UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA
PRÓ – REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO E HUMANIDADES
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

AVALIAÇÃO DE UM FILTRO PLANTADO COM MACRÓFITAS (*Cyperus giganteus*) UTILIZADO PARA O TRATAMENTO E REUSO DOMICILIAR DE ÁGUA CINZA

FELIPE WILHELM PEIXOTO BODENS

Brasília, 5 setembro

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA
PRÓ – REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO E HUMANIDADES
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

AVALIAÇÃO DE UM FILTRO PLANTADO COM MACRÓFITAS (*Cyperus giganteus*) UTILIZADO PARA O TRATAMENTO E REUSO DOMICILIAR DE ÁGUA CINZA

FELIPE WILHELM PEIXOTO BODENS

ORIENTADORA: LUCIJANE MONTEIRO DE ABREU

Projeto final apresentado como parte dos requisitos para conclusão do curso superior de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Católica de Brasília

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA
PRÓ – REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO E HUMANIDADES
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

AVALIAÇÃO DE UM FILTRO PLANTADO COM MACRÓFITAS (*Cyperus giganteus*) UTILIZADO PARA O TRATAMENTO E REUSO DOMICILIAR DE ÁGUA CINZA

FELIPE WILHELM PEIXOTO BODENS

Aprovado por:

_____

Dr.: Lucijane Monteiro de Abreu
Universidade Católica de Brasília
Orientadora

_____

Dr.: Perseu Fernando dos Santos
Universidade Católica de Brasília
Examinador

_____

Prof.: Sérgio Pamplona
Universidade de Brasília
Examinador

Aprovada em

RESUMO

As águas residuárias são produzidas em quantidades diferentes e, quando mantidos separados, têm propriedades diferentes. A separação dos fluxos dos diferentes tipos de efluentes domésticos, de acordo com suas características, facilita o tratamento e o reúso. A fitorremediação é um sistema eficiente e de baixo custo que utiliza sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota com o fim de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos. Uma das formas de se conservar água nas residências é utilizando fontes alternativas de suprimento. O reúso de águas cinza para fins não-potáveis tais como lavagem de veículos, rega de jardins e descarga de vasos sanitários, é apenas um exemplo. O objetivo do trabalho é fazer um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental de um sistema de tratamento de água cinza por meio de um filtro de areia plantado com papiro gigante (*Cyperus giganteus*) para ser reutilizada na descarga do vaso sanitário. O estudo foi realizado em um banheiro de uma residência, em um condomínio horizontal de Brasília, habitada por uma pessoa. O sistema de abastecimento de água do condomínio é unicamente feita por seis poços artesianos. A etapa preliminar do processo foi a caracterização do volume de água necessário para abastecer o banheiro (pia, chuveiro e vaso sanitário), e a caracterização qualitativa da águas cinza produzida (pia misturada com chuveiro). A média de consumo de água no banheiro foi de 81,6L/hab./dia. Foram necessários, em média, 4,5; 36,5; 40,6 litros de água para abastecer a pia, o chuveiro e o vaso sanitário, respectivamente. A demanda do vaso sanitário ficou em pelo menos 50% do consumo total de água no banheiro, mostrando que água cinza pode atender à demanda requerida do aparelho.

A água cinza apresentou significativa concentração de sólidos totais e coliformes fecais similares a outros estudos. As concentrações de nutrientes (N e P) foram menores que no esgoto convencional, uma vez que a maior parte deles é oriunda dos excrementos (urina e fezes). A segunda etapa foi a construção do filtro plantado com papiro e o sistema de reúso para a descarga no vaso sanitário. O sistema custou R$ 374,5 (trezentos e setenta e 4 reais e cinqüenta centavos) e teve um período de retorno do investimento (*payback*) de 7 anos. O filtro apresentou boa eficiência na remoção de coliformes fecais (91%) e na redução da turbidez (88%). Nitrogênio amoniacal e fósforo tiveram um grande aumento na concentração após a passagem pelo filtro, devido à presença desses nutrientes na terra que também foi utilizada como material filtrante.

Se extrapolássemos a economia de água gerada pelo sistema de reuso (41L por pessoa) para todo o condomínio, os 2350 moradores estariam economizando 2987 m^3 de água todos os meses, e por ano seriam economizados 29868 m^3. Isto representa 15% de todo o consumo do condomínio.

ABSTRACT

The wastewater are produced in different amounts and, when kept separate, have different properties. The separation of flows of different types of effluents, according to their characteristics, facilitating treatment and reuse. Phytoremediation is an efficient and low cost system that uses plants and their photosynthetic microbes in order to detoxify polluted or degraded environments. One of the ways to conserve water in homes is by using alternative sources of supply. The reuse of gray water for non-potable purposes such as washing cars, watering gardens and discharge of toilets is just one example. The goal is to write a feasibility study technical, economic and environmental impact of a treatment system for gray water through a sand filter planted with giant papyrus (Cyperus giganteus) for reuse in flushing the toilet. The study was conducted in a bathroom of a residence in a condominium in Brasilia, inhabited by one person. The system of water supply condo is uniquely designed for six wells. The preliminary stage of the process was to characterize the amount of water needed to supply the bathroom (sink, shower and toilet), and qualitative characterization of ash produced water (mixed with sink shower). The average consumption of water in the bathroom was 81.6 L / person / day. It took, on average, 4.5, 36.5, 40.6 liters of water to supply the sink, shower and toilet, respectively. The demand of the toilet was at least 50% of the total consumption of water in the bathroom, showing that gray water can meet the demands required of the device. The gray water showed a significant concentration of solids and fecal coliform bacteria similar to other studies.

