores de diversas nacionalidades, como potencial no tratamento de águas negras em zonas urbanas, rurais e periurbanas (PAMPLONA e VENTURI, 2004).

Diversos tanques de evapotranspiração foram implantados, nos Estados Unidos e no Brasil (MANDAI, 2006; PAMPLONA e VENTURI, 2004), porém, com pouco acompanhamento científico (GALBIATI, 2009). No Brasil, projetos de TEvap estão sendo construídos em diversas regiões, principalmente no estado de Santa Catarina e na região do Distrito Federal (PAMPLONA e VENTURI, 2004). Segundo INCRA (2012) e Araújo *et al.* (2010), em uma parceria entre o INCRA e a Universidade Federal do Ceará (UFC), estão sendo implantados 65 TEvap, no Projeto de Assentamento (PA) de São Joaquim, na cidade de Madalena, Ceará.

2.4.1.1 Funcionamento

O TEvap consiste, basicamente, de 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, operado com um fluxo ascendente, passando por processos biológicos de degradação microbiana da matéria orgânica, absorção de nutrientes e transpiração da água pela vegetação, além da evaporação pelo solo (GALBIATI, 2009).

Na câmara decanto-digestora, localizada na parte inferior do tanque, acontece a remoção de sólidos sedimentáveis, através do processo de decantação. Os sólidos decantados constituem, basicamente, o lodo, o qual permanece no fundo do tanque, em processo de estabilização. Segundo von Sperling (2005), este processo compreende uma redução da carga de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dirigida ao tratamento secundário, promovendo uma eficiência em torno de 60% a 70% de sólidos em suspensão e de 25% a 35% de DBO.

No meio suporte e filtrante acontece o tratamento secundário, onde o principal objetivo é a remoção da matéria orgânica, que ocorre por meio de

reações bioquímicas realizadas por microrganismos. A DBO é convertida por bactérias aderidas ao meio suporte, formando um biofilme bacteriano. A digestão anaeróbia pode ser considerada um ecossistema, no qual diversos microrganismos realizam o processo de conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 1997).

Segundo von Sperling (2005), a produção de lodo é baixa em sistemas anaeróbios, e nos quais é estabilizado, podendo ser dirigido diretamente a um leito de secagem. Apesar de o sistema anaeróbio, normalmente, produzir maus odores, o TEvap, por possuir uma camada de solo na parte superior do leito, não apresenta esse risco.

Na parte superior do tanque, onde se localizam o solo e a zona de raízes, ocorrem diversos processos físicos, químicos e biológicos que auxiliam na degradação da matéria orgânica não estabilizada pelos processos anteriores. As bactérias aderem às partículas do solo e às raízes das plantas, auxiliando no processo de estabilização. Os nutrientes mineralizados podem ser absorvidos pela vegetação ou formar complexos químicos com o solo.

O nitrogênio, por exemplo, pode ser absorvido pela vegetação sob a forma amoniacal e como nitrato. No solo, o nitrogênio na forma de amônio pode ser retido nos sítios de troca nas argilas 1:1 e 2:1 e na matéria orgânica do solo (MATOS, 2010).

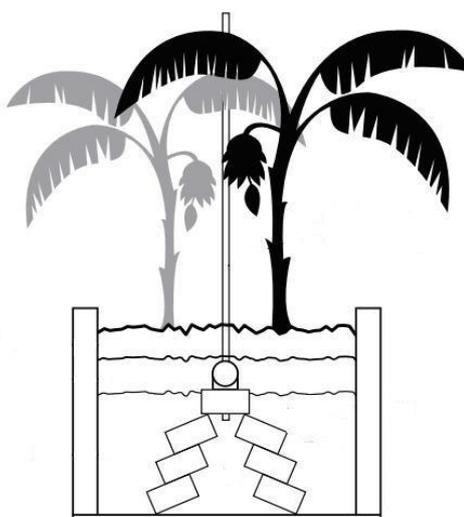
O fósforo é apenas absorvido pelas plantas na forma de ortofosfato. Os íons de fosfato em solução se movimentam lentamente no solo, onde grande parte do fósforo disponibilizado poderá ser fortemente adsorvida aos minerais presentes no solo ou podem se combinar com cálcio, magnésio, alumínio e ferro, formando compostos de baixa solubilidade (MATOS, 2010).

Parte do efluente final será, então, absorvida e transpirada pela vegetação e a outra sofrerá evaporação através do solo. O restante comporá a solução do tanque ou ficará retido nos interstícios do meio suporte, principalmente no solo.

O TEvap, portanto, simplifica as etapas de pré tratamento das águas residuárias, pois funciona como um tanque séptico, promovendo a decantação e a digestão anaeróbia do lodo na parte inferior do tanque, como um filtro

anaeróbico em sua parte intermediária, onde está localizado o meio suporte e como um wetland construído de escoamento vertical ascendente, nas suas camadas intermediária e superior, onde se localizam as raízes e os rizomas da vegetação. Também diminui a necessidade de pós-tratamento do efluente, pois é dimensionado para que o efluente seja totalmente absorvido pelas plantas e evaporado através do solo, em condições normais de funcionamento (GALBIATI, 2009; PIRES, 2009).

Figura 2.1 – Vista transversal de um tanque de evapotranspiração



Fonte: <http://bibocaambiental.blogspot.com.br/2011/09/canteirofossa-bioseptica.html>

2.4.1.2 Evapotranspiração

Em uma superfície com vegetação, ocorrem os processos de transpiração e evaporação. A transpiração das plantas é o transporte de água do solo até a superfície das folhas, por diferença de pressão hidrostática, basicamente e, das folhas, a água passa para a atmosfera. A evaporação no solo é a mudança de estado líquido para o gasoso, em que o líquido na superfície do solo sofre evaporação de acordo com a demanda atmosférica.

A evapotranspiração depende de diversos fatores, como a radiação solar, a temperatura do ar e da água, a pressão de vapor do ar, a velocidade do vento e a pressão atmosférica. A radiação solar e os ventos afetam as

aberturas dos estômatos, localizados nas superfícies das folhas, alterando a transmissão de água pela vegetação.

Nos sistemas do tipo TEvap, o processo de evapotranspiração ocorre devido ao fato de a camada de solo estar sob condições de insaturação de água e uma vegetação ao longo de toda a sua superfície. O movimento de água no solo ocorre por capilaridade, em que a água se desloca de regiões mais saturadas a insaturadas, chegando à região radicular das plantas e até a superfície do solo.

Pode-se calcular a evaporação de água no solo, vegetado ou não, por diversos métodos já conhecidos, como tanque classe A e o uso de lisímetros. A escolha do método apropriado depende dos objetivos e das condições específicas de cada estudo e local.

A medida da variação do nível de água no solo através de uma tubulação transversal ao perfil do solo é um método de cálculo para se estimar, de forma menos precisa, a evaporação da água no solo, vegetado ou não, uma vez que o processo de evaporação é complexo, influenciado por diversos fatores.

O cálculo da evapotranspiração potencial, por exemplo, é feito pelo volume de água, por unidade de tempo, transferida para a atmosfera por meio da evaporação e transpiração de um solo vegetado e suprido de água. Para regiões úmidas a subúmidas, a demanda de água da bananeira, em seu primeiro ciclo, inicia-se com 28% da evapotranspiração potencial, nos primeiros 70 dias após o plantio e elevando-se para 70%, aos 245 dias (fase de formação dos frutos), atingindo um máximo de 77% da evapotranspiração potencial, aos 310 dias (EMBRAPA, 2003).

2.4.1.3 Dimensionamento e aspectos construtivos

O sistema originalmente proposto por Tom Watson (BODENS E OLIVEIRA, 2009) consiste em uma trincheira escavada no solo, com largura e comprimento variáveis e profundidade de aproximadamente 60 cm, para o tratamento de esgoto doméstico. A água residuária entra através de uma tubulação, posicionada dentro de um compartimento, feito com um tambor

cortado longitudinalmente ao meio e colocado com a concavidade voltada para baixo, no fundo do tanque, localizado 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 e vegetada com espécies de alta demanda hídrica. As paredes do tanque não são impermeabilizadas, permitindo a infiltração do efluente no solo.

Para melhorar o desempenho no tratamento, conforme relatado por Pamplona e 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 microrganismos anaeróbios, auxiliando o processo de tratamento biológico. Na porção oposta à entrada do esgoto, próximo à superfície do solo, é colocado um tubo para drenagem do excesso de água.

Uma variante desse tipo de sistema é apresentada por Lesikar e Enciso (2002), 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, preenchida com pedras, para onde é encaminhado o efluente do tanque séptico, através de um tubo perfurado. Acima da camada de pedras são colocadas uma manta geotêxtil, uma camada de solo argiloso e uma camada de solo arenoargiloso e vegetado com gramíneas. Um canal de solo argiloso se estende até o fundo do leito, com objetivo de promover a ascensão capilar do esgoto até a superfície, onde ocorre a evapotranspiração.

As paredes do tanque podem ser construídas utilizando-se materiais convencionais da construção civil, como alvenaria, cimento e areia, ou pela técnica de "ferrocimento", que consiste no emprego de uma malha de ferro fundida e argamassa de cimento. Segundo Bodens e Oliveira (2009), é importante que as paredes do TEvap fiquem acima do solo, para evitar possíveis sobrecargas ao sistema com o escoamento de água, durante chuvas fortes. Ainda segundo os mesmos autores, no interior do tanque, uma câmara de digestão feita de alvenaria e/ou calhas de concreto pré-moldado são

utilizadas para que a água residuária proveniente do vaso sanitário se acumule e, após um determinado tempo de detenção, atravesse os orifícios da câmara, ocupando a parte inferior do tanque.

Nesse caminho, o efluente passa por diversas barreiras de materiais porosos, formando um meio filtrante e suporte para os microrganismos decompositores. O interior do tanque é preenchido, então, com materiais com uma granulometria decrescente, como forma de evitar a colmatação pré-matura do meio. Na primeira camada podem ser utilizados entulho de construção civil, pedra-de-mão, brita nº 4, casca de coco verde (REBELO, 2011) e conchas de ostras (VAN KAICK, 2002), entre outros. Na segunda, na terceira e na quarta camadas são, normalmente, utilizados brita nº 1, areia grossa e solo, respectivamente.

As plantas recomendadas para o uso devem ser adaptadas a solos encharcados e possuir alta taxa de evapotranspiração, como bananeiras (*Musa* sp.) e taioba (*Xanthosoma sagittifolium*).

A taioba, também conhecida, em alguns países, como malangá, é encontrada em abundância no sudeste brasileiro, destacando-se o interior de Minas Gerais e do Rio de Janeiro. Distingue-se de variedades selvagens pela incisão natural das folhas até o pecíolo e pela coloração verde, do ponto de inserção dos pecíolos até as folhas. Seu rendimento foliar pode chegar a 6 mil kg.ha⁻¹ (EPAMIG, 2011).

A banana-nanica (*Musa paradisíaca*) é também conhecida como banana-da-chuna, banana-anã e banana-chorona, e caracteriza-se por apresentar baixo porte e produzir um cacho que contém, aproximadamente, duzentas bananas. Segundo Alves *et al.* (1999), a banana, por se tratar de uma cultura de clima tropical, exige temperatura elevada e boa disponibilidade de água no solo, para seu pleno desenvolvimento.

Outras plantas também podem ser incluídas no sistema, como as alpínias (*Alpinia* sp.), o copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), o papiro (*Cyperus papyrus*), o junco (*Eleocharis* sp.) ou espécies de alta taxa de transpiração, que não possuam raízes longas e lenhosas, e sobrevivam à ambientes alcalinos (LEGAN, 2007).

Em relação ao dimensionamento dos tanques de evapotranspiração, não existe nenhuma norma, pois ainda são poucos os estudos científicos sobre esse tipo de tecnologia de saneamento. No entanto, as observações feitas por muitos permacultores, como Bodens e Oliveira (2009), que têm esse tipo sistema há alguns anos, indicam que 2 m³ comportam de duas a três pessoas que usam frequentemente o vaso sanitário. É atribuída também a Tom Watson a indicação de dimensionamento para o sistema de 2 m² de área por pessoa (PAMPLONA e VENTURI, 2004). Na Tabela 2-1 apresenta-se algumas características construtivas e o dimensionamento de alguns TEvap construídos.

Tabela 2-1 - Principais características de alguns TEvap

Área (m ²) x profundidade (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
Vegetação	Bananeiras e taiobas	Bananeiras	Bananeiras e taiobas	Bananeiras	Diversas
Material construtivo	Ferrocimento e câmara de pneus	Ferrocimento manilha perfurada	Ferrocimento e câmara de pneus	Sem impermeabilização e câmara de pneus	Lona plástica e câmara de pneus

Fonte: Adaptado de Galbiati (2009)

Pelos dados da Tabela 2-1 observa-se que ainda há grandes diferenças na relação usuário/área nos TEvaps construídos no Distrito Federal. Nos sistemas 2 e 4 pode-se dizer que foi atribuída uma relação de 2 m² por pessoa. O grupo Saúde Integral em Permacultura (SAUIPE) utilizou uma relação de 1,5 m², em uma residência unifamiliar em Espera Feliz, MG.

É importante ressaltar que o TEvap é indicado para o tratamento de águas negras e não águas cinzas. As águas cinzas podem ter um tratamento mais simples, o que favorece o reuso (PIRES, 2009).

2.4.2 *Wetland* Construído

Wetlands construídos (WC) são sistemas artificiais de tratamento de águas residuárias que compreendem um tanque raso, lagos ou canais,

plantados com espécies aquáticas adaptadas ao meio, e uma complexa teia microbiana auxiliando nos processos físicos, químicos e biológicos de tratamento. Além disso, possuem, no interior dos sistemas, um meio suporte e filtrante, podendo ser brita, areia ou solo, atuando na direção do escoamento, na retenção do líquido, no nível da água e na fixação dos microrganismos (EPA, 1999). Segundo Vymazal (2008), os WC são projetados com base em processos que ocorrem em áreas úmidas naturais, porém, de forma mais controlada.

Os WC têm demonstrado adaptarem-se a diferentes situações e arranjos, apresentando bom desempenho no tratamento de efluentes, principalmente os de origem doméstica (SEZERINO, 2006). Segundo Monteiro (2009), são indicados também para o tratamento de efluentes industriais e urbanos, em comunidades rurais, nas pisciculturas, para águas de abastecimento público e na melhoria da qualidade de lagos. Em alguns estudos, como o de Matos (2010), observou-se um bom desempenho no tratamento de águas residuárias de suinocultura, laticínios e despolpa de café.

Apesar de sua ampla utilização, muitos estudos estão sendo conduzidos, a fim de identificar e aperfeiçoar o papel de cada elemento atuante no tratamento, destacando-se o tipo de escoamento empregado, o material filtrante, as macrófitas, os máximos carregamentos afluentes (tanto no nível hidráulico como no orgânico), as cinéticas de depuração, a transferência de oxigênio, a estrutura e o metabolismo do biofilme formado, e a vida útil do sistema (SEZERINO, 2006).

2.4.2.1 Histórico

Os estudos sobre o uso de wetlands construídos para tratamento de esgoto começaram na Europa, em 1950 e, nos EUA, no final da década de 1960 (EPA 1999). Os primeiros experimentos que visam à possibilidade de tratamento de águas residuais por plantas de zonas úmidas foram empreendidos por Käthe Seidel, na Alemanha, no início de 1950, no Instituto Max Planck, em Plön (VYMAZAL, 2010).

Os esforços de pesquisa nos EUA aumentaram ao longo das décadas de 1970 e 1980, com significativo envolvimento federal pelo Tennessee Valley Authority (TVA) e do Departamento de Agricultura dos EUA, no final dos anos 1980 e início de 1990 (EPA, 1999). Por meio de uma série de esforços financiados pela USEPA foi compilado um Banco de Dados de Qualidade no Tratamento de Água ou NADB (USEPA, 1994), que fornece informações sobre zonas úmidas naturais e construídas, utilizadas para o tratamento de águas residuárias, na América do Norte.

Os primeiros estudos sobre sistemas de *wetlands* construídos no Brasil resultaram de observações de sistemas naturais de áreas inundáveis da Amazônia (SALATI *et al.*, 1999) apud Santiago (2005). A primeira tentativa de utilizar a capacidade depuradora desses sistemas foi feita por Salati *et al.* (1982), citados por Salati *et al.* (1999), num trabalho intitulado “De poluente a nutriente, a descoberta do aguapé”. Os experimentos iniciais lograram êxito e, desde então, novas tecnologias têm sido desenvolvidas por esses autores, sempre buscando o aumento de eficiência e a redução de custo do sistema (SANTIAGO, 2005).

Durante o período de maio de 1991 a abril de 1993, Leopoldo e Conte (1996) monitoraram o que eles chamaram de processos fitopedológicos aplicados ao tratamento de águas residuárias domésticas que, na verdade, eram sistemas *wetlands* construídos com o emprego de areia grossa de alta permeabilidade, como solos filtrantes e suporte para macrófitas aquáticas, como taboas (*Thypha* spp.), junco (*Juncaceae sellovianus*) e lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). Esses autores relataram eficiência de remoção de matéria orgânica, em termos de DBO, de 89%, remoção de 92% de sólidos em suspensão e remoção de fosfato e nitrogênio amoniacal da ordem de 49% e 44%, respectivamente.

2.4.2.2 Classificação

Os *wetlands* construídos podem ser classificados em dois grandes grupos, segundo o escoamento do efluente: sistemas de escoamento vertical (FV) e escoamento horizontal (FH).

Segundo EPA (1988), os WC-FH podem ainda ser divididos em dois grupos: sistemas de escoamento superficial (*free water surface/surface flow*) e sistemas de escoamento subsuperficial (*subsurface flow*).

Wetland construído de escoamento vertical (WC-FV)

Os CW-FV são tanques de forma retangular ou circular, impermeabilizados em todos seus lados e no fundo, para que o efluente possa percorrer todo o sistema. O material suporte e filtrante normalmente utilizado pode ser composto por cascalho, brita ou areia.

O efluente é disposto intermitentemente no meio suporte onde as macrófitas são plantadas, inundando-o e percolando verticalmente ao longo de todo o perfil vertical do sistema, sendo coletado na parte inferior, por meio de uma tubulação de coleta (SEZERINO, 2006). As tubulações de entrada e saída do efluente no sistema são dispostas paralelamente entre si e horizontalmente ao tanque.

Em relação ao sistema de escoamento horizontal, a distribuição do efluente no CW-FV ocorre em uma maior área de entrada, resultando em maior eficiência no uso do volume do meio filtrante, reduzindo a área necessária para o tratamento (BEGOSSO, 2009).

A forma de aplicação intermitente promove um grande arraste de oxigênio atmosférico para o material filtrante. Quando nova aplicação é realizada, o oxigênio anteriormente introduzido na massa sólida se mantém dentro da mesma e, somado com a nova quantidade de oxigênio arrastada por esta nova aplicação, a quantidade de oxigênio dentro do material filtrante torna-se suficiente para a degradação da matéria orgânica e a oxidação da amônia (COOPER *et al.*, 1996).

Como ocorre nas outras concepções de *wetland* construído com macrófitas emergentes, tem-se uma introdução de oxigênio no material filtrante ou massa líquida, promovida pela transferência da parte aérea para as raízes dessas plantas. Porém, a quantidade de oxigênio introduzida pela planta é bem inferior à porção difundida/arrastada da atmosfera (IWA, 2000).

Os sistemas de escoamento vertical vêm sendo aplicados para a remoção de DBO_5 , SS e para a promoção da nitrificação, devido à

potencialidade da aderência de nitrificantes no material filtrante, compondo o biofilme, e a uma entrada de oxigênio superior à demanda de conversão da matéria carbonácea (IWA 2000; PHILIPPI e SEZERINO, 2004; KAYSER e KUNST, 2005).

***Wetland* construído de escoamento horizontal (WC-FH)**

Os WC de escoamento horizontal (WC-FH) apresentam-se como sistemas mais simples, no aspecto construtivo e operacional do que os WC-FV. A água residuária é disposta em uma das faces do sistema, passando vagarosamente por um leito de materiais filtrantes (cascalho, brita, areia ou argila), até chegar à face oposta do tanque.

Normalmente, a distribuição da água residuária afluyente ao tanque e a coleta do afluyente ocorrem por meio de tubulações horizontais ao meio suporte, saindo e entrando por pequenos orifícios. Dessa forma, é possível distribuir igualmente o afluyente, de forma a evitar zonas mortas ou caminhos preferenciais ao longo da percolação entre o material filtrante.

Durante a percolação, o esgoto entrará em contato com regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias. A camada aeróbia é mais evidente ao redor das raízes das macrófitas, pois estas tendem a transportar oxigênio da parte aérea para as raízes e, sobretudo, ocorre, nesta porção do leito filtrante, significativas convecção e difusão de oxigênio atmosférico. Quando da passagem da água residuária na rizosfera, ocorre uma depuração por meio de processos físicos e químicos e, mais efetivamente, devido à degradação microbiológica (COOPER *et al.*, 1996; BRIX, 1997). Porém, segundo Monteiro (2009), os sistemas de escoamento horizontal não permitem a mesma predominância do metabolismo aeróbio, comparado aos sistemas verticais.

***Wetland* construído de escoamento horizontal superficial (WC-FHS)**

Os WC-FHS são constituídos por tanques de relativa impermeabilização, assemelhando-se às *wetlands* naturais, possuindo uma pequena profundidade de água, em torno de 0,1 a 0,6 m e preenchidos com camadas de 20 cm de brita e 0,5 a 0,6 m de solo (MATOS, 2010).

Esta configuração pressupõe que o efluente irá percorrer o sistema de tratamento, apresentando uma lâmina d'água sobre o meio suporte, assemelhando-se a uma lagoa rasa (MONTEIRO, 2009). Segundo Kadlec e Knight (1996), a altura da lâmina d'água deve ser em torno de 0,4 m. Desse modo, é possível o cultivo de uma diversidade maior de espécies vegetais, como macrófitas aquáticas flutuantes, submersas ou enraizadas e outros organismos vivos que irão auxiliar no processo de tratamento.

***Wetland* construído de escoamento horizontal subsuperficial (WC-FHSS)**

Nos sistemas de escoamento subsuperficial, ao contrário do superficial, não há a ocorrência de uma lâmina d'água na superfície do leito filtrante, obrigando todo o efluente atravessar o meio. O escoamento de águas residuárias passa pelo substrato, onde entra em contato com uma mistura de bactérias facultativas associadas com o substrato e com as raízes da vegetação emergente. A altura do substrato é tipicamente menor que 0,6 m (KADLEC e KNIGHT, 1996).

Segundo Valentim (1999), essa configuração do sistema de tratamento não cria boas condições para a proliferação de mosquitos e impossibilita o contato de pessoas e animais com a lâmina d'água.

Em um estudo apresentado, em 2004, pela *Water Environmental Research Foundation* (WERF), mostrou-se que os sistemas de FHS são mais usados que os FHSS para o tratamento de esgotos de pequenas comunidades. O principal motivo verificado foi que os FHSS, por não apresentarem uma superfície de água exposta, minimizam uma eventual exposição do público a patógenos (SANTIAGO *et al.*, 2005) e que, segundo Valentim (1999), além disso, não oferece boas condições para a proliferação de insetos.

2.4.2.3 Funcionamento e remoção de poluentes

Wetlands construídos são, basicamente, sistemas ecológicos que envolvem processos físicos, químicos e biológicos de forma controlada e manejada no tratamento de efluentes. O bom funcionamento depende da compreensão de todos os componentes e fatores que envolvem esses

sistemas e suas inter-relações. Segundo Sezerino (2006), a remoção de poluentes é influenciada pelo tipo de escoamento no leito, pela planta cultivada pelo meio suporte utilizado e pelas características da água residuária a ser tratada.

Várias pesquisas vêm sendo conduzidas tendo como enfoque principal a avaliação dos WC na remoção de poluentes de águas residuárias, sendo a maior parte delas conduzida com esgoto doméstico bruto ou submetido a um tratamento primário (MATOS, 2010).

Em WC de escoamento horizontal subsuperficial, o afluente entrará em contato com zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias, durante sua passagem pelo meio suporte e raízes das plantas. Segundo Vymazal (2010), as zonas aeróbias estão presentes próximo às raízes e aos rizomas das plantas que têm a capacidade de fixar oxigênio nessa região. Em diversas pesquisas foi demonstrado que, em sistemas de escoamento horizontal, a capacidade de oxigenação pelas plantas é insuficiente para que ocorra a degradação aeróbia na região da rizosfera, e que a decomposição anóxica e a anaeróbia são mais importantes nesses tipos de sistemas.

Os compostos orgânicos presentes nas águas residuárias em tratamento são degradados por bactérias aeróbias e anaeróbias presentes nas raízes das plantas ou fixadas no meio suporte. Os papéis mais importantes de plantas em WC-FH são a oferta de substrato (raízes e rizomas) para o crescimento das bactérias em anexo, a perda de oxigênio radial (difusão de oxigênio a partir de raízes para a rizosfera), a absorção de nutrientes e de isolamento da superfície do leito em regiões frias e temperado (BRIX, 1994).

Uma parcela da matéria orgânica é removida, principalmente, como resultado da sedimentação. A remoção de orgânicos coloidais e solúveis ocorre, principalmente, por oxidação aeróbia e anaeróbia de microrganismos decompositores (EPA, 1988).

Os sólidos suspensos (SS) são removidos, predominantemente, por filtração e sedimentação e a eficiência de remoção é, geralmente, muito elevada nos WC-FH (VYMAZAL e KROPFELOVÁ, 2008; EPA, 1993), sendo a maior parte dos sólidos removida nos primeiros metros do tanque de filtração (EPA, 1993). Segundo EPA (1993), um modelo de *design* cinético não está

disponível para a remoção de sólidos suspensos. No entanto, é evidente que a remoção de SS segue o mesmo padrão de DBO. Isto sugere que, quando um sistema é projetado para um determinado nível de remoção de DBO, a remoção SS será comparável, enquanto o escoamento subterrâneo é mantido no leito.

O nitrogênio é um elemento importante nos ciclos biogeoquímicos existentes nos *wetlands* construídos (SEZERINO, 2006). A compreensão deste ciclo é de fundamental importância na adoção de práticas que resultam no aumento da eficiência de utilização do elemento pelas plantas. Na natureza, o elemento encontra-se em equilíbrio dinâmico entre formas livres e fixadas (MATOS, 2010). As formas encontradas nos WC, na sua maior parte oriundas dos lançamentos de esgotos, variam desde compostos orgânicos até compostos inorgânicos em diferentes estágios de oxidação – amônia (NH_4^+ e/ou NH_3), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) e, finalmente, nitrogênio gasoso (N_2) (SEZERINO, 2006; EPA, 1999). O nitrogênio orgânico e a amônia podem ser determinados juntos, e são chamados de "nitrogênio total Kjeldahl" (NTK). O nitrogênio orgânico pode ser encontrado na forma solúvel ou particulada e o amoniacal, na forma ionizada ou não ionizada. Vários processos biológicos e físico-químicos podem transformar o nitrogênio nestas diferentes formas.

O principal mecanismo de remoção de nitrogênio orgânico nos WC é a sequência dos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação (COOPER *et al.*, 1996; KADLEC e KNIGHT, 1996; IWA, 2000). Em resumo, o nitrogênio orgânico é mineralizado à amônia por meio da hidrólise e da degradação bacteriana; a amônia é oxidada a nitrato por meio de bactérias nitrificantes em zonas aeróbias. Segundo Vymazal (2010), a remoção de amônio é limitada, devido à falta de oxigênio no leito de filtração, como consequência de condições de alagamento permanente em WC de escoamento horizontal subsuperficial. Por fim, os nitratos são convertidos a nitrogênio gasoso em ambientes anóxicos e anaeróbios (SEZERINO, 2006; EPA, 1999; MATOS, 2010). Outros mecanismos, como a volatilização e a adsorção, são verificados, porém, em menor importância, quando comparados com a nitrificação/ desnitrificação.

Outra forma de remoção de nitrogênio é a absorção pelas macrófitas, nas formas de amônio e nitrato, incorporadas em sua biomassa (SEZERINO, 2006; MATOS, 2010). Segundo Brix (1994), a capacidade de remoção de nitrogênio pelas macrófitas emergentes é em torno de 1.000 a 2.500 kg.ha⁻¹.ano⁻¹.

Assim como o nitrogênio, o fósforo também é utilizado pela plantas e também por microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica para a formação de suas células e tecidos (VALENTIM, 1999). Em sistemas naturais, o fósforo está adsorvido à fração sólida ou formando precipitado de baixa solubilidade em água (MATOS, 2010).

Na água, o fósforo apresenta-se, principalmente, nas seguintes formas (von SPERLING, 1996):

- ortofosfatos: são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões a formas mais simples, sendo apresentados nas formas PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} (mais comum em pH 6,5 e 7,5), $H_2PO_4^-$, H_3PO_4 . As principais fontes são solo, detergentes, fertilizantes, despejos industriais e esgotos domésticos (degradação da matéria orgânica);
- polifosfatos: são moléculas mais complexas, com dois ou mais átomos de fósforo, que se transformam em ortofosfatos pelo mecanismo da hidrólise, mas tal transformação é usualmente lenta;
- fósforo orgânico: é, normalmente, de menor importância nos esgotos domésticos típicos, mas pode ser importante em águas residuárias industriais e lodos oriundos do tratamento de esgotos. No tratamento de esgotos e nos corpos d'água receptores, o fósforo orgânico é convertido a ortofosfatos

O fósforo pode ser removido por reações de permuta de fosfato, por meio de precipitação química com alumínio e ferro e na forma de fosfato de cálcio. Os mecanismos ocorrem por absorção de hidróxidos de ferro e hidróxido de alumínio. A brita e a areia, que possuem textura grosseira, têm baixa capacidade de adsorção do fósforo e os solos hidromórficos, que são ácidos e orgânicos, têm um elevado potencial de adsorção, devido à presença de ferro e alumínio (VYMAZAL, 2010; MATOS, 2010). Segundo Valentim (1999), a remoção de P é, normalmente, baixa em WC, a não ser que sejam utilizados materiais especiais.

O fósforo pode ser imobilizado na forma de compostos orgânicos no biofilme das partículas do meio filtrante e pela absorção pela vegetação. Porém, as plantas só absorvem o fósforo na forma de ortofosfato e em pequena quantidade, em relação a outros nutrientes (MATOS, 2010). Segundo Brix (1994), a capacidade de remoção de fósforo pelas macrófitas emergentes é em torno de 50 a 150 kg.ha⁻¹.ano⁻¹.

Outras funções auxiliares podem ser atribuídas às WC, como a produção primária de carbono orgânico pelas plantas, a produção de oxigênio por meio da fotossíntese, a criação de um ambiente favorável à inserção de espécies diversas de animais, a redução da exportação de matéria orgânica e nutrientes para a jusante dos ecossistemas e a criação de valores culturais, estéticos e paisagísticos. Uma ou mais destas funções auxiliares podem ser um objetivo importante em projetos de WC (EPA, 1999).

2.4.2.4 Material suporte e filtrante

A escolha do material de enchimento dos WC está de acordo com alguns fatores, como o tipo de efluente a ser tratado, os materiais disponíveis na região, a manutenção requerida pelo sistema, outros sistemas de tratamento constituintes e espécies de plantas selecionadas. Além disso, deve atender às condições hidráulicas e de difusão do efluente, fixar eficientemente as bactérias proporcionando-lhes boas condições de crescimento e atividade. A escolha do tipo desse material filtrante a ser empregado numa unidade de filtro plantado com macrófitas está condicionada às finalidades do tratamento. Podem ser utilizados, como substrato, solo, brita, areia, silte, cascalho, bambu, casca de ostras, palha de café e casca de arroz, entre outras.

O material de enchimento desempenha diversas funções nos WC, como distribuição uniforme do efluente, condutividade hidráulica, área superficial para o crescimento de biofilme, efeito de filtração e sustentação para macrófitas (MONTEIRO, 2009). Os substratos podem, ainda, remover os constituintes do efluente por permuta iônica/adsorção não específica, adsorção específica/precipitação e complexação (MONTEIRO, 2009).

A areia e a brita têm pouca ou nenhuma capacidade adsorptiva, porém, apresentam um ótimo potencial de escoamento. Por outro lado, a argila tem alto potencial de adsorção, mas apresenta baixa condutividade hidráulica, ao longo do tempo (SEZERINO, 2006).

Independentemente do material filtrante empregado nos WC, o fenômeno de colmatação está associado à deposição de sólidos orgânicos e inorgânicos na superfície dos filtros, à produção de biomassa em excesso devido ao crescimento de microrganismos, ao crescimento demasiado das raízes das macrófitas e à compactação do maciço filtrante.

2.4.2.5 Macrófitas

As macrófitas englobam as plantas vasculares florescentes, os musgos e a maioria das algas marinhas. Existem vários termos para definir estas plantas, devido à complexidade de sua classificação, sendo os termos mais usados: hidrófitas, macrófitas aquáticas, hidrófitas vasculares, plantas aquáticas e plantas aquáticas vasculares (VALENTIM, 1999).

As macrófitas são morfológicamente adaptadas em ambientes saturados de água, em virtude de grandes espaços de ar pelo transporte de oxigênio para as raízes e rizomas (BRIX, 1994). O movimento interno de transporte de oxigênio para a parte inferior da planta não apenas serve para suprir a demanda respiratória dos tecidos das raízes, mas também para a oxigenação da rizosfera. Com isso, cria condições de oxidação que, juntamente com as condições anóxicas do meio, estimulam a aeróbia do material orgânico e o crescimento de bactérias nitrificantes (BRIX, 1994; VALENTIM, 1999).

Segundo Valentim (1999), o mais importante neste processo de transferência de oxigênio, e que forma a base científica dos WC, é a simbiose entre as plantas e os microrganismos fixados em suas raízes. Como, na região da rizosfera, ocorre a justaposição entre regiões aeróbias e anóxicas, envoltas em uma grande região anaeróbia, tem-se o desenvolvimento de vários tipos de bactérias que auxiliam no processo de nitrificação-desnitrificação.

A escolha da macrófita é de fundamental importância para o bom funcionamento do sistema de tratamento que envolva substrato-planta como

reatores na depuração de águas residuárias (MATOS, 2010). Segundo EPA (1999), o bom desempenho dos CW depende de funções ecológicas que são semelhantes aos das zonas úmidas naturais, que são baseadas, em grande parte, nas interações dentro de comunidades da fauna e flora.

As macrófitas aquáticas possuem um grupo amplo de indivíduos, baseado no seu modo de vida aquático e adaptação ao ambiente. Nos CW são utilizadas espécies vegetais que incluem as macrófitas aquáticas flutuantes, submersas ou emergentes (EPA, 1988).

As espécies emergentes caracterizam-se por estarem enraizadas em um substrato saturado, com uma parte aérea livre, apresentando grande produção de biomassa. Estas características lhe dão alta capacidade de depuração de águas residuárias (MATOS, 2010).

Segundo Valentim (1999), ainda não existe um critério geral para a escolha da macrófita apropriada para um tratamento específico. Porém, é aconselhável observar as espécies presentes nas proximidades de onde será instalado o experimento (EPA, 1999). A planta deve ser uma planta perene, com um ciclo de vida de mais de um ano ou dois períodos de crescimento, para garantir a sustentabilidade do sistema de tratamento. Plantas de zonas úmidas, com apelo estético, proporcionarão um ambiente paisagístico agradável.

Três diferentes macrófitas são amplamente empregadas nas WC, ao longo de todos os continentes. São elas *Phragmites australis*, *Typha* sp. e *Juncus* sp. Outras espécies de macrófitas estão sendo utilizadas em diversas pesquisas, por fatores, como estético e paisagístico, crescimento rápido e desempenho de funções específicas e diversas. Sarmiento (2010) e Almeida *et al.* (2010) utilizaram o lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) (Figura 2.2) em WC, obtendo um crescimento desejável e boa adaptação ao meio.

Figura 2.2 – Lírio do brejo (*Hedychium coronarium*)



Hedychium coronarium é uma macrófita nativa da região do Himalaia, na Ásia Tropical. Ocorre nas Américas, desde os Estados Unidos até a Argentina. No Brasil, a espécie é muito comum em toda a zona litorânea e, em Minas Gerais, ela é citada em várias regiões (MACEDO 1997; PEDRALLI e MEYER, 1996).

Trata-se de uma monocotiledônea da família Zingiberaceae, rizomatosa, de hábito herbáceo perene. O lírio-do-brejo apresenta parte aérea organizada em caule simples cilíndrico, avermelhado na base, folhas lanceoladas de distribuição alternada (KISSMANN e GROTH, 1991).

2.4.2.6 Dimensionamento

Quando as condições de escoamento subsuperficial são esperadas nos WC, é prática comum utilizar a Lei de Darcy, que descreve o regime de escoamento em um meio poroso. A Lei de Darcy não é estritamente aplicável às WC de escoamento subsuperficial, por limitações físicas no sistema real. Ele assume condições de escoamento laminar, o que pode não ser o caso em situações nas quais há cascalho de elevada granulometria (EPA, 1993). Esses fatores limitam a aplicabilidade teórica da Lei de Darcy, mas permanecem como o apenas um modelo razoavelmente acessível para o projeto desses sistemas.

A relação de aspecto (L:W) da cama úmida é uma consideração muito importante no dimensionamento hidráulico de sistemas de zonas úmidas, uma

vez que o potencial hidráulico de máximo gradiente está relacionado com a profundidade disponível do leito, dividida pelo comprimento do escoamento. Muitos dos primeiros sistemas concebidos possuíam relação de 10:1 ou mais, e uma profundidade total de 0,6 m. Com um gradiente hidráulico inadequado, o escoamento superficial é inevitável (EPA, 1993).

Muitos dos WC são dimensionados utilizando-se valores encontrados na literatura, baseados na relação de área por um equivalente populacional. Segundo Begosso (2009), faixas de aplicação encontram-se variando de 1-5 m².hab⁻¹, quando os WC-FH são empregados como tratamento secundário. Brix e Schierup (1989), apud Vymazal (2010), encontraram grande eficiência no tratamento de alta carga orgânica e sólidos em suspensão, em uma área de 3-5 m².hab⁻¹. Philippi e Sezerino (2004) reduziram a área requerida para valores de 0,8 m².hab⁻¹, para tratar efluente de uma residência padrão (cinco pessoas), conseguindo uma eficiência satisfatória no tratamento. Almeida *et al.* (2010) adotaram 1 m².hab⁻¹ para o tratamento de efluente de uma residência, precedido por um tanque séptico, alcançando boa eficiência na remoção de DBO e DQO.

Por um longo tempo, os WC-FH foram projetados utilizando-se simples conjunto de 5 m².hab⁻¹ ou modelos de primeira ordem (VYMAZAL, 2010). No entanto, nestes modelos de muitos parâmetros e variáveis, é difícil medir e, portanto, muitas suposições devem ser feitas. Por isso, é importante perceber que modelos mais complexos não necessariamente trazem parâmetros de projeto mais precisos.

A maior parte dos sistemas existentes nos EUA e Europa foi concebida como um modelo de crescimento biológico aderido, utilizando um reator de primeira ordem do tipo de fluxo em pistão (EPA, 1993). Estes modelos estão sendo amplamente utilizados nos WC-FH, em que a taxa de remoção de DBO é diretamente proporcional à sua concentração (ROUSSEAU *et al.*, 2004).

Estes modelos vêm sendo utilizados em unidades de WC com escoamento subsuperficial de escoamento horizontal (CONLEY *et al.*, 1991; ROUSSEAU *et al.*, 2004).

$$C_e = C_0 e^{(-Kt.T)} \quad (2.1)$$

$$A = \frac{Q \times (\ln C_0 - \ln C_e)}{K_t \times p \times n} \quad (2.2)$$

A=área superficial requerida (m²);

Q=vazão afluyente (m³.d⁻¹);

C₀=concentração afluyente, em termos de DBO₅ (mg.L⁻¹);

C_e=concentração efluyente, em termos de DBO₅ (mg.L⁻¹);

K_t=constante de reação da cinética de primeira ordem – depende da temperatura T (d⁻¹);

n=porosidade do material filtrante (m³/m³);

p=profundidade média do filtro (m).

Para o projeto final e o dimensionamento dos WC, segundo EPA (1993), devem ser observados os seguinte aspectos:

- determinar o tipo de substrato, vegetação e profundidade do leito;
- determinar, no campo ou no laboratório, a porosidade (n) e a eficácia da condutividade hidráulica (ks);
- determinar a área de superfície requerida do leito, para o nível desejado de remoção de DBO₅;
- dependendo da topografia local, selecionar uma relação de aspecto preliminar na relação de comprimento:largura do leito (L:W); 0,4:1 até 3:1 são, geralmente, aceitáveis.

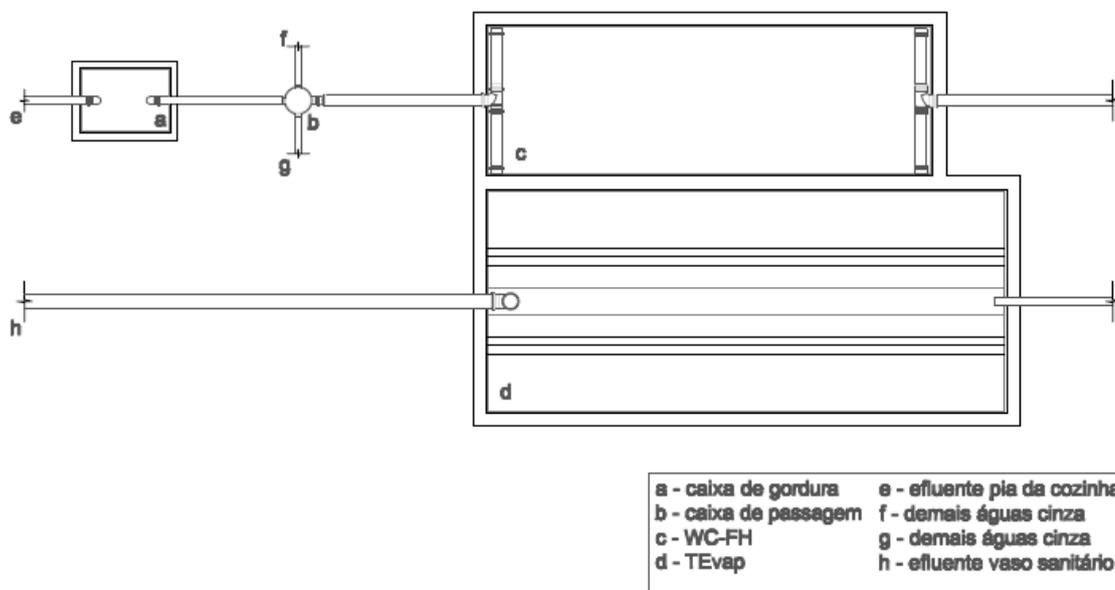
2.5 MATERIAL E MÉTODOS

Os sistemas foram construídos em três residências do assentamento rural Olga Benário, para o tratamento de águas negras e cinzas. A opção por se tratar separadamente as correntes de esgoto foi, principalmente, pelo fato de residências já possuírem a segregação dos efluentes em sistemas coletores distintos.

A concepção construtiva de projeto está na elaboração de um sistema de tratamento compacto, compreendido por duas unidades principais, tanque

de evapotranspiração e *wetland* construído. O croqui do sistema completo está representado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Croqui do sistema de tratamento



2.5.1 Tanque de Evapotranspiração

2.5.1.1 Dimensionamento e construção

Os tanques de evapotranspiração foram dimensionados com base em alguns estudos empíricos e segundo o idealizador Tom Watson, com a indicação de 2 m³ por pessoa, com profundidade de 1,0 m. Como, no presente trabalho, optou-se por um tanque com profundidade de 1,5 m, superior à indicação de Watson, conseqüentemente, houve diminuição da área superficial.

Escolheu-se um local para a implantação dos sistemas no qual houvesse boa insolação e de acordo com as exigências da norma NBR 7229/93 (ABNT, 1993), principalmente no que diz respeito às distâncias mínimas horizontais em relação a árvores, postes, poços e construções. Todos os TEvap foram construídos abaixo do nível do terreno, com comprimento de 3,5 m, largura de 1,5 m e profundidade de 1,5 m. O fundo do tanque foi nivelado, a fim de distribuir igualmente o efluente pelo sistema e evitar o acúmulo de lodo em uma só região. O fundo foi concretado utilizando-se

impermeabilizante de argamassa, cimento portland, areia fina ($D_{60}/D_{10}=1,52$) e brita nº 1 ($D_{60}/D_{10}=1,77$).

Para a construção das paredes dos tanques utilizaram-se blocos de concreto com as dimensões de 9 x 19 x 39 cm. As paredes foram rebocadas com argamassa, na proporção de 1:3:0,5 de cimento, areia e cal, com adicional de um impermeabilizante. As laterais do tanque foram construídas deixando-se uma borda de, aproximadamente, 19 cm acima do solo, para evitar a entrada de águas pluviais em épocas de chuva no interior do sistema.