Concentrations of nutrients (N and P) were lower than in conventional sewage, since most of them comes from the droppings (urine and feces). The second step was the construction of the filter planted with papyrus and reuse system for discharge into the toilet. The system cost $ 374.5 (three hundred and seventy 4 dollars and fifty cents) and had a payback period of investment (payback) of 7 years. The filter showed good removal efficiency of fecal coliform (91%) and reduction of turbidity (88%). Nitrogen and phosphorus had a large increase in concentration after passing through the filter, due to the presence of these nutrients in the soil which was also used as filter material.

If extrapolássemos water savings generated by the reuse (41L per person) for the whole building, the 2350 residents were saving in 2987 m3 of water every month and per year would be saved 29,868 m3. This represents 15% of all consumption neighborhood.

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO 10
1.1 Escassez de água 10
1.2 Utilização da água 11
1.3 Saneamento ecológico 16
1.4 Classificação das águas residuárias 20
1.4.1 Água cinza 21
1.5 Fitorremediação 25
1.6 “Wetland construído” 26
1.6.1 Classificação das “wetlands” 29
1.6.1.1 “Wetlands” com macrófitas flutuantes 29
1.6.1.2 “Wetlands com macrófitas emergentes 30
1.6.1.3 “Wetlands” com macrófitas fixas submersas 33
1.6.1.4 “Wetlands” com solos filtrantes 34
1.6.1.5 Sistemas híbridos de “Wetlands” 35
1.6.2 Processos de remoção de nutrientes e microorganismos em “Wetlands construídos” 36
1.7 Reuso de água 41
1.8 Normas, legislações e padrões vigentes a cerca do reuso de água 47
II. OBJETIVOS 51
2.1 Objetivo geral 51
2.2 Objetivos específicos 51
III. JUSTIFICATIVA 51
IV. MATERIAL E MÉTODOS 52
4.1 Área de estudo 52
4.2 Levantamento dos dados 53
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 58
5.1. Levantamento de dados referentes à contextualização dos condomínios horizontais de Brasília na gestão hídrica do Distrito Federal.58
5.2. Quantificação da demanda de água, produção de água cinza do banheiro e caracterização físico-química e microbiológica da água cinza produzida....59
5.3. Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza produzida..... 61
5.4. Levantamento orçamentário do sistema, construção e cálculo

do período de retorno do investimento (*payback*)..... 65
5.5. Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza tratada pelo filtro..... 72
VI. CONCLUSÃO.....76
VII. BIBLIOGRAFIA 77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Distribuição do consumo de água no mundo 12
Figura 1-2: Fluxo linear de água e nutrientes 13
Figura 1-3: Vaso sanitário projetado para separar a urina das fezes 16
Figura 1-4: Saneamento ecológico é seguro, ecológico e agrega valor 17
Figura 1-5: Modelo de saneamento ecológico em residências unifamiliares 18
Figura 1-6: Modelo de saneamento ecológico 18
Figura 1-7. Esquema de um sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação 20
Figura 1-8: Comparação entre a densidade de E. coli na água cinza e no esgoto doméstico combinado 23
Figura 1-9: Comparação entre a taxa de decomposição da água cinza e água negra 24
Figura 1-10: Desenho esquemático de um canal com plantas aquáticas flutuantes 29
Figura 1-11: Macrófitas emergentes utilizadas em “wetlands”: (1) *caniço d’água* (*Phragmites australis*), (2) taboa (*Typha latifólia*), (3) bunho (*Schoenoplectus lacustris)* 30
Figura 1-12: Desenho esquemático de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial 30
Figura 1-13: Esquema de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial 30
Figura 1-14: Desenho de um sistema com macrófitas emergentes com fluxo vertical 31
Figura 1-15: Desenho de uma “wetland” com macrófitas fixas submersas.... 33
Figura 1-17: Desenho esquemático de um canal de solo filtrante com fluxo ascendente 34
Figura 1-18: Desenho esquemático de um canal de solo filtrante com fluxo descendente 35