A câmara decanto-digestora foi construída utilizando-se lajotas cerâmicas posicionadas longitudinalmente no fundo do tanque. As lajotas foram assentadas de forma inclinada, acima de duas fileiras de tijolos maciços, como ilustrado na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Detalhes da construção da câmara decanto-digestora



O efluente entra no sistema por meio de uma tubulação de DN 100 mm, encaminhado verticalmente para uma das extremidades da câmara. Como forma de evitar o transbordamento, colocou-se uma tubulação de 50 mm (“ladrão”) na outra extremidade do tanque, com uma diferença de nível de 10 cm da tubulação de entrada.

Como meio suporte e filtrante, utilizou-se pedra-de-mão, brita nº 1, areia média e solo (Latosolo Vermelho-Amarelo), com alturas de 50 cm, 35 cm, 35 cm e 40cm, colocando-os com uma disposição granulométrica decrescente, no sentido de baixo para cima do tanque (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Detalhes dos materiais componentes das camadas do interior do TEvap



2.5.1.2 Coleta e plantio da vegetação

Para a escolha da vegetação, utilizaram-se os seguintes pré-requisitos:

- alta taxa de evapotranspiração da cultura (ETc);
- crescimento rápido;
- tolerância a ambientes alagados;
- adaptação à região;

- aceitação pelo usuário do sistema.

A banana-nanica (*Musa paradisiaca*) foi escolhida para o plantio devido, principalmente, ao seu baixo porte, além de possuir alta taxa de transpiração, fornecer alimento, resistir em solos encharcados e pela ótima adaptação no TEvap, como observado por Galbiati (2009).

As mudas foram obtidas de plantas adultas fornecidas pelo Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Para a coleta das mudas, utilizou-se uma pá reta escavadeira (Figura 2.6).

Figura 2.6 - Retirada das mudas de *Musa paradisiaca*



A Embrapa (2011) recomenda o espaçamento 2,0 x 2,0 m de cultivos convencionais de banana para variedades de porte baixo. Como, no trabalho, optou-se pelo plantio de três mudas em cada sistema (Figura 2.7), como forma de potencializar a taxa de evapotranspiração, utilizou-se um espaçamento de 1 m entre as bananeiras, pois a área superficial do tanque não comporta o espaçamento indicado pela literatura. Além disso, o objetivo principal não é atingir uma ótima produção de banana.

Figura 2.7 - Detalhes das mudas de *Musa paradisiaca* (esquerda) e plantio (direita)



Além das bananeiras, utilizou-se a taioba (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott), como forma de aumentar a taxa de evapotranspiração do sistema, além de poder ser utilizada, assim como a bananeira, como fonte alimentar.

As mudas foram obtidas na Divisão de Parque e Jardins da Universidade Federal de Viçosa e retiradas com o auxílio de enxadão e cavadeira. Optou-se por coletar espécimes com aspectos saudáveis e desenvolvidos.

As mudas foram plantadas obedecendo a um espaçamento de, aproximadamente, 40 cm segundo recomendações de EPAMIG (2011), proporcionando uma densidade de quatro propágulos por metro quadrado (Figura 2.8).

Figura 2.8 - Detalhe das mudas de *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott (esquerda) e plantio (direita)



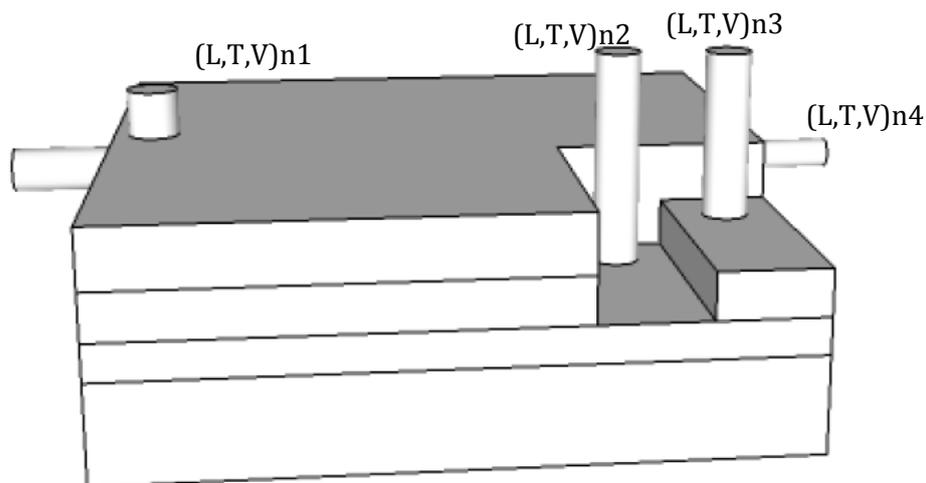
2.5.1.3 Coleta de amostras

Para fins de análise do desempenho de tratamento do TEvap, foram instalados quatro pontos de amostragem (Figura 2.9), sendo:

- (L,T e V)n1: tubulação de entrada da água negra no tanque;
- (L,T e V)n2: parte superior ao leito de brita;
- (L,T e V)n3: parte superior ao leito de areia;
- (L,T e V)n4: tubulação de saída do tanque.

Para facilitar a identificação e a diferenciação das três unidades do experimento, utilizou-se a primeira letra do nome do morador beneficiado, sendo L, T e V. A letra “n” foi atribuída à água negra tratada no TEvap.

Figura 2.9 - Pontos de amostragem no TEvap



2.5.1.4 Método de análise das amostras

As análises de pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE) foram realizadas em campo, com o auxílio de um equipamento eletrométrico da PoliControl, condutivímetro e peagâmetro.

As análises de sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos fixos (SSF), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e *E. coli* foram realizadas no Laboratório de Meio Ambiente da Universidade Federal de Viçosa, de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and*

Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2005). Na Tabela 2-2 apresenta-se a frequência das análises realizadas.

Tabela 2-2 - Parâmetros analisados, unidades e frequência de análise

Parâmetro	Unidade	Frequência
Temperatura	°C	semanal
pH	-	semanal
Turbidez	UNT	— ⁽¹⁾
Condutividade elétrica (CE)	mS.cm ⁻¹	semanal
Oxigênio dissolvido (OD)	mg.l ⁻¹	semanal
Sólido suspenso total (SST)	mg.l ⁻¹	semanal
Sólido suspenso fixo (SSF)	mg.l ⁻¹	semanal
Sólido suspenso volátil (SSV)	mg.l ⁻¹	semanal
DBO	mg.l ⁻¹	semanal
DQO	mg.l ⁻¹	semanal
Coliformes totais (CT)	NMP.100ml ⁻¹	— ⁽¹⁾
<i>E.coli</i>	NMP.100ml ⁻¹	— ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Determinado no final do período de monitoramento

2.5.1.5 Estimativa da taxa de evapotranspiração

As unidades de tratamento entraram em operação no dia 10/02/2012, sendo os dados coletados para a estimativa da taxa de evapotranspiração referentes ao período de 31/07/2012 a 26/09/2012, com frequência semanal de coleta.

A taxa de evapotranspiração foi estimada por meio do cálculo do balanço hídrico no TEvap, considerando-se a capacidade volumétrica do tanque, o volume de entrada de água negra, o índice pluviométrico e a variação do nível de água no interior do tanque.

Para quantificar a contribuição média diária de água negra produzida nas residências, ou seja, o volume de entrada no sistema TEvap, foi instalado um hidrômetro do tipo multijato Actaris®, com vazão nominal de 1,5 m³.h⁻¹ e diâmetro de ½ polegada na tubulação de entrada de água da caixa de descarga (Figura 2.10).

Figura 2.10 - Hidrômetro instalado na caixa de descarga (esquerda) e detalhes do hidrômetro (direita)



Fonte: Autor (esquerda); <http://itron.com.br/agua/Multimag/multimag.htm> (direita)

A precipitação ocorrida durante o período de monitoramento foi medida diariamente, a partir de um pluviógrafo instalado no Assentamento, próximo ao TEvap. Com isso, pode-se estimar o volume de entrada de água de chuva no tanque, multiplicando-se pelo valor da área superficial do tanque.

Uma das tubulações de inspeção do tanque serviu para que fosse medida a variação do nível de água. Utilizou-se uma régua de madeira para a marcação do nível da água e uma trena para aferição.

Para o cálculo da capacidade volumétrica do TEvap, foram calculados os volumes úteis de cada meio filtrante, utilizando-se, para isso, valores de massa específica real e unitária para os diferentes materiais (Tabela 2-3).

Tabela 2-3 – Massas específicas dos materiais componentes do meio suporte do TEvap

Materiais	Massa específica real (g.cm ⁻³)	Massa específica unitária (g.cm ⁻³)
Pedra-de-mão	2,850	1,700
Brita nº 1	2,850	1,464
Areia média	2,603	1,429

Fonte: Valores obtidos do Relatório 4.310 de 12/11/2009 realizado pela Universidade Federal de Viçosa na Pedreira MBC Ltda

Em relação ao solo, utilizou-se o valor de porosidade, que é a relação entre o volume de vazios e o volume total, dentro de um determinado espaço.

A taxa de evapotranspiração, portanto, foi estimada com base em algumas equações que correlacionam, basicamente, os dados de entrada e

saída da unidade de tratamento. Na Equação (2.3) visualiza-se o cálculo da estimativa do volume de água pluvial que entrou no sistema.

$$V_P = h \times A \quad (2.3)$$

em que

V_P = volume de água pluvial (L)

h = leitura do pluviógrafo (L/m²)

A = área superficial do tanque (m²)

Para o cálculo do volume de água proveniente do vaso sanitário, foram realizadas leituras semanais do hidrômetro, conforme a Equação (2.4):

$$V_H = (I_1 - I_0) \quad (2.4)$$

em que

V_H = volume de água negra (L);

I_1 = leitura do hidrômetro final (L);

I_0 = leitura do hidrômetro inicial (L)

Os dados coletados da precipitação e hidrômetro serviram para o cálculo da estimativa do volume de entrada do afluente no sistema, conforme a Equação (2.5):

$$V_E = V_P + V_H \quad (2.5)$$

em que

V_E = volume de entrada no sistema (L)

Para estimar o volume de água que saiu do sistema, utilizou-se a Equação (2.6):

$$V_S = [(h_0 \cdot A) - (h_1 \cdot A)] r$$

$$V_S = [(h_0 - h_1)] A \cdot r \quad (2.6)$$

sendo que

$$r = \frac{V_{\text{útil}}}{V_{\text{Total}}}$$

em que

V_S = volume da variação do nível de água no tanque (L);

h_0 = leitura do nível de água inicial (m);

h_1 = leitura do nível de água final (m).

Subtraindo-se os volumes de entrada e saída, pode-se estimar a taxa de evapotranspiração diária do sistema, segundo a Equação (2.7):

$$E_T = V_E - V_S \quad (2.7)$$

em que

E_T = taxa de evapotranspiração ($L \cdot d^{-1}$)

2.5.1.6 Análise foliar

Como, nos sistemas, foram plantadas espécies vegetais com a finalidade de produção de alimento, dentre outras diversas funções que desempenham, foram, então, realizadas as análises das seguintes variáveis: coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, para a identificação de contaminação nas folhas e talos das taiobas no interior do tanque.

As amostras de taioba foram coletadas utilizando-se o procedimento de amostragem composta, em três pontos equidistantes ao longo do tanque. As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos, na Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se os métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2005). Como não houve a produção de bananas no intervalo de tempo de pesquisa do presente trabalho, não foram realizadas as análises dos frutos.

2.5.2 *Wetland* Construído

O sistema de tratamento de águas cinzas é composto por uma caixa de gordura, uma caixa de passagem e um *wetland* construído de escoamento horizontal subsuperficial (WC-FH). Todos os sistemas têm o mesmo dimensionamento, variando apenas a vazão de entrada, em função do número de pessoas residentes em cada habitação e da variação no uso de água por habitante.

2.5.2.1 Dimensionamento e construção

Antes de chegar ao WC-FH, a água proveniente da pia da cozinha passa por uma caixa de gordura, sendo encaminhada, posteriormente, para uma caixa de passagem, onde recebe as demais águas cinzas da residência.

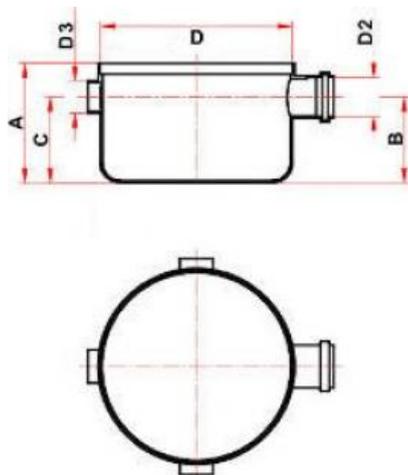
A caixa de gordura (Figura 2.11) foi dimensionada segundo a NBR 8160/99 (ABNT, 1999), prismática de base retangular, possuindo altura de 0,60 m de área molhada e área útil de 0,15 m² (0,30 x 0,50 m).

Figura 2.11 - Detalhe da construção da caixa de gordura em uma das residências



A caixa de passagem (Figura 2.12) utilizada é pré-moldada em PVC (Policloreto de vinila), marca Tigre®, nas dimensões (0,25 x 0,23 x 0,5 m).

Figura 2.12 - Detalhe da caixa de passagem (esquerda) e caixa de passagem instalada (direita)



Na unidade WC-FH, o modelo de dimensionamento utilizado baseou-se na cinética de primeira ordem e fluxo em pistão (Equação 2.8), conforme apresentam Conley *et al.* (1991):

$$C_e/C_0 = \exp(-K_T t) \quad (2.8)$$

O tempo de retenção hidráulica foi obtido segundo a Equação 2.9, que relaciona a porosidade do meio filtrante, a vazão e o volume útil do tanque:

$$t = n \cdot Q / V \quad (2.9)$$

A constante K_T pode ser obtida segundo a Equação 2.10, que relaciona a constante de reação a 20 °C (K_{20}) com a equação modificada de van't Hoff-Arrhenius (Sezerino, 2006).

$$K_T = K_{20} (1,06)^{T-20} \quad (2.10)$$

Com isso, pode-se estimar a área superficial requerida para a wetland, em função das equações 2.8, 2.9 e 2.10, conforme a Equação 2.11:

$$C_e = C_0 \exp(-K_T t) \quad (2.11)$$

Aplicando-se o logaritmo na Equação 2.11, obtém-se a Equação 2.12:

$$\ln C_e = \ln C_0 - K_T t \quad (2.12)$$

Substituindo-se a equação 2.9 na Equação 2.12,

$$\ln C_e = \ln C_0 - K_T n \frac{V}{Q} \quad (2.13)$$

Sendo o volume (V) o produto entre a área (A) e a profundidade (p), tem-se:

$$\ln C_e = \ln C_0 - K_T \frac{A \times p}{Q} n \quad (2.14)$$

Isolando-se a área (A) e multiplicando-se a equação 2.13 por (-1),

$$A_s = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_e)}{K_T \times p \times n} \quad (2.15)$$

em que

C_e = concentração do poluente no efluente (mgL^{-1});

C_0 = concentração do poluente no afluente (mgL^{-1});

K_T = coeficiente de remoção do poluente (d^{-1});

T = tempo de retenção hidráulica (d);

A_s = área superficial (m^2);

Q = vazão (m^3d^{-1});

p = altura da lâmina d água (m);

n = porosidade do meio suporte (%).

Os WC foram construídos abaixo do nível do terreno, assim como o TEvap. A laje de fundo foi feita de concreto, na proporção de 1:3:1 de cimento, areia e brita e, nas paredes, utilizaram-se blocos de concreto (9 x 19 x 29 cm), construídos com uma borda livre de 19 cm acima do nível do terreno, com o objetivo de evitar a entrada do excesso de águas pluviais. Para a impermeabilização do tanque, as paredes foram rebocadas com argamassa, utilizando-se um material impermeabilizante.

As tubulações de entrada e saída têm DN 50 mm, dispostas transversalmente ao tanque e perfuradas ao longo do seu comprimento, com furos de 8 mm espaçados de 10 cm (Figura 2.13).

Figura 2.13 - Instalação das tubulações de entrada e saída de efluente no WC



O material suporte utilizado nas *wetlands* foi a brita nº 1, material este de granulometria maior que a normalmente utilizada, como a areia e brita zero, de forma a evitar a colmatação prematura do meio suporte, diminuindo, assim, a manutenção do sistema e evitando a formação de escoamento superficial.

2.5.2.2 Coleta e plantio das macrófitas

A espécie vegetativa utilizada em todas as unidades de WC foi o lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*), considerando a sua abundância na região do Assentamento. As macrófitas foram retiradas manualmente do seu hábitat, em uma várzea próxima a uma das residências em estudo.

As mudas foram plantadas com um espaçamento de quatro mudas por metro quadrado, segundo orientações de Brix (1994) (Figura 2.14).

Figura 2.14 - Plantio de *Hedychium coronarium* no WC



2.5.2.3 Monitoramento e coleta de amostras

Para fins de análise da eficiência ao longo dos sistemas em experimento, amostras foram coletadas em três pontos, na entrada, no centro e na saída da unidade WC (Figura 2.15), sendo

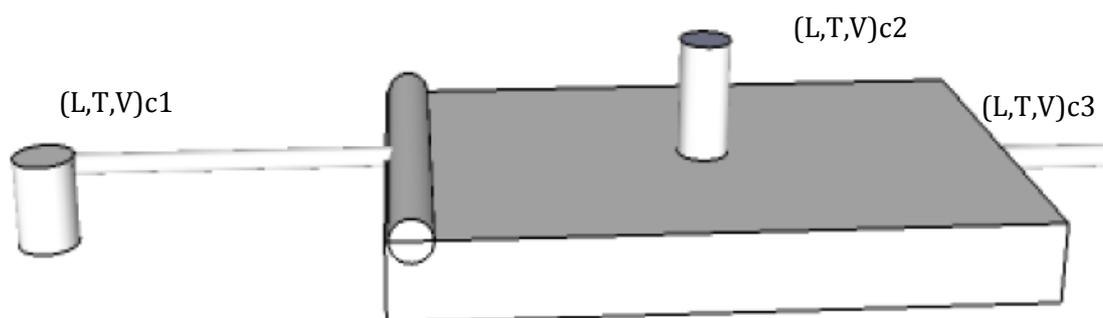
(L,T,V)c1: água cinza coletada na caixa de passagem;

(L,T,V)c2: tubulação ao centro do WC;

(L,T,V)c3: efluente do WC coletado na tubulação de saída do WC.

O primeiro ponto de amostragem é referência para fins comparativos com os demais pontos ao longo do tanque. Com isso, podem-se obter dados de eficiência da unidade ao longo e ao final do tratamento.

Figura 2.15 - Pontos de amostragem no WC



As análises realizadas nos WC tiveram os mesmos métodos e frequências dos TEvaps, excetuando-se as análises de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal e fósforo total, que foram realizadas apenas nos *wetlands* construídos. Os métodos de análise foram de

acordo com o recomendando pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2005).

2.5.2.4 Procedimento para coleta de amostra composta de águas cinzas

Para facilitar a coleta, foram instalados dois registros, um para controlar a entrada do efluente no sistema de tratamento e o outro para a coleta das amostras compostas (Figura 2.16).

Figura 2.16 - Recipiente para a coleta de amostra composta em operação



Foram coletados 300 mL de água cinza bruta, a cada 1 hora, de 7h às 21h, totalizando 15 amostras/dia. A amostra composta consistiu na mistura destas coletadas, totalizando 4,5 L.

Utilizou-se um galão de 50 L como forma de armazenamento do efluente inicial, um balde de 18 L e uma proveta de 500 mL para a quantificação do volume de água cinza coletado, além de um recipiente de 5 L para armazenamento da amostra composta, uma caixa de isopor e gelo.

As amostras foram acondicionadas em uma caixa de isopor contendo gelo, para a conservação das mesmas. Para fins de pesquisa, foram monitorados os parâmetros DQO, DBO, SST, SSV e SSF.

Os resultados obtidos foram comparados com os resultados das coletas de água cinza bruta realizadas semanalmente, de forma a avaliar a hipótese de que as amostras semanais pudessem estar sofrendo a influência de resíduos retidos na caixa de inspeção, como gordura e sólidos sedimentáveis.

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas entraram em operação no dia 10/02/2012, logo após o plantio das vegetações, e o monitoramento dos parâmetros de qualidade compreendeu o período de 10/04/2012 a 14/08/2012.

2.6.1 Tanque de evapotranspiração

Ao longo do tempo, observaram-se algumas irregularidades no TEvap (Ln), impossibilitando o monitoramento deste sistema. Assim, os resultados apresentados neste trabalho dizem respeito apenas aos sistemas Tn e Vn.

Um dos problemas ocasionados no TEvap (Ln) foi a entrada de terra nas tubulações de monitoramento, ocasionado pelo descuido ao colocá-las no interior do tanque. Além disso, observou-se o vazamento no terço superior em uma das paredes do sistema, fato, provavelmente, ocasionado pela má compactação do solo abaixo do piso, culminado na rachadura do reboco. Portanto, os resultados qualitativos dizem respeito apenas aos sistemas de Tn e Vn.

Em relação aos cálculos de capacidade do tanque e taxa de evapotranspiração, apenas o sistema Tn foi analisado. O monitoramento teve início no dia 31/07/2012 e término em 26/09/2012, portanto, com um intervalo de, aproximadamente, dois meses.

2.6.1.1 Análise da taxa de evapotranspiração

As leituras do hidrômetro foram realizadas semanalmente, às 9h. Com base nesses dados, pode-se calcular a vazão média diária do efluente do vaso sanitário, apresentando um valor de $61\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$. Tomando como base a NBR 7229/1993 (ABNT, 1993), que sugere consumo de água de 100 L/hab.d, para residências de baixo padrão e com seis habitantes na moradia, o consumo de água total é de 600 L/d. Diante disso, pode-se dizer que o consumo médio diário de água pelo vaso sanitário da residência em estudo é de 9,8%. NSWHEALTH (2000) obteve 32% para uma residência unifamiliar. Porém, o

resultado encontrado neste trabalho ficou entre os obtidos por Barreto (2008) e Gonçalves e Bazarella (2005), com médias de 5% e 14%, respectivamente.

Antes de dar início ao uso efetivo do hidrômetro, este foi calibrado para quantificar o volume gasto em uma descarga, encontrando-se o valor de 8,0 L. Com base no valor médio de efluente do vaso sanitário e o volume por descarga, encontrou-se o valor médio de 7,62 descargas por dia, ou seja, 1,27 descargas.hab⁻¹.d⁻¹. Esses valores condizem com o baixo valor encontrado para a porcentagem de consumo no vaso sanitário, comparando-se com a literatura, pois a maioria adota valores acima de 2 descargas.hab⁻¹.d⁻¹.

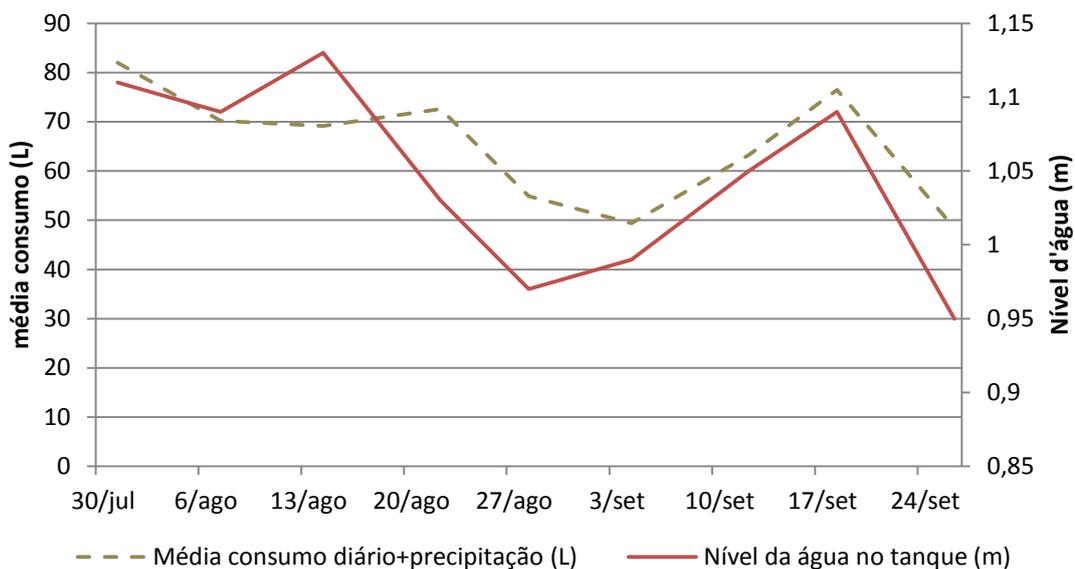
Na Tabela 2-4 encontram-se os valores das variáveis de entrada e saída do TEvap referentes ao consumo de água, nível de água e precipitação, que serão base para o cálculo da taxa de evapotranspiração.

Tabela 2-4 - Resultados relativos ao monitoramento de consumo de água do vaso sanitário, do nível de água no Tevap e da precipitação

Data	Leitura do hidrômetro (L)	Consumo médio diário (L.d ⁻¹)	Descargas/dia	Nível da água no tanque (m)	Precipitação (mm)
30/07	0	-	-	-	-
31/07	82	82	10,25	1,11	0
07/08	561	68,43	8,5	1,09	0,33
14/08	1045	69,14	8,6	1,13	0
22/08	1612	70,87	8,8	1,03	0,33
28/08	1910	49,67	6,2	0,97	0,99
04/09	2256	49,4	6,17	0,99	0
12/09	2762	63,25	7,9	1,05	0
18/09	3054	48,66	6,08	1,09	5,3
26/09	3441	48,37	6,05	0,95	0
Média	-	61,09	7,62	-	-

O gráfico da Figura 2.17 mostra a variação observada do volume de água negra e água pluvial com o nível de água no tanque, ao longo do tempo de monitoramento. O pico de leitura que ocorreu na semana de 12 a 18/09, foi devido à elevada precipitação ocorrida durante esse período.

Figura 2.17 - Variação do nível de água e do volume de entrada de água negra e pluvial no TEvap



O volume útil do tanque TEvap, determinado com base no volume calculado de vazios das camadas filtrantes, foram: pedra-de-mão ($0,597m^3$), brita ($0,893 m^3$), areia ($0,828 m^3$) e solo ($0,840 m^3$). Diante disso, o volume total de vazios, ou seja, o volume útil, ou capacidade do tanque, é de $3,16 m^3$, apresentando um percentual de 60% em relação ao volume total do TEvap.

Com base nos dados de entrada, saída e do volume útil do tanque, foi possível calcular a taxa de evapotranspiração, encontrando-se um valor médio de 489,20 L/semana, ou seja, $68,22 L.dia^{-1}$.

2.6.1.2 Adaptação da vegetação nos TEvaps

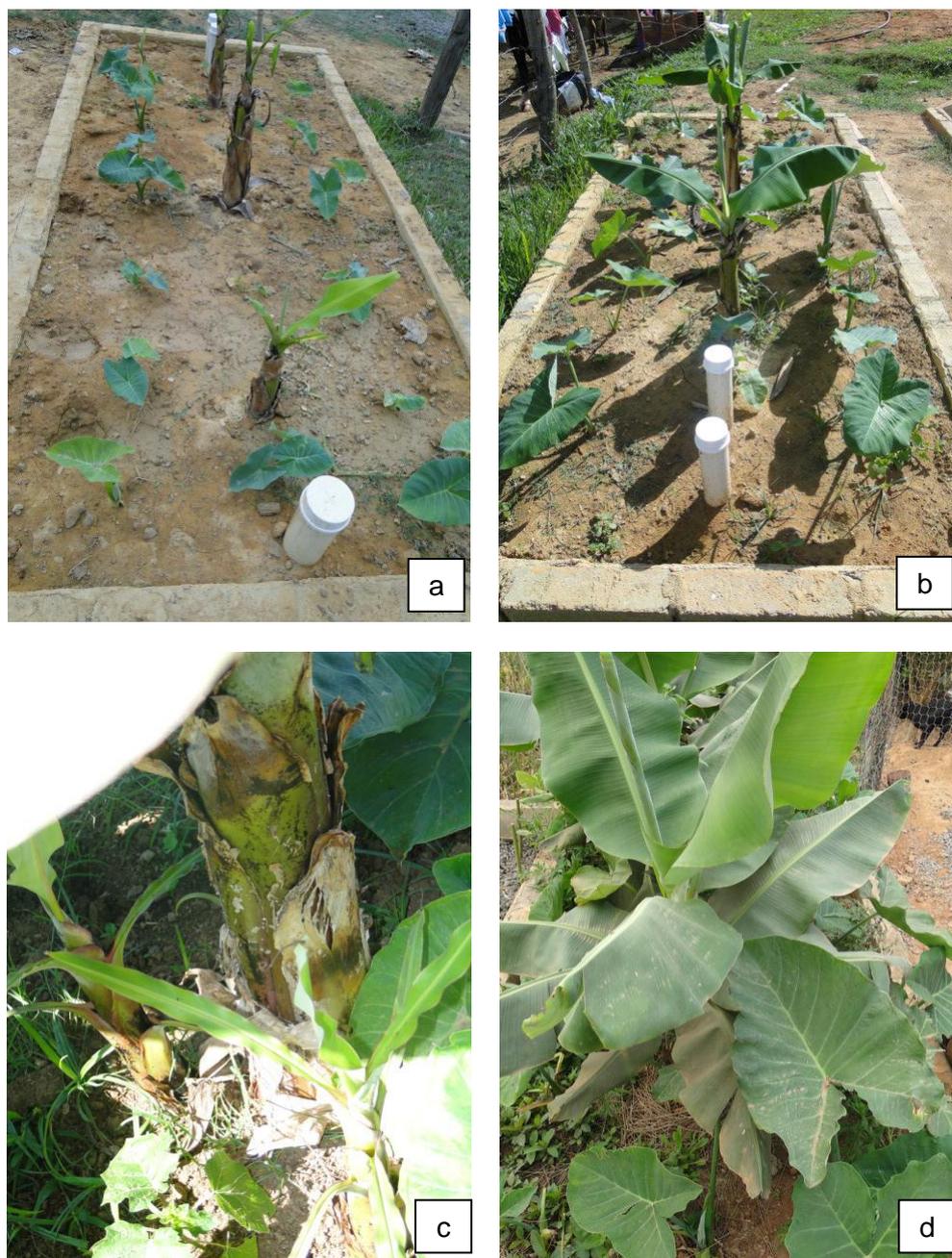
Como descrito anteriormente, os TEvaps foram plantados com mudas de banana-nanica (*Musa paradisiaca*) e taioba (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott), em 10/02/2012 e seu crescimento foi observado por registros fotográficos ao longo do tempo de monitoramento dos sistemas.

Todas as mudas tiveram boa adaptação nos TEvaps, necessitando, inicialmente, de uma rega diária, o que durou por, aproximadamente, 15 dias. As primeiras mudas de bananeira apareceram com cerca de dois meses e meio após o plantio, sendo algumas retiradas e transplantadas em outros locais, para que não houvesse um excesso de bananeiras no sistema,

deixando-se apenas três em cada touceira. A produção de mudas não era uma expectativa do trabalho, porém, foi um resultado positivo.

Na Figura 2.18 observa-se o crescimento da vegetação, durante o período de monitoramento do sistema.

Figura 2.18 - Plantio das mudas (a), 1 mês após o plantio (b), 3 meses após o plantio, com o aparecimento de mudas, (c) 4 meses após o plantio (d)



As taiobas tiveram um bom desempenho em crescimento e em produtividade, principalmente após dois meses de plantio, quando teve início o deslocamento do efluente no solo, por capilaridade, até as raízes das plantas.

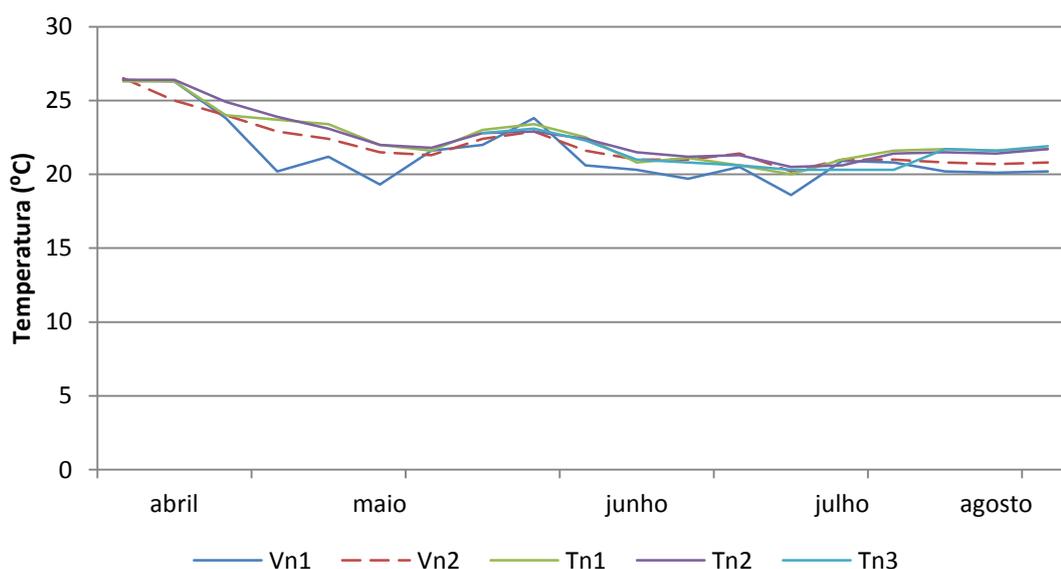
2.6.1.3 Desempenho dos sistemas em monitoramento

O desempenho do TEvap foi avaliado por meio do monitoramento das variáveis de pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos em suspensão (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos fixos (SSF), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), coliformes totais e *E.coli*.

As medições de temperatura foram realizadas durante a coleta de amostras, por volta de 9h da manhã, portanto, não demonstra a variação real da temperatura ao longo do dia. Como o sistema foi construído abaixo do nível do solo e não apresenta lâmina d'água, houve uma menor condução de energia térmica no sistema, como também observado por Monteiro (2009).

Observa-se, no gráfico da Figura 2.19, que não houve grandes amplitudes de temperatura no interior dos sistemas. Isso é vantajoso, pois grandes oscilações de temperatura influenciam a cinética de remoção de substrato pelos microrganismos.

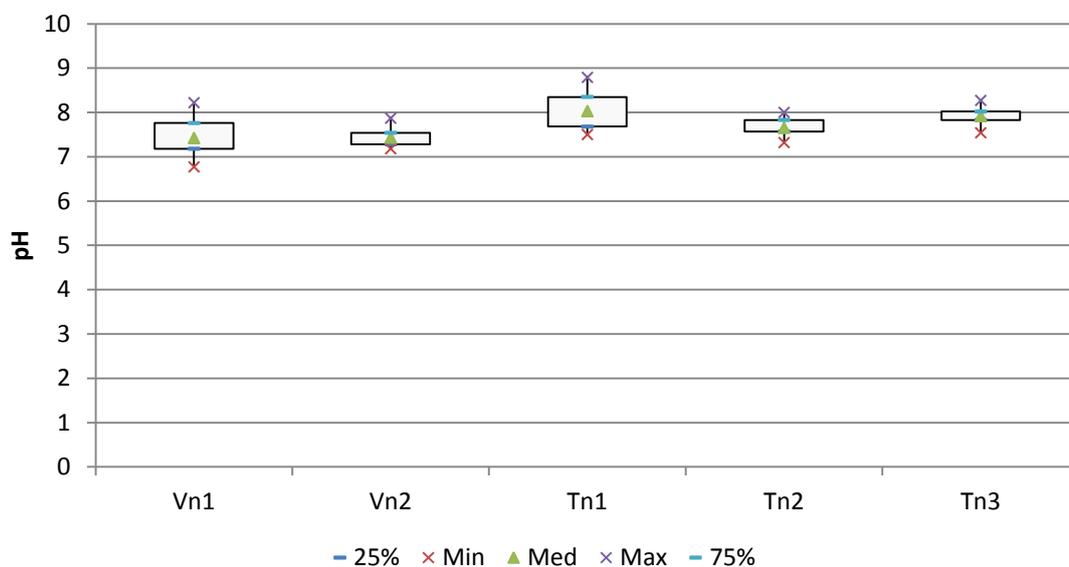
Figura 2.19 - Variação da temperatura do líquido nos TEvap



O pH no ponto Vn1 manteve-se perto da neutralidade (7,42), enquanto o Tn1 teve média de 8,03. Ambos os valores corroboram os encontrados por Galbiati (2009) e Rebouças (2007), que obtiveram pH com média de 7,84 e 7,5, respectivamente. Rêbello (2011) também obteve valores semelhantes de pH, encontrando média de 7,3, chegando a um valor máximo de 7,8.

Os valores de pH nos pontos Vn2, Tn2 e Tn3 obtiveram médias semelhantes de pH, com valores de 7,43, 7,65 e 7,92, respectivamente. Observa-se, na Figura 2.20, que não houve grande variação nos valores de pH ao longo do tratamento, o que também foi constatado por Gabitati (2009), que encontrou, na saída do sistema, pH com valor médio de 7,81.

Figura 2.20 - Variação do pH nos TEvap



Os valores de pH apresentaram-se perto da neutralidade, condição ideal para a mais rápida degradação da matéria orgânica.

A turbidez é um parâmetro de análise dos sólidos suspensos no líquido. Como era de se esperar, encontraram-se altos valores de turbidez nos afluentes. Galbiati (2009), analisando o afluente do TEvap, encontrou média de 481 UNT, enquanto Rêbello (2011) observou valor bem abaixo, com média de 247 UNT, devido à diluição do efluente. Na Tabela 2-5 apresentam-se os resultados de turbidez.

Tabela 2-5 - Variação da turbidez nos TEvap

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
Turbidez (UNT)	Vn1	850	1120	1590	408	0,36
	Vn2	86,6	153	190	57,78	0,38
	Tn1	901	1173	1600	373	0,32
	Tn2	229	241	253	12	0,05
	Tn3	76	77	79	1,40	0,02

*Desvio padrão;

**Coeficiente de variação

De Vn1 para Vn2 e de Tn1 para Tn2, os sistemas obtiveram, respectivamente, média de 86% e 79% de remoção de turbidez. Do ponto Tn1 para Tn3, a média de remoção foi de 93,4%. Galbiati (2009) encontrou média de 88 UNT no efluente do sistema, valor este próximo ao encontrado no ponto Tn3 (77,4).

Os altos valores de cor (Tabela 2-6) encontrados neste trabalho apresentaram média de 703,4 uC e 828,4 uC, para o efluente dos tanques Vn e Tn, respectivamente, os quais eram esperados, em consequência do menor volume de água, comparado a um esgoto bruto não segregado. Rêbello (2011) obteve média de 411,8 uC, valor relativamente abaixo do encontrado neste trabalho, devido, principalmente, ao fato de o efluente estar mais diluído, com efluente proveniente da pia da cozinha.

Tabela 2-6 - Variação da cor verdadeira nos TEvap

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
Cor verdadeira (uC***)	Vn1	660,0	703,4	750,2	45,2	0,06
	Vn2	198,6	236,1	269,8	35,7	0,15
	Tn1	705,0	828,4	930,1	114,1	0,13
	Tn2	390,0	416,7	460,0	37,8	0,09
	Tn3	125,0	149,1	179,9	28,05	0,19

*Desvio padrão;

**Coeficiente de variação

*** uC: unidade de cor

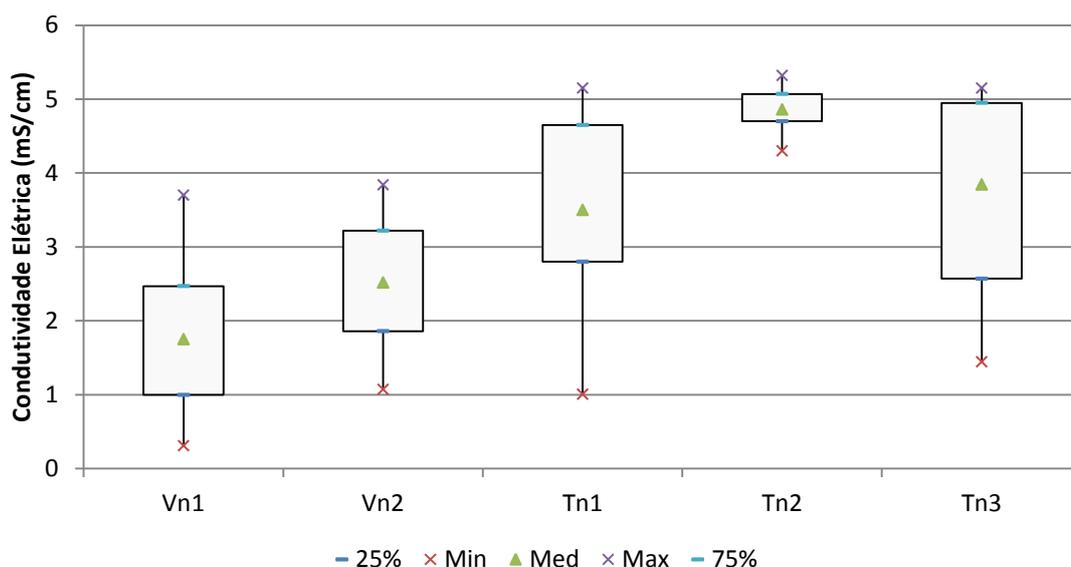
Os sistemas TEvap apresentaram boa remoção de cor ao longo do tratamento. A remoção média de cor de Vn1 para Vn2 foi de, aproximadamente, 66%; já de Tn1 para Tn3, foi de 82%.

A condutividade elétrica encontrada nos afluentes do TEvap teve média de 1,75 e 3,50 mS.cm⁻¹, nos pontos Vn1 e Tn1, respectivamente. Esses valores condizem com os resultados encontrados por Galbiati (2009), que obteve média de 2,22 mS.cm⁻¹.

A condutividade elétrica aumentou ao longo do perfil do tratamento, como observado na Figura 2.21, chegando a valores médios de 2,52 e 4,7 mS.cm⁻¹, para Vn2 e Tn2, respectivamente. Observa-se um decréscimo no valor médio de CE do ponto Tn2 ao Tn3, fato este que pode ser devido à absorção de minerais pela vegetação.

Na saída dos sistemas, Galbiati (2009) obteve média de CE no valor de 2,45 mS.cm⁻¹, valor próximo ao obtido no ponto Vn2.

Figura 2.21 - Variação da condutividade elétrica (CE) nos TEvap

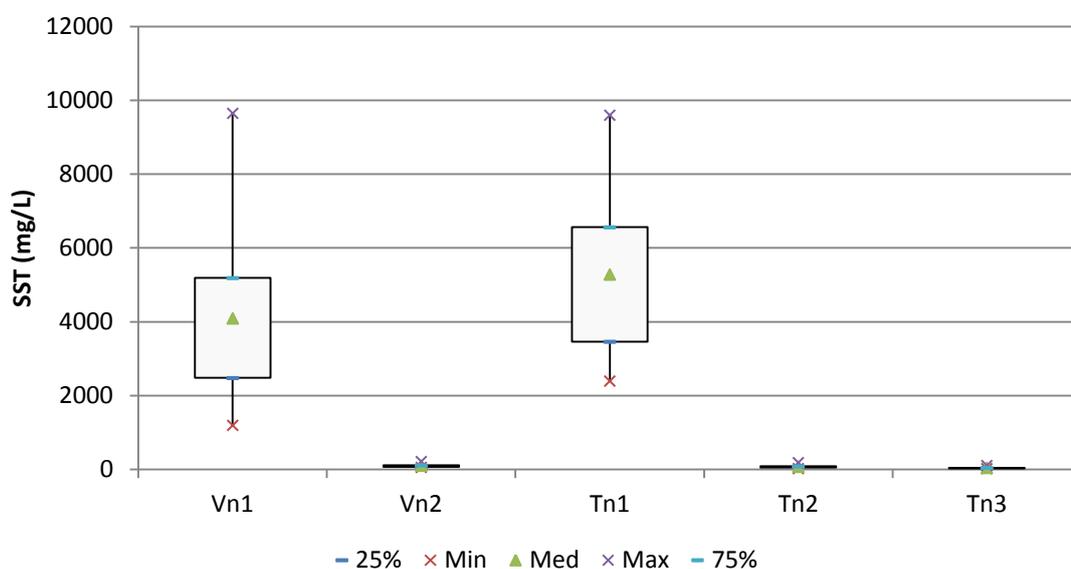


Os valores de SST no afluente aos sistemas foram superiores aos encontrados na literatura. Galbiati (2009) encontrou, no interior do tanque, 385 mg.L⁻¹, enquanto Rebouças (2007) encontrou 2.296 mg.L⁻¹ de SST, valor este um pouco mais próximo do encontrado nos pontos Vn1 e Tn1 que foram, respectivamente, 4.096 mg.L⁻¹ e 5.283 mg.L⁻¹ de sólidos suspensos totais. Na Figura 2.22 ilustra-se a variação dos SST nos TEvap.

As eficiências médias de remoção de SST nos pontos Vn1 para Vn2 e Tn1 para Tn2 foram, respectivamente, 97,3% e 98,5%, e de Tn1 para Tn3 alcançou eficiência média de 98,8%.

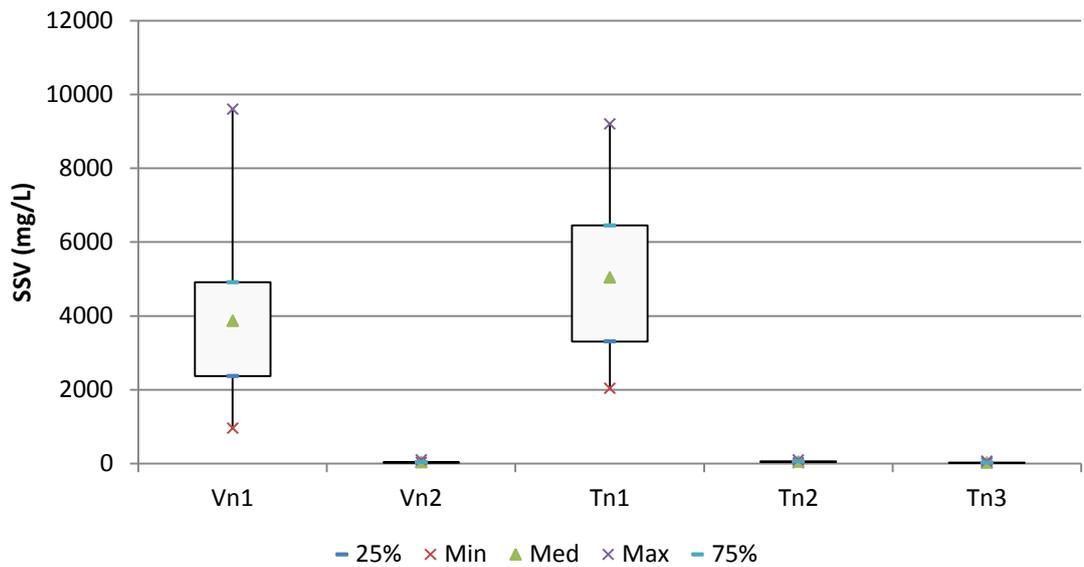
Os valores de eficiência de remoção obtidos foram superiores aos 90% obtidos por Galbiati (2009). Entretanto, a mesma autora encontrou média de 37,74 mg.L⁻¹ na saída do TEvap, valor próximo ao encontrado neste trabalho, no ponto Tn3 (48,5 mg.L⁻¹).

Figura 2.22 - Variação dos sólidos suspensos totais (SST) nos TEvap



Os valores encontrados de sólidos suspensos voláteis (SSV), nos afluentes aos sistemas foram relativamente altos, devido à elevada quantidade de matéria orgânica facilmente degradável no esgoto bruto.

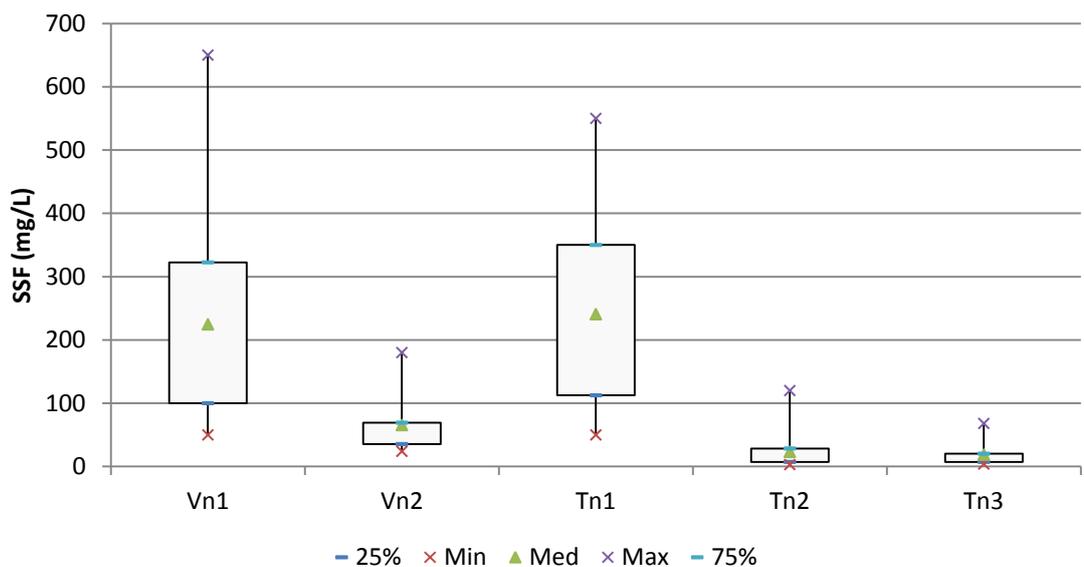
Figura 2.23 - Variação dos sólidos suspensos voláteis (SSV) nos TEvap



As eficiências médias de remoção de SSV nos pontos Vn1 para Vn2 e Tn1 para Tn2 apresentaram valores da ordem de 98,9%. Já de Tn1 para Tn3, alcançou eficiência média de 99,4%.

Valores de sólidos suspensos fixos (SSF) foram semelhantes em ambos os afluentes, com valores médios de 224,64 mg.L⁻¹ e 240,71 mg.L⁻¹, para os pontos Vn1 e Tn1, respectivamente.

Figura 2.24 - Variação dos sólidos suspensos fixos (SSF) nos TEvap

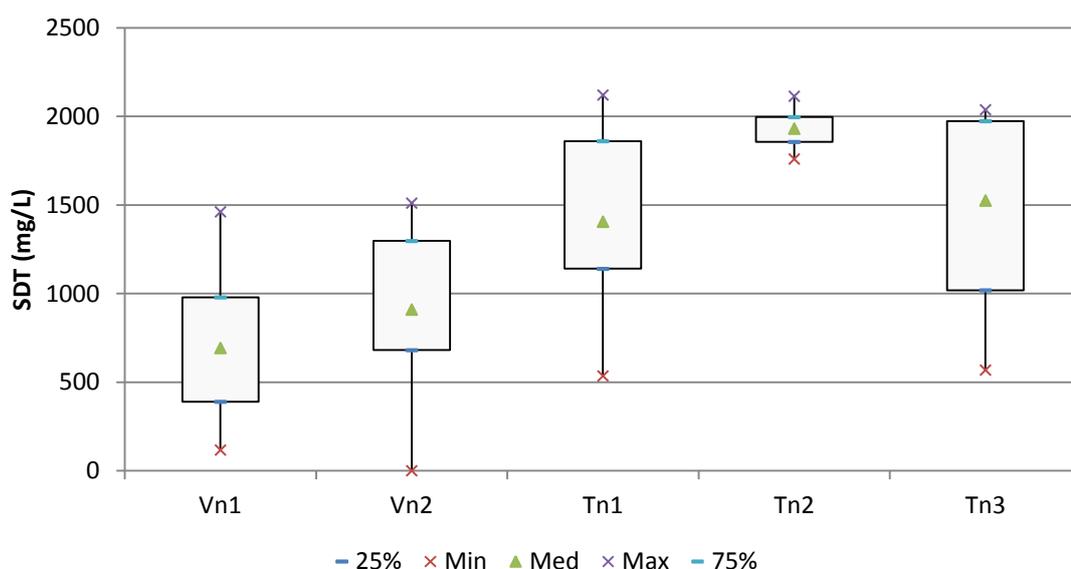


As eficiências médias de remoção de SSF nos pontos Vn1 para Vn2 e Tn1 para Tn2 foram de 70,8% e 90,3%, respectivamente. Do ponto Tn2 para Tn3, houve uma ligeira diminuição no valor, sendo a eficiência de remoção entre os pontos de apenas 19%.

Os valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) aumentaram durante a etapa de tratamento, em ambos os sistemas. Esse acréscimo está associado à hidrólise do material orgânico.

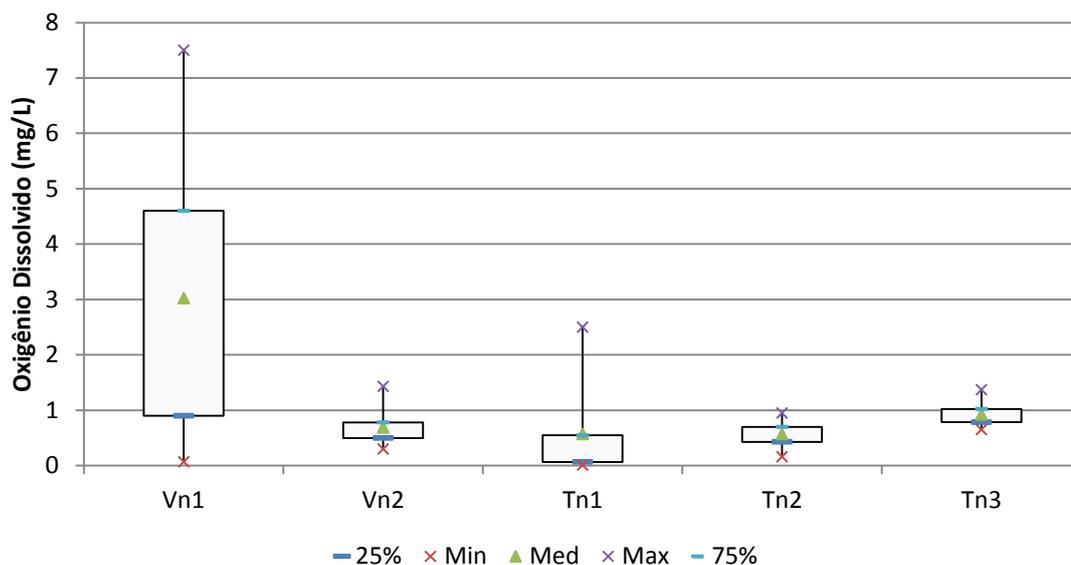
Do ponto Tn2 a Tn3 não houve grandes alterações na média, mas podem ser observados, na Figura 2.25, valores inferiores à média no ponto Tn3 em relação ao Tn2. A diminuição nesta parcela pode estar associada à adsorção das partículas iônicas nas argilas contidas no solo.

Figura 2.25 - Variação dos sólidos dissolvidos totais (SDT) nos TEvap



Os valores de oxigênio dissolvido na entrada dos sistemas foram discrepantes. Durante as coletas na tubulação de entrada ao TEvap, observou-se o uso do vaso sanitário, o que pode ter ocasionado o aumento da concentração do oxigênio no meio. Galbiati (2009) encontrou ausência de oxigênio dissolvido no efluente do TEvap. No ponto Tn1, foi encontrada baixa concentração de O_2 ($0,57 \text{ mg.L}^{-1}$).

Figura 2.26 - Variação do oxigênio dissolvido (OD) nos TEvap

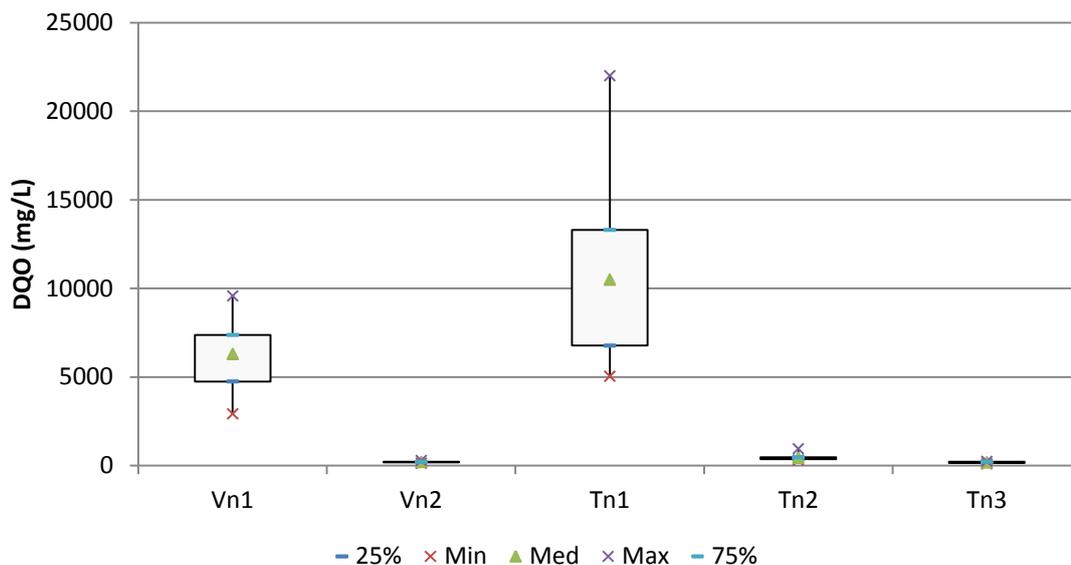


O material orgânico foi analisado utilizando-se os parâmetros de Demanda DQO e DBO_5 . Ambos os sistemas obtiveram elevadas eficiências na remoção de matéria orgânica.

A DQO nos afluentes apresentou valores ligeiramente discrepantes, com médias de 6.155 mg.L^{-1} e 9.054 mg.L^{-1} , nos pontos Vn1 e Tn1, respectivamente. Rebouças (2007) obteve média de DQO de 6.857 mg.L^{-1} , valor próximo ao Vn1. Panikkar (2003) também obteve valores semelhantes, que variaram de 2.000 a 6.000 mg.L^{-1} .

Já Galbiati (2009) encontrou, para DQO, média de 723 mg.L^{-1} , valor bem abaixo dos encontrados neste trabalho e por outros autores, fato ocasionado pelo fato de o ponto de coleta ser dentro da câmara de digestão, onde o efluente já está passando pela decantação e a degradação parcial da matéria orgânica. Rebêlo (2011) também constatou baixos valores para DQO ($421,2 \text{ mg.L}^{-1}$), pelo fato de, em sua composição, estar associado o efluente da pia da cozinha e o ponto de coleta ser em uma camada líquida de menor concentração.

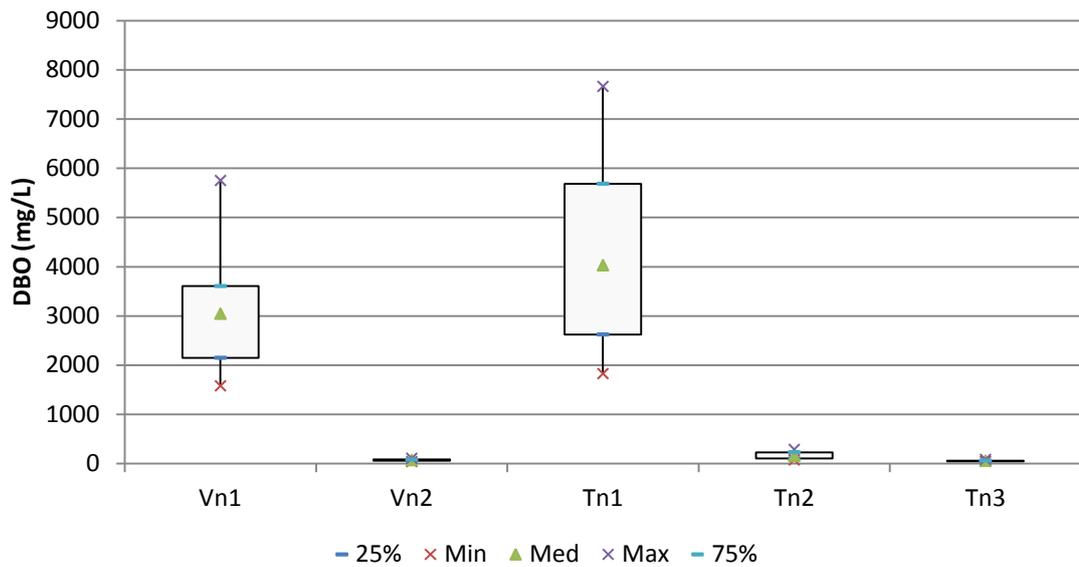
Figura 2.27 - Variação da demanda química de oxigênio (DQO) nos TEvap



As eficiências médias de remoção de DQO nos pontos Vn1 para Vn2 e Tn1 para Tn2 foram de 96,7% e 95%, respectivamente. Do ponto Tn1 para Tn3 houve remoção de 97,7%. Na saída do sistema, Galbiati (2009) constatou valores próximos ao encontrado no ponto Tn2, que foram, respectivamente, de 406 e 418 mg.L⁻¹.

Como era esperado, os afluentes apresentaram altos valores de DBO, com médias de 2.902 mg.L⁻¹ e 3.522 mg.L⁻¹, em Vn1 e Tn1, respectivamente. Esses valores corroboram os relatados por Panikkar (2003), que obteve variação de 2.000 a 3.000 mg.L⁻¹. Já Rebouças (2007) encontrou valor médio de 1.757 mg.L⁻¹ e Galbiati (2009). 360 mg.L⁻¹.

Figura 2.28 - Variação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) nos TEvap



As eficiências médias de remoção de DBO₅ foram semelhantes às de DQO, nos pontos Vn1 para Vn2 e Tn1 para Tn2, apresentando valores médios de 97,4% e 96,4%, respectivamente. Do ponto Tn1 para Tn3, houve remoção de 98,3%. A eficiência de remoção do ponto Tn2 para Tn3 foi de 55%. Na saída do sistema, Galbiati (2009) encontrou valores próximos aos encontrados no ponto Vn2, que foram, respectivamente, de 72,74 mg.L⁻¹ e 74,40 mg.L⁻¹.

Como era esperado, houve um aumento na relação DQO/DBO ao longo do tratamento, como se observa na Tabela 2-7. Isso indica a diminuição da fração biodegradável, sendo que a fração inerte permanece praticamente inalterada.

Os valores relativamente baixos na relação DQO/DBO, encontrados em Vn1 e Tn1, indicam média/alta biodegradabilidade do efluente. Segundo von Sperling (2005), uma relação de DQO/DBO menor que 2,5 indica que a fração biodegradável é elevada.

Tabela 2-7 - Relação entre a demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), durante o monitoramento nos TEvap

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
DQO/DBO	Vn1	1,54	2,30	3,76	0,70	0,30
	Vn2	1,95	2,91	4,08	0,73	0,25
	Tn1	1,21	2,62	4,27	0,93	0,36
	Tn2	1,48	3,36	6,60	1,80	0,53
	Tn3	1,29	3,36	4,63	0,98	0,29

*Desvio padrão; **Coeficiente de variação

Já nos pontos Vn2, Tn2 e Tn3, a relação DQO/DBO é intermediária porque, segundo von Sperling (2005), a fração biodegradável já não é mais elevada, principalmente em relação aos dois últimos pontos, com valores de 3,36, apresentando fração inerte elevada.

Na Tabela 2-8 estão representados os resultados obtidos de coliformes totais (CT) e *E. coli*, nos pontos de coleta do TEvap. A água negra bruta apresentou concentrações médias de CT e *E. coli*, da ordem de 10^7 e 10^6 NMP/100mL, respectivamente.

Nos trabalhos desenvolvidos por Galbiati (2009), foram detectados $1,65 \cdot 10^7$ NMP/100mL para CT e $5,15 \cdot 10^6$ NMP/100 mL para *E. coli*, valores próximos aos encontrados no presente trabalho. Já Rebelo (2011) obteve valores inferiores, da ordem de 10^5 para CT e *E. coli*, enquanto Rebouças (2007) encontrou valores mais elevados, da ordem de 10^9 NMP/100mL.

Tabela 2-8 - Resultados das análises microbiológicas nos TEvap

Parâmetro	n**	Amostras				
		Vn1	Vn2	Tn1	Tn2	Tn3
CT (NMP*/100mL)	(2)	$2,4 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^2$
<i>E. coli</i> (NMP*/100mL)	(2)	$1,6 \cdot 10^6$	$9,2 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^1$

*NMP: número mais provável;

**Número de amostras

Os valores de ambos os parâmetros analisados decaíram substancialmente ao longo do perfil de tratamento. Para CT, os resultados encontrados chegaram à ordem de 10^4 , 10^3 e 10^2 NMP/100 mL, nos pontos

Vn2, Tn2 e Tn3, respectivamente e, para *E. coli*, na ordem 10^1 NMP/100 mL, no ponto Tn3.

2.6.1.4 Análise foliar

Analisando a parte aérea das taiobas, talos e folhas, em relação a coliformes totais e coliformes termotolerantes, utilizando a técnica de tubos múltiplos, os resultados foram menores que 3 NMP/g (número mais provável por grama) para ambos os parâmetros. Em relação à *Escherichia coli*, encontrou-se resultado menor que 10^2 UFC/g (unidades formadoras de colônia por grama). Apesar de as análises realizadas não detectarem a presença de nenhum dos parâmetros, os valores apontados são utilizados por motivos de segurança, de acordo com o recomendado pela ANVISA (BRASIL, 2011).

Galbiati (2009) detectou a presença de coliformes totais de $1,1 \times 10^4$ NMP/g, nas amostras de partes aéreas de taiobas plantadas em um TEvap. No entanto, não foi detectada a presença de coliformes termotolerantes nas mesmas amostras.

A partir dessas informações, pode-se afirmar que não existe contaminação fecal nas partes aéreas das taiobas. De acordo com a Resolução nº12, de 2 janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), que regulamenta os padrões microbiológicos para alimentos, para hortaliças frescas, in natura e preparadas, o valor máximo admitido de coliformes termotolerantes/g é de 10^2 e ausência para *Salmonella* sp. por 25g. Em relação aos coliformes, os valores encontrados estão de acordo com a Resolução e, como não há indício de contaminação fecal nas amostras, é provável que haja ausência de *Salmonella* sp., pois são habitantes específicas de fezes.

2.6.2 Wetland construído

Os sistemas foram acompanhados, desde o início de seu funcionamento, observando-se eventuais problemas que poderiam interferir no desempenho. As amostras foram coletadas após um mês de início de operação, permitindo

um tempo para a fixação dos microrganismos, a adaptação das macrófitas e uma estabilidade do fluxo do líquido no interior dos WC.

2.6.2.1 Quantificação da produção de águas cinzas

Para a mensuração do volume de água cinza produzido nas residências, foram realizadas apenas duas campanhas, de 7h às 21h, em intervalos de 1 hora de coleta. Diante da dificuldade desta etapa e do incômodo que era proporcionados aos moradores, poucas campanhas foram então realizadas.

Para se ter uma média relativamente considerável de consumo por dia de água cinza, optou-se por fazer as coletas em dias que tivessem consumos em faixas extremas, com menor e maior consumo de água na semana. Essa informação foi coletada nas conversas realizadas com as famílias.

As médias de consumo de água cinza foram semelhantes nos WC, Tc e Vc, sendo que Lc teve um menor consumo, com valores de 541,6 L.dia⁻¹, 547,8 L.dia⁻¹, 355,8 L.dia⁻¹, respectivamente.

2.6.2.2 Desempenho das macrófitas nos WC

Como foi demonstrado no item 2.4.2.5, foram utilizados lírios-do-brejo (*Hedychium coronarium*) em todos os WC. Para a avaliação do desenvolvimento das macrófitas foram realizados registros fotográficos (Figura Figura 2.29) desde o plantio das mesmas.

Foi observado, após um mês de plantio, o aparecimento de brotos em praticamente todas as mudas, havendo perdas de, aproximadamente, 25% em cada sistema, localizadas, em grande parte, no primeiro terço dos tanques, tendo sido repostas logo no primeiro mês, para que não houvesse influência no desempenho dos sistemas. A alta carga de matéria orgânica no início do leito pode ter influenciado a adaptação das mudas, já que elas não são tão resistentes a ela. Este problema pode ser solucionado com a utilização de água potável antes do início de operação do sistema, para melhor adaptação da vegetação.

Em relação ao desenvolvimento das plantas, foi observado que não houve um grande crescimento dos lírios nos WC, fato também relatado por

Mendonça (2011), principalmente no primeiro terço do tanque. A ocorrência desse fato pode ser devido à alta incidência solar na época de plantio, ao aquecimento das pedras britadas em todo o leito e à baixa concentração de nutrientes prontamente disponíveis, principalmente na parte inicial dos WC. Santos *et al.* (2005) relatam que áreas com maior umidade e sombreamento entre aproximadamente 60% e 80% potencializam o crescimento e o desenvolvimento da vegetação. Mendonça (2011) observou que ambientes sombreados por vegetações de grande porte, às margens de riachos, parecem oferecer condições ideais para o desenvolvimento dessas espécies.

Figura 2.29 - Plantio do *Hedychium coronarium* (a), surgimento de brotos no 1º mês (b), desenvolvimento do *Hedychium coronarium* no 3º mês (c)



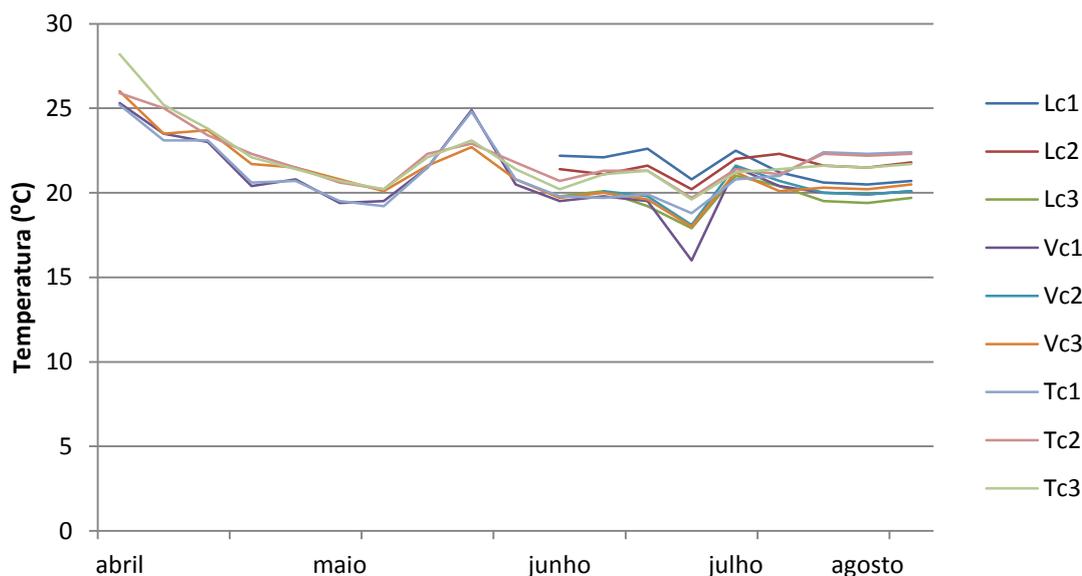
Como consequência do baixo crescimento, não houve necessidade de manejo das macrófitas, apenas a retirada de algumas folhas secas.

2.6.2.3 Desempenho dos sistemas em monitoramento

Foram avaliados o desempenho dos WC em relação ao pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólidos em suspensão (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos fixos (SSF), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio orgânico, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, coliformes totais e *E.coli*.

A temperatura, durante o monitoramento dos sistemas, teve uma oscilação entre 16,0 °C e 26,0 °C. Do mês de abril ao de maio, observou-se uma queda gradual de temperatura, mantendo-se constante até o final do monitoramento. Apesar disso, não houve mudanças bruscas na temperatura que pudessem afetar a ação dos microrganismos. No gráfico da Figura 2.30 apresenta-se o comportamento da temperatura do líquido, durante o período de monitoramento.

Figura 2.30 - Variação da temperatura do líquido, ao longo do período de monitoramento nos WC

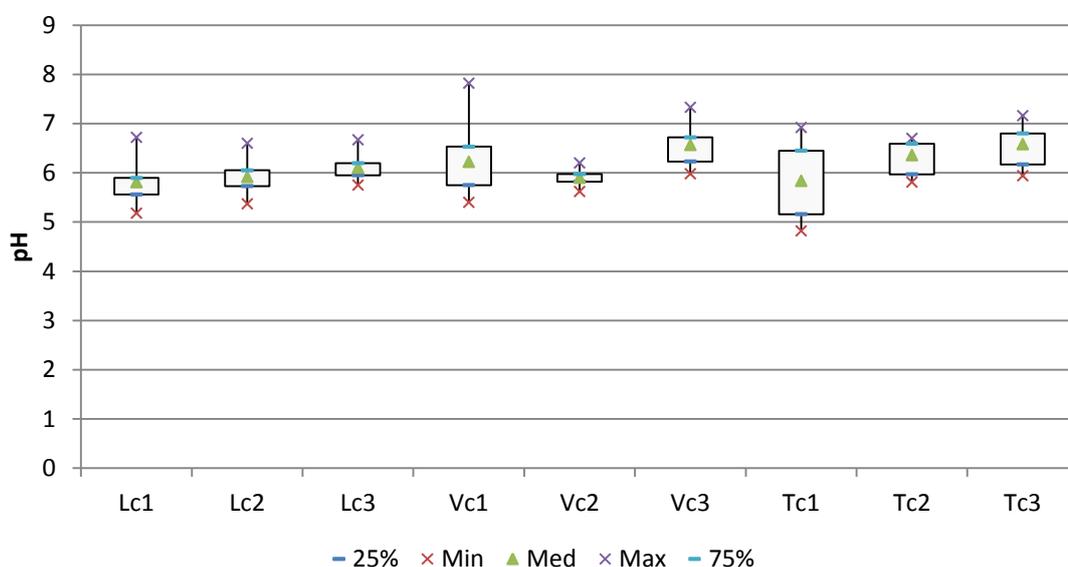


Os números de pH ao longo do tratamento sofreram um ligeiro aumento, tendendo à neutralidade, como se observa na Figura 2.31. Os afluentes apresentaram média de 5,81, 6,22 e 5,84, nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1, respectivamente. Begosso (2009), na entrada do sistema, obteve pH de 5,7, enquanto Rebouças (2007), Bazzarela (2005) e Borges (2003) encontraram médias de pH de 7,1, 7,05 e 7,2, respectivamente.

Os baixos pH encontrados nos afluentes do presente trabalho e de Begosso (2009), comparados aos de outros autores, devem-se ao fato da contribuição do efluente da pia da cozinha em sua composição. Bazzarela (2005), analisando o efluente da pia da cozinha, obteve pH de 5,14.

Nas saídas dos sistemas, nos pontos Lc3, Vc3 e Tc3, obtiveram-se médias de pH 6,11, 6,57 e 6,58, respectivamente. Begosso (2009) obteve pH com média de 7,1, assim como Monteiro (2009), em cujo trabalho o pH manteve-se próximo da neutralidade.

Figura 2.31 - Variação do pH nos WC



Os valores de turbidez nos afluentes aos WC foram superiores aos encontrados na literatura, sendo 566,7, 628,3 e 426,7 UNT, nos pontos, Lc1, Vc1 e Tc1, respectivamente. Begosso (2009) obteve 292 UNT na água cinza bruta e Bazzarela (2005) encontrou 166 UNT.

Em relação aos efluentes, os sistemas Lc, Vc e Tc obtiveram, respectivamente, médias de remoção de turbidez de 86%, 93% e 87%.

Tabela 2-9 - Variação da turbidez nos WC

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
Turbidez (UNT***)	Lc1	530	566,7	600	35,12	0,06
	Lc2	300	305	310	5,00	0,02
	Lc3	73,5	79,2	86,4	6,57	0,08
	Vc1	590	628,3	665	37,53	0,06
	Vc2	272	295,3	320	24,03	0,08
	Vc3	40	41,5	43	1,5	0,04
	Tc1	390	426,7	460	35,12	0,08
	Tc2	310	338,3	385	40,72	0,13
	Tc3	52,6	53,8	55	1,21	0,02

*Desvio padrão; **Coeficiente de variação

*** UNT: unidade nefelométrica de turbidez

Nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1, obtiveram-se valores de cor médios de 164,8, 87,9 e 79,3 uC. Esses valores corroboram os resultados de pesquisa desenvolvida pela UFSC em uma residência unifamiliar, caracterizando água cinza bruta, proveniente do lavatório, chuveiro e tanque de lavar roupas, tendo sido encontrado valor médio de cor de aproximadamente 100 uC. Borges (2003) encontrou valor médio de 52,3 uC e Monteiro (2009) relatou valores mais altos, que variaram de 300 a 350 uC.

Observaram-se valores discrepantes na remoção de cor, com 75%, 45% e 23%, para os sistemas Lc, Vc e Tc, respectivamente. Monteiro (2009) obteve, na saída, valores de cor variando de 50 a 100 uC, o que confirma os encontrados nas saídas dos WC, neste trabalho. Na Tabela 2-10 apresentam-se os valores de cor verdadeira.

Tabela 2-10 - Variação da cor verdadeira nos WC

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
Cor verdadeira (uC***)	Lc1	112,0	164,8	262,3	84,56	0,51
	Lc2	32,0	40,9	53,0	10,87	0,27
	Lc3	37,6	40,2	43	2,71	0,07
	Vc1	63,8	87,9	110,1	23,21	0,26
	Vc2	35,0	50,0	70,0	18,03	0,36
	Vc3	38,0	48,1	65,0	14,72	0,31
	Tc1	69,0	79,3	86,3	9,08	0,11
	Tc2	59,0	61,1	63,4	2,20	0,04
	Tc3	59,9	61,0	62,0	1,05	0,02

*Desvio padrão;

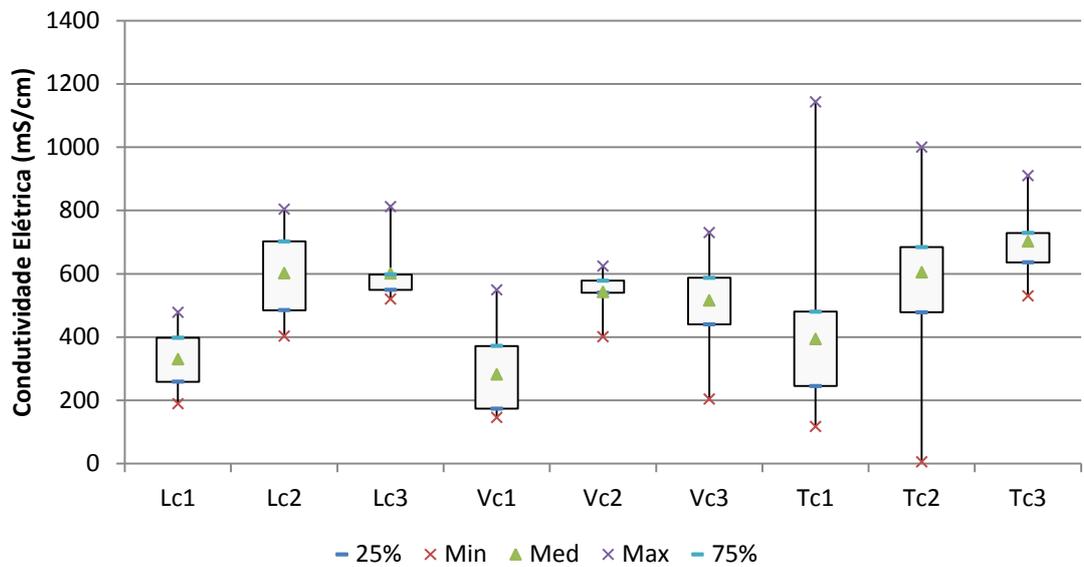
**Coeficiente de variação

*** uC: unidade de cor

Os resultados encontrados de condutividade elétrica na água cinza bruta, $330,0 \text{ mS.cm}^{-1}$, $281,9 \text{ mS.cm}^{-1}$ e $393,94 \text{ mS.cm}^{-1}$, para Lc1, Vc1 e Tc1, respectivamente, assemelham-se aos encontrados por Begosso (2009), com média de 298 mS.cm^{-1} e Rebêlo (2011), de 323 mS.cm^{-1} .

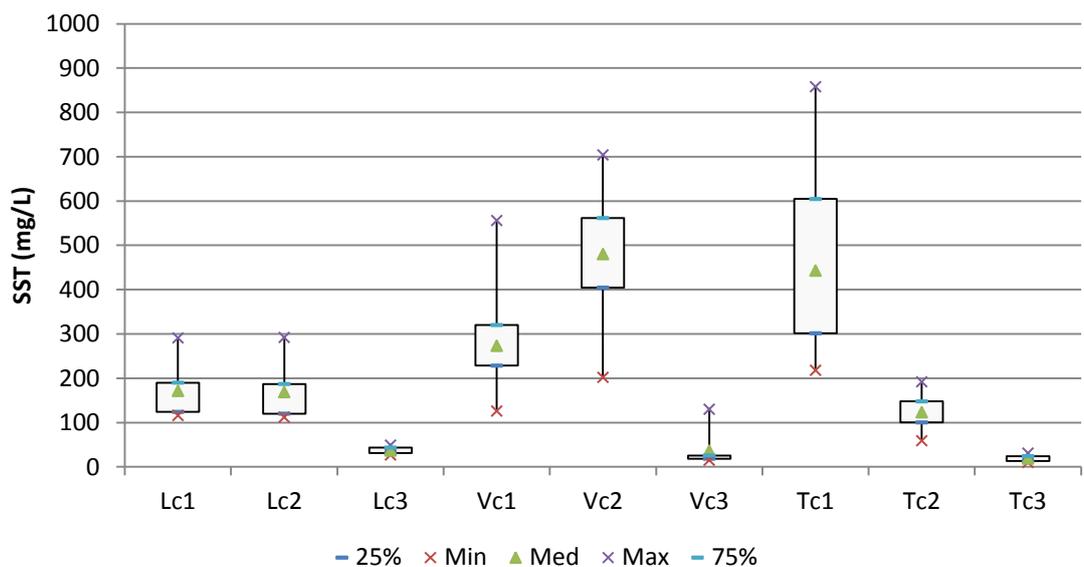
Houve um aumento na condutividade elétrica durante o tratamento, como mostrado na Figura 2.32. Isso se deve ao fato da liberação de íons durante a decomposição da matéria orgânica. Os valores médios de CE nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1 foram de 601 mS.cm^{-1} , $515,7 \text{ mS.cm}^{-1}$ e $702,2 \text{ mS.cm}^{-1}$. Não se observou uma variação média considerável nos pontos intermediários aos WC.

Figura 2.32 - Variação da condutividade elétrica (CE) nos WC



Os altos valores obtidos de sólidos suspensos totais (SST) (Figura 2.33), devem-se ao fato do acúmulo de sólidos na caixa de passagem e da periodicidade desigual de limpeza em relação às três residências. Os valores médios afluentes de SST obtidos nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1 foram de 171 mg.L⁻¹, 273 mg.L⁻¹ e 443 mg.L⁻¹, respectivamente. Begosso (2009) e Bazarella (2005) obtiveram médias de 154 mg.L⁻¹ e 134 mg.L⁻¹, respectivamente.

Figura 2.33 - Variação dos sólidos suspensos totais (SST) nos WC

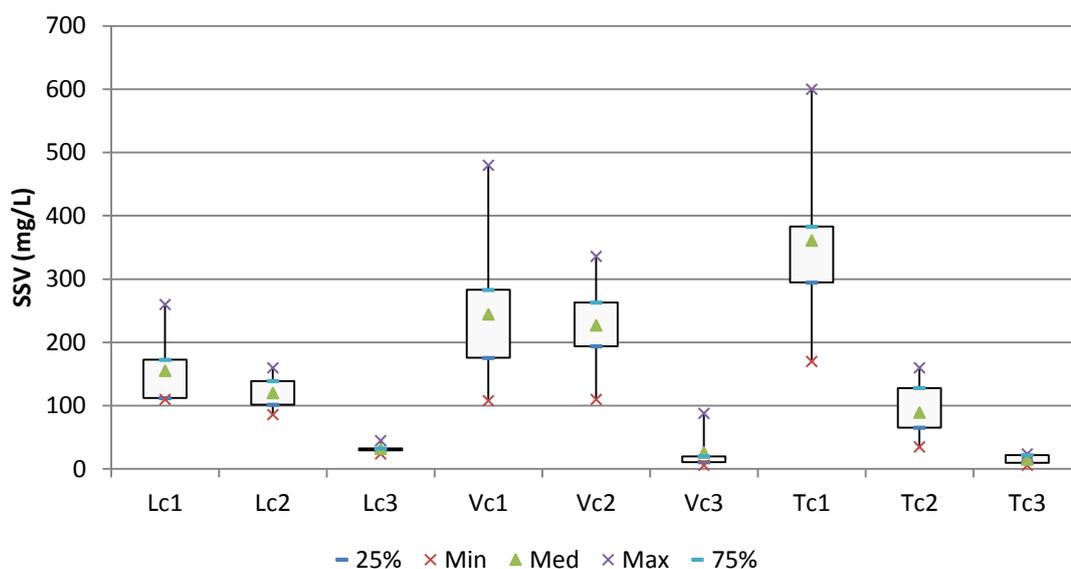


Como era de se esperar, ao longo do tratamento, houve uma diminuição nos valores de SST. No ponto Vc2, houve um aumento da concentração de SST devido ao acúmulo de lodo no líquido da tubulação de coleta, fato observado durante as coletas.

Os valores de SST nos efluentes tiveram pouca discrepância, com médias de 37 mg.L⁻¹, 36 mg.L⁻¹ e 19 mg.L⁻¹, nos pontos Lc3, Vc3 e Tc3. Begosso (2009) encontrou no efluente ao WC-FH 101,9 mg/L e, no final do sistema (WC-FH e WC-FV), 6,0 mg.L⁻¹.

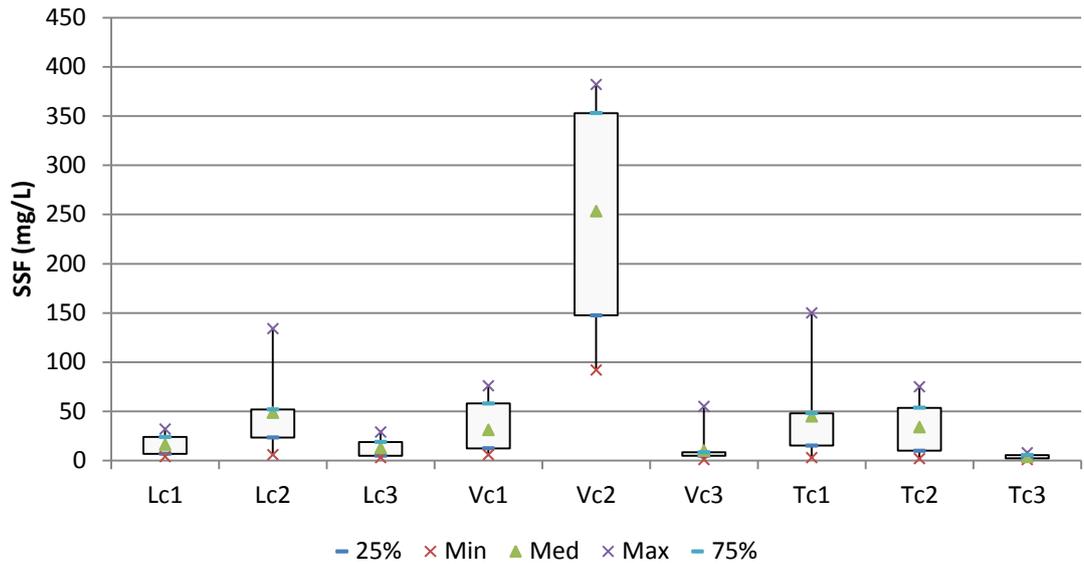
Em relação aos sólidos suspensos voláteis (SSV) (Figura 2.34), nos pontos Lc1, Vc1 e Tc3, foram encontrados os resultados médios de 155 mg.L⁻¹, 244 mg.L⁻¹ e 361 mg.L⁻¹. Assim como em relação aos SST, os valores finais de SSV tiveram decaimento, atingindo média de 32 mg.L⁻¹, 26 mg.L⁻¹ e 15 mg.L⁻¹, nos pontos Lc3, Vc3 e Tc3, respectivamente.

Figura 2.34 - Variação dos sólidos suspensos voláteis (SSV) nos WC



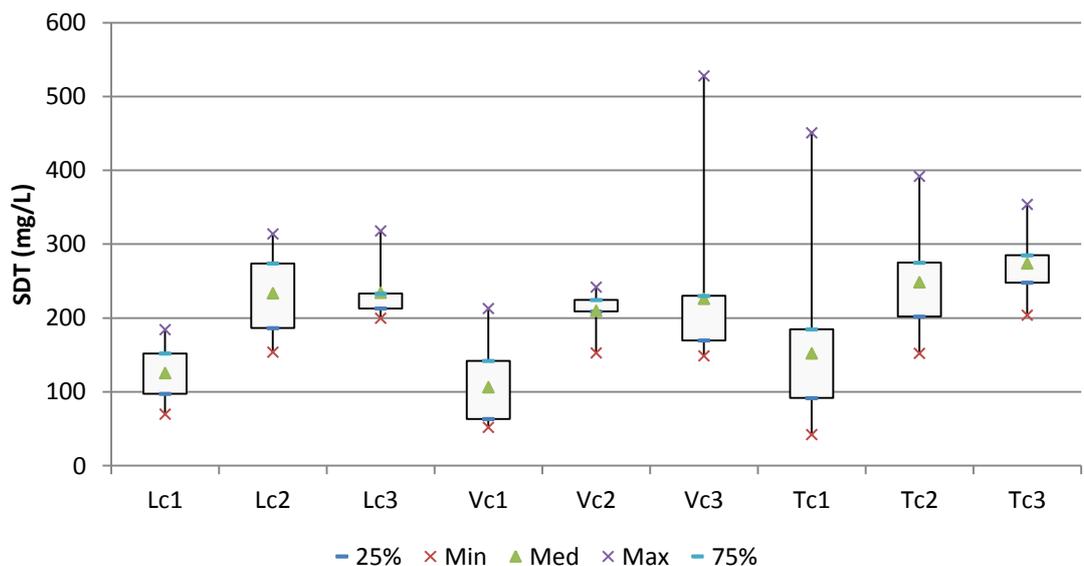
Nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1, obtiveram-se valores médios de SSV de 155 mg.L⁻¹, 244 mg.L⁻¹ e 361 mg.L⁻¹, respectivamente. Nos efluentes dos WC, não houve grandes reduções nos valores médios finais, sendo 12 mg.L⁻¹, 10 mg.L⁻¹ e 3 mg.L⁻¹, nos pontos Lc3, Vc3 e Tc3, respectivamente, sendo este último com maior eficiência de remoção, como pode ser observado na Figura 2.35.

Figura 2.35 - Variação dos sólidos suspensos fixos (SSF) nos WC



Como era esperado, os valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) aumentaram, durante a etapa de tratamento, em ambos os sistemas. Esse acréscimo está associado à hidrólise do material orgânico, aumentando os sais minerais no líquido. Observa-se, na Figura 2.36, que os valores médios de SDT, nos pontos intermediários e finais dos WC, não tiveram praticamente nenhuma alteração

Figura 2.36 - Variação dos sólidos dissolvidos totais (SDT) nos WC



Os resultados referentes aos compostos nitrogenados analisados (nitrogênio orgânico, amoniacal e kjeldahl) estão resumidos na Tabela 2-11.

Tabela 2-11 - Variação dos compostos nitrogenados nos WC

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
Nitrogênio orgânico (mg/L)	Lc1	3,60	3,71	3,90	0,13	0,03
	Lc2	0,89	1,18	1,60	0,31	0,26
	Lc3	0,56	0,85	1,40	0,38	0,40
	Vc1	3,10	3,52	3,95	0,42	0,12
	Vc2	1,20	1,38	1,68	0,21	0,15
	Vc3	0,45	0,76	1,30	0,38	0,50
	Tc1	3,12	3,88	4,70	0,66	0,17
	Tc2	0,90	1,22	1,90	0,48	0,39
	Tc3	0,45	0,84	1,90	0,71	0,85
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Lc1	0,45	0,70	1,00	0,25	0,35
	Lc2	4,14	9,97	17,60	5,74	0,58
	Lc3	6,05	9,10	12,00	2,54	0,28
	Vc1	0,56	1,25	2,30	0,78	0,62
	Vc2	5,60	7,84	9,40	1,69	0,22
	Vc3	5,15	7,52	10,64	2,36	0,31
	Tc1	0,56	0,99	1,20	0,29	0,29
	Tc2	3,81	5,86	7,60	1,98	0,34
	Tc3	4,48	5,77	7,30	1,45	0,25
NTK (mg/L)	Lc1	4,13	4,41	4,68	0,27	0,06
	Lc2	5,15	11,15	19,20	6,02	0,54
	Lc3	6,61	9,96	13,40	2,86	0,29
	Vc1	4,35	4,77	5,40	0,45	0,09
	Vc2	7,28	9,22	10,70	1,55	0,17
	Vc3	5,87	8,28	11,09	2,33	0,28
	Tc1	4,24	4,87	5,80	0,74	0,15
	Tc2	4,70	7,08	8,80	1,90	0,27
	Tc3	4,93	6,61	9,20	2,04	0,31

*Desvio padrão;

**Coeficiente de variação

O ciclo de nitrogênio em ambientes anaeróbios consiste, basicamente, na decomposição do nitrogênio orgânico em amoniacal. Este fato ocorreu durante os tratamentos em todos os WC. Além disso, pode ser observado um

incremento na concentração de nitrogênio amoniacal nos pontos intermediários e no efluente final.

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões que contêm fosfatos. Apesar disso, neste trabalho encontraram-se baixas concentrações de fósforo total (P_{total}), como pode ser observado na Tabela 2-12, comparado a esgoto sanitários com características médias que, segundo Jordão e Pessoa (2005), podem atingir 10 mg.L⁻¹ de P_{total}.

Tabela 2-12 - Variação do fósforo nos WC

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
Fósforo total (mg/L)	Lc1	3,10	3,35	3,60	0,35	0,11
	Lc2	4,90	5,35	5,80	0,64	0,12
	Lc3	2,06	2,20	2,13	0,10	0,05
	Vc1	4,10	4,20	4,30	0,14	0,03
	Vc2	3,20	3,35	3,50	0,21	0,06
	Vc3	3,10	3,11	3,12	0,01	0,00
	Tc1	5,20	5,37	5,53	0,23	0,04
	Tc2	3,55	3,60	3,64	0,06	0,02
	Tc3	3,10	3,29	3,48	0,27	0,08

*Desvio padrão;

**Coeficiente de variação

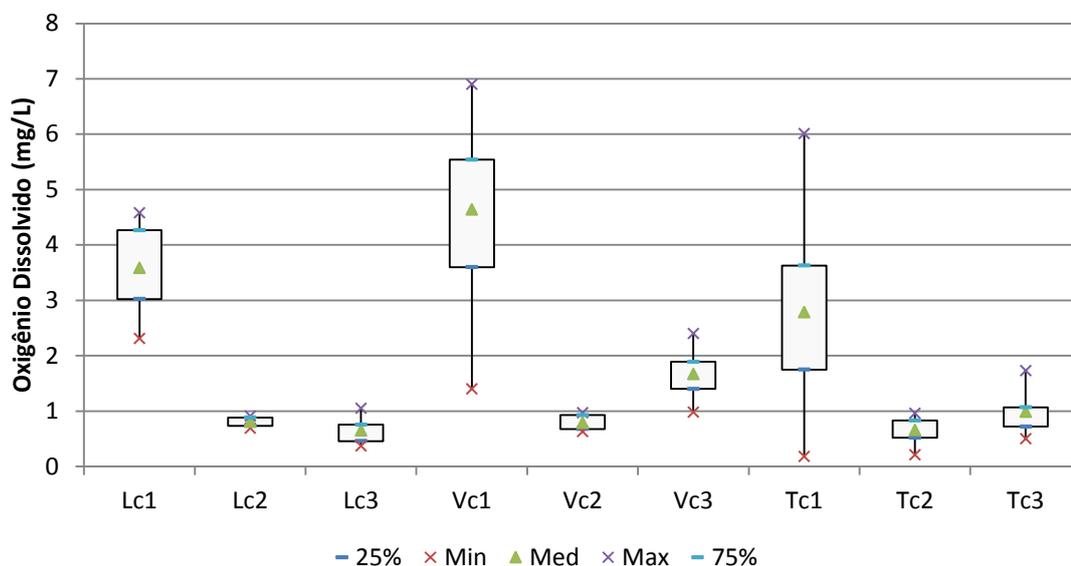
Caracterizando a água cinza bruta de uma residência, Zabrocki e Santos (2005) encontraram média de fósforo total de 6,24 mg.L⁻¹, valor este acima dos obtidos no presente trabalho. Valores mais altos ainda de P_{total} foram obtidos por Bazzarella (2005), com média de 9,0 mg.L⁻¹.

Em relação à eficiência de remoção de P_{total}, observou-se que não houve grandes remoções do meio ao final do sistema. A eficiência de remoção total de fósforo foi de 34%, 26% e 38%, nos sistemas Lc, Vc e Tc, respectivamente. A baixa eficiência corrobora resultados de outros estudos utilizando *wetland* construído no tratamento de efluentes domésticos, como o de Marques (1999) que, analisando a eficiência em WC-FH na remoção de fósforo total, encontrou valores de eficiência que variaram de 10 a 60%.

Nos afluentes dos WC observou-se uma relativa variação da concentração de oxigênio dissolvido nos líquidos (Figura 2.37), com médias de

3,59, 4,64 e 2,79 mg.L⁻¹ de OD, nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1. Bazarella (2005) obteve média de 6,5 mg.L⁻¹ de OD e Borges (2003) obteve média de 4,62 mg.L⁻¹, valor mais próximo ao encontrado neste trabalho.

Figura 2.37 - Variação do oxigênio dissolvido (OD) nos WC



Os valores de OD nos pontos intermediários e nas saídas dos WC sofreram uma queda acentuada, devido ao consumo de oxigênio pelas bactérias durante o processo de decomposição. O aumento nos pontos Vc3 e Tc3, em relação ao Vc2 e Tc2, pode ser explicado pela fixação de oxigênio pelas macrófitas. A diminuição da DBO e DQO, e o maior desenvolvimento da vegetação no final dos WC proporcionaram condições para que isso ocorresse. Begosso (2009) obteve um aumento na quantidade de OD na saída do sistema, obtendo valor médio final de 4,2 mg/L.

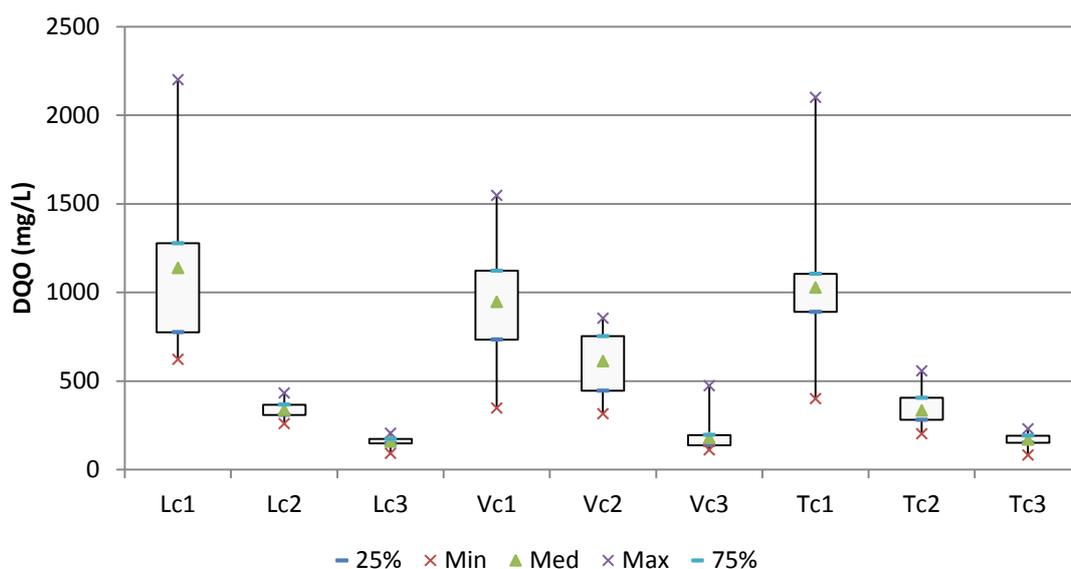
Em relação aos resultados de DQO nas águas cinzas afluentes aos sistemas WC (Figura 2.38), os valores encontrados foram maiores que os da literatura. Os valores médios de DQO nos pontos Lc1, Vc1 e Tc1 foram de 1.137 mg.L⁻¹, 946 mg.L⁻¹ e 1.027 mg.L⁻¹. Begosso (2009), Bazarella (2005), Gonçalves *et al.* (2006), Burnat e Mahmoud (2004) obtiveram, respectivamente, 747,8 mg.L⁻¹, 857 mg.L⁻¹, 35-921 mg.L⁻¹ e 600-850 mg.L⁻¹.

Os WC obtiveram remoção de DQO para Lc1, Vc1 e Tc1 de 86%, 81% e 83%, respectivamente. Begosso (2009) obteve 95% de remoção, utilizando um sistema híbrido (WC-FH e WC-FV), enquanto Monteiro (2009) obteve remoção

de 59%, utilizando WC-FH, com valores de DQO efluentes de 32,5 mg.L⁻¹ e de 150 mg.L⁻¹, respectivamente.

Os valores efluentes encontrados neste trabalho se assemelham ao de Monterio (2009), sendo a DQO, nos pontos Lc1, Vc1 e Lc1, de 158 mg.L⁻¹, 178 mg.L⁻¹ e 169 mg.L⁻¹, respectivamente.

Figura 2.38 - Variação da demanda química de oxigênio (DQO) nos WC



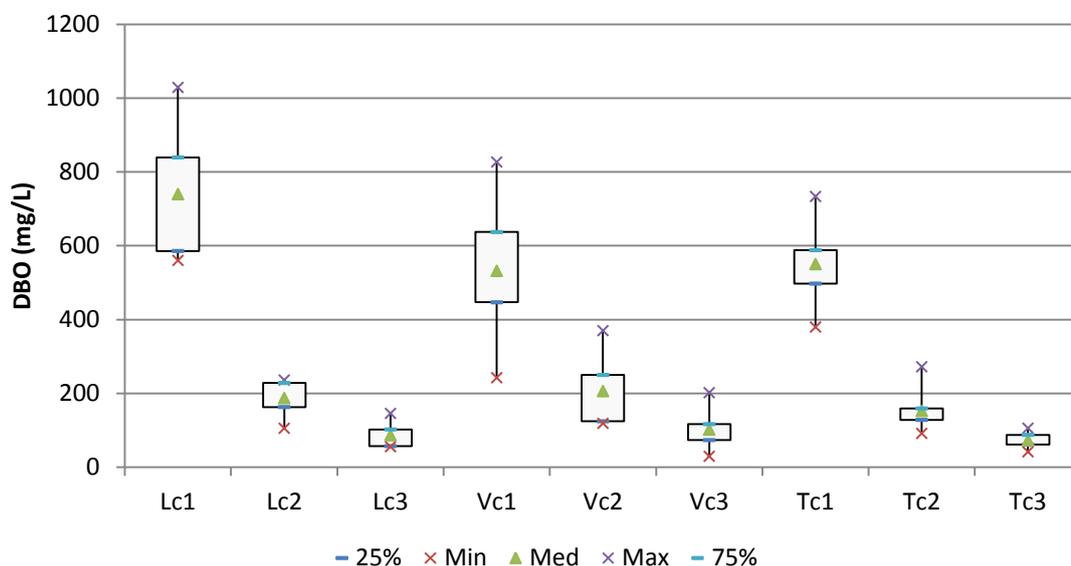
No ponto Vc2, obteve-se um valor discrepante em relação ao Lc2 e Tc2, o que foi devido à observação de uma quantidade de lodo na tubulação de coleta do efluente, consequentemente aumentando o valor de DQO no líquido. Quanto à eficiência de remoção dos pontos Lc2 para Lc3 e Tc2 para Tc3, obtiveram-se valores médios semelhantes, em torno de 48%.

Em relação a DBO₅, observou-se que a média encontrada no ponto Lc1 foi ligeiramente superior aos pontos Vc1 e Tc1, com médias de 739 mg.L⁻¹, 532 mg.L⁻¹ e 550 mg.L⁻¹, respectivamente. Bazzarela (2005) obteve valores semelhantes de DBO₅ (571 mg.L⁻¹), Begosso (2009) encontrou média de 425 mg.L⁻¹ e Gonçalves *et al.* (2006), variação de DBO na faixa de 23,6 a 808,0 mg.L⁻¹.

Os valores de DBO₅ nos efluentes dos WC tiveram média de 87 mg.L⁻¹, 102 mg.L⁻¹ e 74 mg.L⁻¹, nos pontos Lc3, Vc3 e Tc3, respectivamente. As eficiências de remoção de DBO nos WC foram de 88%, 81% e 86%. Begosso (2009) observou eficiência de 70%, na primeira etapa do tratamento (WC-FH) e

98%, no final do tratamento (WC-FH e WC-FV). Monteiro (2009) observou remoção de 60% de DBO, valor abaixo do obtido neste trabalho.

Figura 2.39 - Variação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) nos WC



Os resultados obtidos das análises de DBO e DQO das amostras compostas de água cinza bruta foram semelhantes às médias obtidas de água cinza bruta nas amostras simples. Dessa forma, a hipótese de que as amostras semanais podem estar sofrendo a influência de resíduos retidos na caixa de inspeção, como gordura e sólidos sedimentáveis, não foi corroborada. Emery e Mergulhão (2011), coletando amostras de água cinza em intervalos de uma hora, durante 12 horas, de um edifício multifamiliar, em Vitória, ES, observaram que os resultados das amostras simples eram iguais aos das amostras compostas.

Como demonstrado na Tabela 2-13, os baixos valores, na relação DQO/DBO, encontrados nas águas cinzas brutas indicam alta biodegradabilidade dos efluentes. Alguns autores consideram um resíduo facilmente biodegradável quando a relação DQO/DBO for menor que 2.

Tabela 2-13 - Relação entre a demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), durante o monitoramento nos WC

Parâmetro	Amostra	Mínimo	Média	Máximo	DP*	CV**
DQO/DBO	Lc1	1,25	1,51	1,85	0,29	0,19
	Lc2	1,82	2,03	2,45	0,36	0,18
	Lc3	1,40	2,42	3,01	0,89	0,37
	Vc1	1,35	1,77	2,56	0,42	0,24
	Vc2	2,04	2,56	2,99	0,48	0,19
	Vc3	1,30	2,25	4,02	0,85	0,38
	Tc1	1,51	1,81	2,31	0,29	0,16
	Tc2	1,09	2,20	3,23	0,73	0,33
	Tc3	1,59	2,66	4,95	0,97	0,37

*Desvio padrão;

**Coeficiente de variação

Como era esperado, houve um aumento na relação DQO/DBO ao longo do tratamento. A média desta relação nos três sistemas ficou em, aproximadamente, 2,5, que já indica uma boa parcela de material não biodegradável.

Em relação às características microbiológicas, apesar de a água cinza não receber contribuição dos vasos sanitários, observou-se a presença de contaminação fecal. Isso pode estar relacionado à limpeza das mãos no lavatório, lavagem de roupas íntimas e no banho, como demonstram os dados da Tabela 2-14.

Tabela 2-14 - Resultados das análises microbiológicas nos WC

Amostras	Parâmetros	
	CT (NMP*/100mL)	<i>E.coli</i> (NMP*/100mL)
Lc1	1,6. 10 ⁵	2,8. 10 ⁴
Lc2	1,1. 10 ⁴	1,1. 10 ³
Lc3	1,1. 10 ⁴	1,1. 10 ³
Vc1	1,6. 10 ⁴	5,7. 10 ³
Vc2	1,7. 10 ³	2,4. 10 ³
Vc3	1,1. 10 ³	2,4. 10 ²
Tc1	2,4. 10 ⁵	2,4. 10 ³
Tc2	3,5. 10 ⁴	5,7. 10 ²
Tc3	1,6. 10 ⁴	1,1. 10 ²

*NMP: número mais provável; Os valores referem-se à média de duas amostragens

A água cinza bruta apresentou concentrações médias de coliformes totais (CT) da ordem de 10⁵ e 10⁴ NMP/100 mL, decaindo uma casa decimal após a passagem pelos sistemas de tratamento. Já as médias de *E. coli* apresentaram concentrações médias da ordem de 10⁴ e 10³, também decaindo uma casa decimal, após o tratamento.

Bazzarella (2005) obteve concentrações médias afluentes de CT e *E. coli* semelhantes, na ordem de 10⁴ NMP/100 mL. As concentrações obtidas foram inferiores às encontradas por outros autores (MONTEIRO, 2009; BEGOSSO, 2009 e GONÇALVES *et al.*, 2006).

2.7 CONCLUSÕES

- A utilização de um sistema composto por duas unidades paralelas, o tanque de evapotranspiração e *wetland* construído de escoamento horizontal subsuperficial, mostrou ser uma alternativa tecnicamente viável no tratamento de águas residuárias segregadas, em comunidades isoladas.
- O TEvap operado em condições de campo, ou seja, submetido às condições ambientais, manteve-se estável, não havendo grandes oscilações de temperatura e de pH do líquido, e boa na eficiência de remoção de matéria orgânica.
- O desempenho dos TEvap na remoção de matéria orgânica atingiu alta eficiência, com médias de remoção de DQO e DBO, em torno de 95%, chegando a 98%.
- A remoção de sólidos nos TEvap atingiu alta eficiência, obtendo valores médios superiores a 97% para sólidos suspensos totais.
- As vegetações apresentaram ótimo desempenho nos TEvap, não havendo necessidade de replantio de mudas, apenas o manejo das plantas, como a retirada de algumas mudas de bananeira e a poda das taiobas.
- Nas amostras de taioba (talo e folhas), não foi constatada presença de coliformes termotolerantes e *E. coli*, permitindo seu consumo, após sua correta higienização.
- O TEvap apresentou alta taxa de evapotranspiração, com média de 68 L.dia⁻¹, e, durante o período de monitoramento, não houve efluente.
- O *wetland* construído, também operado em condições normais, não apresentou variações bruscas na temperatura do líquido, com pequenas variações no pH e uma considerável remoção de matéria orgânica, com médias de remoção acima de 80%, chegando a 86% e a 88%, para DQO e DBO, respectivamente.
- A concentração média de sólidos suspensos totais na água cinza afluyente aos WC variou de 171 a 443 mg/L. Já em relação ao efluente, as média snos pontos Lc3 e Vc3 obtiveram valores semelhantes e, no Tc3, valor um pouco abaixo.

- Os WC obtiveram considerável remoção de CT e *E.coli*, atingindo valores médios na ordem de uma e duas casas decimais, respectivamente.
- O lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) não apresentou um crescimento desejável, necessitando de replantios, principalmente na parte inicial do sistema de tratamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do conhecimento de forma horizontal, onde não há hierarquias, com as tomadas de decisão e a apropriação das tecnologias de tratamento de esgoto pela comunidade, se tornou essencial para o desenvolvimento do trabalho e a execução dos sistemas.

Além disso, o processo de autoconstrução foi peça-chave na capacitação dos futuros mestres de obra do assentamento, aproximando o produto (sistema de tratamento) do produtor (morador/assentado).

A utilização de sistemas naturais no tratamento de efluentes domésticos vem despontando como uma alternativa tecnológica apropriada e sustentável, adequando-se à realidade de comunidades isoladas e, principalmente, em áreas rurais, apresentando boa remoção de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, aspecto paisagístico, baixos custos de implantação, facilidade de operação, além da possibilidade de reuso do efluente.

Os resultados gerados neste trabalho, tendo em vista as potencialidades na utilização deste arranjo tecnológico de tratamento de efluente, conduzem à perspectiva da diminuição do déficit de sistemas de esgotamento sanitário em assentamentos rurais e demais localidades carentes desses serviços.

Para estudos futuros, recomendam-se:

- um maior tempo de monitoramento da taxa de evapotranspiração nos TEvap, avaliando o desempenho do sistema, principalmente na época de chuvas na região em estudo;
- análise e quantificação do lodo gerado na câmara decanto/digestora do TEvap, propondo uma periodicidade para a limpeza dos meios, caso necessário;
- a utilização de outras espécies de macrófitas nos WC, avaliando seu desenvolvimento nas mesmas condições do presente estudo;
- a implantação de um tanque de decantação ou um dispositivo de retenção de sólidos mais grosseiros, como tratamento preliminar, antes da disposição nos WC, de forma a diminuir o entupimento nos orifícios da tubulação de entrada e a colmatação prematura na parte inicial o tanque;

- a realização de um estudo de perda de carga, de forma a analisar caminhos preferenciais, zonas mortas e colmatação do meio filtrante nos WC.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. Política habitacional e mutirão. In: *Mutirão Habitacional - curso e formação em mutirão*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, Politécnico di Torino, União Europeia, v. 1, 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7229*. Projeto, construção e operação de sistemas de tanque séptico, Rio de Janeiro, 1993.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8160*. Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução, Rio de Janeiro, 1999.

ALMEIDA, R. A.; PITALUGA, D. P. S.; REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. *Biociências*, UNITAU. v. 16, n. 1, 2010.

ALMG - ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Municípios mineiros*. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios>>. Acesso em: 17 mar. 2011.

ALVES, E. J.; OLIVEIRA, M. A.; DANTAS, J. L. L.; OLIVEIRA, S. L. Exigências climáticas. In: ALVES, E.J. *A cultura da bananeira: Aspectos técnicos, sócio-econômicos e agroindustriais*. 2. ed. Brasília: Embrapa SPI, cap. 5, p. 85–105, 1999.

APHA, AWWA, WEF. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington, 2005.

ARAÚJO, L. B. C.; WIEGAND, M. C.; ELLERY, A. E. L.; ARAÚJO, J. C. Água limpa, saúde e terra fértil: implantação da tecnologia fossa verde como alternativa de saneamento básico em áreas de reforma agrária. In: VIII CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SOCIOLOGIA RURAL. *Anais*. Porto de Galinhas, 2010.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr/jun., 2008.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 165p. 2005.

BEGOSSO, L. Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para tratamento de

água cinza. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 43p. 2009.

BODENS, F.; OLIVEIRA, B. *Fossa ecológica – Tanque de evapotranspiração*, 2009. Disponível em: <<http://mundogepec.blogspot.com/2009/07/fossa-ecologica-tanque-de>>. Acessado em: setembro de 2009.

BONDUKI, Reconstruindo Utopias perdidas: os Mutirões Autogeridos. São Paulo. In: *IV Encontro Nacional ANPUR*, 1992.

BORGES, L. Z. Caracterização da água cinza para a promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 91p. 2003.

BOUNTIN, C.; LIÉNARD, A. Reed bed filters for wastewater treatment in France: major design aspects and history of development. *Water* 21, p. 58-62., 2004.

BRASIL. *Resolução 12 de 2 de janeiro de 2001*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária ANVISA, 2001 Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm>. Acesso em: 5 out. 2012.

BREGNHOJ, H. Rural water supply and sanitation projects. In: LONHOLDT, J. (coord.) *Water and wastewater management in the tropics*. IWA Publishing, Alliance House, UK, London, 2005.

BRIX, H.; SCHIERUP, H. H. The use of macrophytes in water pollution control. In: *AMBIO* p.100-107, 1989.

BRIX, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.* vol. 29, n. 4, p. 71-78, 1994.

BRIX, H. Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Wat. Sci. Tech.*, v.35, n.5, p. 11-17. 1997

BURNAT, J. M. Y.; MAHMOUD, N. Evaluation of on-site gray wastewater treatment plants performance in Bilien and Biet-Diko Villages/Palestine. In: *INTERNATIONAL WATER DEMAND MANAGEMENT CONFERENCE*, Dead Sea, Jordan, 2004. Disponível em: <http://www.wdm2004.org/new_web/technical/session/files/jamal_burnat.pdf>. Acesso em: 11 set. 2011.

CARDOSO, F. P.; JUCKSCH, I. J.; SILVA, M. S.; HIRONAGA, L. S.; CASTRO, A.D. Projeto Arquitetônico e participação popular: as dimensões formais, simbólicas e políticas da moradia e da habitação em assentamentos de reforma agrária. *Labor & Engenho*. Campinas, v. 1, n. 3, p.70-81, dezembro, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento anaeróbio de águas residuárias– reatores anaeróbios. v. 5, Belo Horizonte. Desa/UFMG, 1997.

COELHO, F. M. G. *A arte das orientações técnicas no campo: Concepções e Métodos*. Ed. UFV. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

COHIM, E.; COHIM, F. Reuso de água cinza: a percepção do usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007 *Anais...*, Belo Horizonte: ABES, II-163, p. 1-11, 2007.

CONLEY, L. M.; DICK, R. I.; LION, L. W. *An assessment of the root zone method of wastewater treatment*. Research Journal of the WPCF. v. 63, n. 6, p. 239-247, 1991

CONTI, A. A experiência da autogestão em Ipatinga: Uma busca pelo conceito. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 63p., 1999.

COOPER, P. F.; JOB, G. D.; GRENN, M. B.; SHUTES, R. B. E. *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Swindon: WRc plc. 184p., 1996.

ELEODORO, G. S.; RAMOS, G. A. S.; MATA, M. G. F.; GAIA, M. C. M.; FERREIRA, T. L. *Plano de Desenvolvimento do Assentamento Olga Benário*. AESCA. Belo Horizonte, 2008.

EMBRAPA. *Cultivo da Banana para o Ecossistema dos Tabuleiros Costeiros*, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaTabCosteiros/index.htm>. Acesso em: 03 junho. 2011

EMERY, R. D. B.; MERGULHÃO, J. C. Z. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de águas cinzas visando o reuso não-potável. Trabalho de conclusão de curso. Vitória, 2011.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Design Manual. *Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. EPA/625/1-88/022. Office of Research and Development Cincinnati, Ohio, 1988.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. EPA 832-R-93—008. Office of water, 1993.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*. EPA/625/R-99/010. Office of Research and Development Cincinnati, Ohio, 1999.

EPAMIG. Hortaliças não convencionais: alternativa de diversificação de alimentos e de renda para agricultores familiares de Minas Gerais, EPAMIG: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais Centro-Oeste. Prudente de Moraes, 2011.

FREIRE, P. *Extensão ou Comunicação?* Rio de Janeiro: Ed. Paz e Terra, 1985.

FREITAS, W. S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L., Demanda de irrigação da cultura da banana na bacia do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 4, p.343-349, Paraíba, Campina Grande, 2008.

FUANASA, Fundação Nacional de Saúde. *Manual de saneamento*. 3th ed., Ministério da saúde, Brasília, 408p. 2007.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. *20 anos no coração do Brasil*. Ministério da Saúde, Brasília, 52p. 2011.

GALBIATI, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. Dissertação de Mestrado - Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

GONÇALVES, R. F.; BAZARELLA, B. B. Reuso de águas cinzas e gerenciamento alternativo das águas amarelas (urina) em área urbanas, In: Workshop sobre Reuso *Anais.*, Campina Grande, 2005.

GONÇALVES, R. F.; BAZARELLA, B. B.; PETERS, M. R.; PHILLIPPI, L. S. Gerenciamento de águas cinza. In: GONÇALVES, R. F. (coord.) *Uso racional da água em edificações*. PROSAB, p. 153-222, Rio de Janeiro, 2006.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Diretoria de pesquisas, coordenação de população e indicadores sociais. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB)*, Rio de Janeiro: IBGE 2010.

INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Superintendência Regional de Minas Gerais SR-06. *Laudo Agrônômico de Fiscalização – Fazenda Santa Helena, Visconde do Rio Branco/MG*. Belo Horizonte, 2002.

INCRA. INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. *Norma de Execução nº. 67* de novembro de 2007. Brasília, 2007.

INCRA. INSTITUTO NACIONAL De COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. *Fossa Verdes objetivam garantir sustentabilidade no sertão cearense*. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/index.php/noticias-sala-de-imprensa/noticias/11789-xfossas-verdesq-objetivam-garantir-sustentabilidade-no-sertao-cearense>>. Acesso em 20/04/2012> Acesso em: 10 jun. 2012.

IWA. INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. Scientific and Technical Report n. 8. London, England: IWA Publishing. 156 p., 2000.

JACOBI, P. R. Atores sociais e Estado. *Espaço e Debates* - Lutas Urbanas, n. 26, ano IX, 1989.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgoto Doméstico*, 4th ed. Ed. Segrac, Rio de Janeiro, 2005.

KADLEC R. H., KNIGHT R. L. *Treatment Wetlands*. 1th ed., CRC Press: Boca Raton, Florida, 1996

KAYSER, K.; KUNST, S. Processes in vertical-flow reed beds: nitrification, oxygen transfer and soil clogging. *Wat.Sci.Tech.*, v. 51, n. 9, p.177-184, 2005.

KISSMANN, K. G; GROTH, D. Plantas infestantes e nocivas. São Paulo: *Brasileira*, p. 590-593, 1991..

LARSEN, D. Diagnóstico do Saneamento Rural através de metodologia participativa Estudo de caso: Bacia contribuinte ao reservatório do Rio Verde , Região Metropolitana de Curitiba, PR. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 182p. 2010,

LEGAN, L. *Soluções sustentáveis – Uso da água na permacultura*. Ed. Mais Calango. 1th ed., Goiás, Pirenópolis, 2007.

LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Processo fito-pedológico aplicado no tratamento de efluentes domésticos. In: *CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL*. México. Memórias técnicas. México: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1996.

LESIKAR, B.; ENCISO, J. Sistemas individuales para el tratamiento de águas negras. Cama de evapotranspiración. *Texas Water Resources Institute*. Sistema Universitário Texas A&M. 2002. Disponível em <<http://texaserc.tamu.edu>>. Acesso em: 15 de maio de 2011.

LOBO, C. G. *Tratamiento de águas servidas para la vivienda rural*. Material didático arquitetura.1th ed., 2008

MACEDO, J. F. O gênero *Hedychium koening* (Zingiberaceae) no Estado de Minas Gerais. *Daphne*, v. 7, n. 2, p. 27-31, 1997.

MANDAI, P. Modelo descritivo da implantação do sistema de tratamento de águas negras por evapotranspiração. *Relatório técnico*. Associação Novo Encanto de Desenvolvimento Ecológico - ANEDE. Monitoria Canário Verde, Brasília, 2006.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed., Atlas, São Paulo, 2003.

MARICATO, E. Autoconstrução a arquitetura possível. *Revista Espaço e Debates*. n. 3, ano I, setembro,1980.

MARTINETTI, T. H. Análise das estratégias, condições e obstáculos para implantação de técnicas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes residenciais. Caso: Assentamento Rural Sepé-Tiaraju, Serra Azul-SP.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.

MARQUES, D. M. Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial. In: CAMPOS, J. R. (coord.) *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. PROSAB, 1999.

MATOS, A. T. *Disposição de águas residuárias no solo*. Caderno Didático nº 38, Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

MENDONÇA, H. V. Avaliação da eficiência de sistemas alagados construídos em operação por bateladas no tratamento de efluentes da indústria de laticínios. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2011.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Transversal: saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações tradicionais: guia do profissional em treinamento nível 2. 88p., 2009.

MONTEIRO, R. C. M. Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando o reuso não potável. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 84p. 2009.

NSWHEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2000. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/resources/publichealth/environment/water/pdf/greywater_policy.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2012.

NOGUEIRA, R. F. *A organização sócio-espacial do Assentamento Olga Benário*. Trabalho de Conclusão de curso - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

NOUR, E. A. A.; PHILLIPPI, L. S.; ROSTON, D. M.; ZANELLA, L.; GONÇALVES, R. F. Gerenciamento de águas negras e amarelas. In: GONÇALVES, R. F. (coord.) *Uso racional da água em edificações*, PROSAB, Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, D.; MARAFON, G. J. Análise da política de assentamentos rurais no estado do Rio de Janeiro: o caso do assentamento Associação Mutirão da Conquista – Valença / RJ: UNESP, 2006.

OTTHERPOL, R. Black, brown, yellow, grey – the new colors of sanitation. *Water 21*, p.37-41, 2001.

PAMPLONA, S.; VENTURI, M. Esgoto à flor da terra. *Permacultura Brasil - Soluções ecológicas*. V. 16. 2004

PANIKKAR, A. A residential blackwater and a municipal solid waste treatment – safety issues and municipal solid waste treatment system - safety issues and risk management. *ORBIT* 2003, Prathap, P., Murdoch University, Perth, Australia, 2003.

PEDRALLI, G.; MEYER, S. T. Levantamento da vegetação aquática (“macrófitas”) a das florestas de galeria na área da Usina Hidrelétrica de Nova Ponte, Minas Gerais. *Bios*, v. 4, n. 4, p. 49-60, 1996.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P.H., Aplicação do tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas, ed. do autor, Florianópolis, 144p, 2004.

PIRES, F. J. Processos participativos para concepção de sistemas sanitários em assentamentos. Trabalho de conclusão de curso, Viçosa, 2009.

REBÊLO, M. M. P. S. Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 109p. 2011.

REBOUÇAS, T. C. Características físico-químicas e microbiológicas de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 24, 2007. *Anais*. Minas Gerais: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

ROUSSEAU, D. P. L.; VANROLLEGHEM, P. A.; DE PAUW, N. *Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands: a review*. *Wat. Res.* v. 38, p. 1484-1493, 2004.

SACCON, S. Uso de leitos cultivados com macrófitas no estudo da eficiência do tratamento de águas cinza. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade Dinâmica de Cataratas, Paraná, Foz do Iguaçu, 2009.

SALATI, E.; SALATI, E.; SALATI, E. Wetland projects developed in Brazil. *Water Science Technology*, v. 40, n. 3, p. 19-25, 1999.

SANTIAGO, A. F.; CALIJURI, M. L.; LUÍS, P. G. Potencial para a utilização de sistemas de wetlands no tratamento de águas residuárias: uma contribuição a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil. *Natureza & Desenvolvimento*, v. 1, n. 1, p. 29-39, 2005.

SANTOS, S. B.; PEDRALLI, G.; MEYER, S. T. Aspectos da fenologia e ecologia de *Hedychium coronarium* (Zingiberaceae) na estação ecológica do Tripuí, Ouro Preto – MG. *Planta Daninha*, v. 23, n. 2, p.175-180, 2005.

SARMENTO, A. P. Remoção de poluentes em sistemas alagados construídos de escoamento vertical cultivados com diferentes espécies vegetais. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. Tese de doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 171 p., Florianópolis, 2006.

SHIMBO, L. Z.; INO, A. O diálogo entre moradores e arquitetos sobre materiais construtivos sustentáveis para habitação: analisando um processo de pesquisa-ação *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2005.

SILVA, M. O. S. *Refletindo a pesquisa participante*, 2 ed. Cortez. São Paulo, 1991.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação* 7th ed. – São Paulo, 1996.

VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

VALESKA, L. F. P. A questão do saneamento ambiental no assentamento Estrela do Norte, Montes Claros – MG: Diagnóstico e propostas para melhorias. Trabalho de conclusão de curso. Montes Claros, 2011.

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. Dissertação de Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, Depto. Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, Belo Horizonte/MG, 2th ed., vol. 2, 243 p. 1996.

VON SPERLING, M.. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Dep. Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 3th ed. 2005.

VYMAZAL, J. *Constructed wetlands for wastewater treatment: A review*. Proceedings of Taal 2007. The 12th World Lake Conference. Treboň, Cze Republic, 2008.

VYMAZAL, J.; KRÖPFELOVÁ, L. Wastewater treatment. In: *Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*, Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2008.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2010.

ZABROCKI, L., SANTOS, D. C. Caracterização da água cinza em edifícios residenciais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais*. ABES, 2005.

ANEXO A – CARTILHA ELABORADA PARA OFICINA NO OLGA BENÁRIO

FOSSA EVAPOTRANSPIRADORA

MST/ Assentamento Olga Benário/ Projeto Terra Crua

A FOSSA EVAPOTRANSPIRADORA

O tanque de evapotranspiração é um sistema de tratamento de águas negras (proveniente do vaso sanitário), apresentando-se como uma alternativa aos sistemas de tratamento convencionais. Esta tecnologia consiste basicamente de um tanque retangular impermeabilizado, dimensionado para uma unidade familiar, preenchido com diferentes camadas de substrato, como cascalhos, brita, areia e solo, e em sua superfície são plantadas espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água, como bananeiras, papiros e taboas. O funcionamento deste sistema é bem simples, onde o efluente do vaso sanitário entra por uma câmara de alvenaria cerâmica no fundo do tanque, passando pelos diferentes substratos até chegar na camada de solo. Através da evapotranspiração, a água é eliminada do tanque, enquanto que os nutrientes são absorvidos pelas plantas.

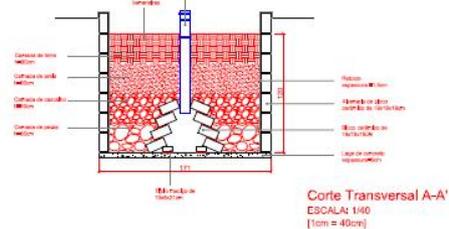
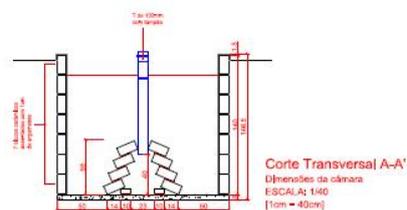
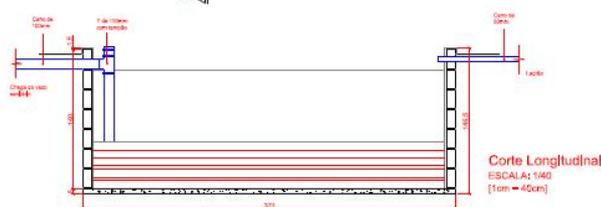
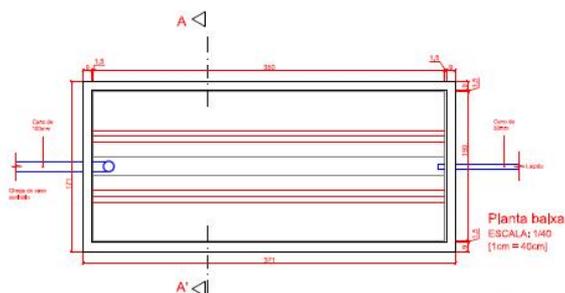
PASSO A PASSO (Veja fotos na coluna ao lado)

1. Cavar uma vala de 3,70 m, de comprimento, por 1,70 m, de largura, por 1,50 m, de profundidade. Dica: Posicione o cano de entrada na fossa em nível mais baixo que o do banheiro e a no mínimo 5m de distância da casa;
2. Fazer a laje do fundo, com 5cm de espessura de concreto, traço 1:2,5:2,5 (cimento, areia e brita);
3. Fazer as paredes e rebocar, com traço 1:3 (cimento e areia lavada peneirada);
4. Fazer a câmara com os blocos cerâmicos inclinados, conforme indicado nos desenhos. Lembre de deixar buraco de entrada do cano de 100mm;
5. Instalar os canos (que chega do vaso e ladrão);
6. Preencher a fossa, primeiro com a camada de pedra, depois com a de cascalho ou brita 1, depois com areia e por fim com terra, conforme as quantidades indicadas nos desenhos;
7. Plantar bananeiras ou outras plantas que gostam de excesso de água.



PROJETO DE UMA FOSSA COM CAPACIDADE PARA 5 PESSOAS

MST/ Assentamento Olga Benário/ Projeto Terra Crua [Medidas em centímetros]



LISTA DE MATERIAIS (Preços pesquisados em Vitoria-MG, 21out2018)				
ITEM	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	OBSERVAÇÕES
Cimento	4 sacos	R\$ 8,00	R\$ 32,00	
Brita 1"	0,3 metros cúbicos	R\$ 70,00/m³	R\$ 21,00	
Areia grossa e peneirada	0,30 metros cúbicos	R\$ 50,00/m³	R\$ 15,00	
Areia grossa	1,5 metros cúbicos	R\$ 50,00/m³	R\$ 75,00	
Cascalho (pedregulhos) de 1"	1,5 metros cúbicos	R\$ 70,00/m³	R\$ 105,00	
Plano de mão	1,5 metros cúbicos	R\$ 50,00/m³	R\$ 75,00	
Cano 100mm	7 metros	R\$ 19,00 (5m)	R\$ 133,00	
Cano 50mm	1 metro	R\$ 19,00 (5m)	R\$ 19,00	
Tubo de concreto	1 unidade	R\$ 12,00	R\$ 12,00	8 x 10 x 20 cm
Bloco cerâmico	30 unidades	R\$ 260,00 (1000 unidades)	R\$ 780,00	8 x 10 x 10 cm
TOTAL			R\$ 1403,00	

PROJETO TERRA CRUA - Habitação em Assentamentos de Reforma Agrária União das Favelas do Vale, Dist. Antônio Carlos e Urucubara, Engenharia CEM, Engenharia Ambiental, Comunicação Social, Saúde e Economia Doméstica, Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura	
PROJETO	FOSSA EVAPOTRANSPIRADORA (para uso de 5 pessoas)
ESCALA	1/40 [1cm = 40 cm]
CONTEÚDO	PLANTA, cortes, MATERIAIS, CUSTOS E ORIENTAÇÕES PARA EXECUÇÃO
FEITO POR	Felipe Jacob Pinheiro Fernando P, Cardoso/Leandro S. Honorato