Figura 1-19: Representação do biofilme associado ao sistema redicular 36
Figura 1-20: Esquema de um sistema de reuso de água cinza desenvolvido pela ONG–Sociedade do Sol 46
Figura 4-1: Figura 4-2: Croqui rede de distribuição de água da CAESB, em destaque a região do SHJB 53
Figura 4-2: Fotos do cano que recolhe a água tratada 55
Figura 4-3: Foto do tonel com o cano que leva a água tratada para o reservatório que abastecerá o vaso sanitário..... 56
Figura 4-4: Foto do sistema que evita entupimentos e facilita a manutenção... 56
Figura 4-5: Desenho esquemático do filtro plantado e do reservatório de água tratada que abastece o vaso sanitário 57
Figura 5-1: Distribuição do consumo de água por tipo de aparelho sanitário.... 62
Figura 5-2: A) luva simples de esgoto (100mm) colado no fundo do tonel.B) Adesivo plástico para PVC..... 60
Figura 5-3: Fotos do tonel com o cano que recolhe a água tratada.....67
Figura 5-4: Preenchimento do tonel com materiais filtrantes.....68
Figura 5-5: Foto do filtro à direita e do 1°reservatório da água tratada..... 68
Figura 5-6: Foto da tubulação que conduz a água cinza para o filtro..... 69
Figura 5-7: Sistema de tratamento e reuso em funcionamento..... 70
Figura 5-8: Bomba de água modelo SB 2000 da marca Sarlobetter com potência de 40 W..... 70
Figura 5-9: Acabamento do espaço onde o filtro e o primeiro reservatório foram inseridos. Feito com tijolos maciços e reboco de cimento..... 71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1: Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares.....13
Tabela 1-2: Características das águas cinza originadas de várias fontes 19, 20
Tabela 1-4: Normas e padrões a cerca do reuso de efluentes humanos em diferentes países 46
Tabela1-5: Valores dos parâmetros contemplados pela ABNT para a classificação de efluentes conforme o reuso 47, 48
Tabela 1-6: Atuação das macrófitas perante o tratamento de águas residurárias 26
Tabela 1-7: Limites estabelecidos pela FIESP (2005) para reuso em descargas de vasos sanitários 48

Tabela 5-1: Consumo mensal e *per capita* por uso e total (L/hab./dia) no banheiro estudado.....59
Tabela 5-2: Consumo *per capita* (litros/hab./dia) obtido em outras pesquisas.....60
Tabela 5-3: Resultados da analise da água cinza produzida no banheiro.....61
Tabela 5-4: Resultado das análises da água cinza produzida no banheiro obtidos em outras pesquisas.....64
Tabela 5-5: Características microbiológicas típicas no esgoto bruto.....65
Tabela 5-6: Descrição dos materiais e seus respectivos custos.....66, 67
Tabela 5-7: resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico da água tratada pelo filtro plantado com papiro (*Cyperus giganteus*).....73
Tabela 5-8: resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico da água tratada obtidos em outras pesquisas.....73

I. Introdução

1.1 Escassez de água

O crescimento urbano e a industrialização, em conjunto com as crescentes exigências para a preservação e revitalização dos fluxos naturais de água têm colocado difíceis demandas sobre os sistemas hídricos urbanos mundiais. O uso abusivo deste recurso tem aumentado consideravelmente a demanda por água doce e a produção de águas residuárias no mundo. Esses efluentes, oriundos da indústria e das redes urbanas, quando lançados no ambiente, degradam ainda mais os mananciais onde essa água doce é captada.

É certo de que a água é um recurso natural renovável e comporta fluxo permanente e volume inalterado em detrimento do ciclo hidrológico. No entanto, uma preocupação recorrente e grandemente justificada é que a água, tão abundante, se torne escassa e cada vez mais inacessível para o abastecimento da sociedade. Os recursos hídricos tendem a se desgastar em função do seu uso indiscriminado o que compromete a quantidade de água disponível para consumo em várias instâncias do espaço geográfico.

A água doce possui distribuição desigual sobre o planeta. A disponibilidade de água no Brasil possui grande notoriedade, entretanto, se encontra distribuída de forma irregular sobre o território (68,5 %para a região Norte, 3,3% para a região Nordeste, 6,0%para a região Sudeste, 6,5% para a região sul e 15,7% para a região Centro-Oeste. Além disso, parte da água do Brasil já perdeu a classe de recurso natural renovável (principalmente nas áreas densamente povoadas), em razão de processos de urbanização, industrialização e produção agropecuária, que são incentivados, mas pouco estruturados em termos de preservação (REBOUÇAS, 2003).

De acordo com dados do ultimo senso (IBGE, 2000), cerca de 76,1% da população brasileira é atendida por sistemas de abastecimento de água e apenas 40% é atendida por rede de esgoto sanitário. Apenas 40% do volume desse esgoto coletado e tratado antes do lançamento. Esse panorama é comum em outros países em desenvolvimento, onde a infra-estrutura de armazenamento e distribuição de água e esgoto não atende a grande parte da população.

Com o aumento da poluição, cresce o risco para o possível uso de água de baixa qualidade, aumentam os custos para o tratamento de água e cresce o risco de sua escassez nas estiagens. Juntamente com a preservação do ambiente natural em todos

os seus aspectos, a necessidade de economizar água vem sendo destacada como alternativa para se contornar o problema da escassez.

Tendo em vista o contexto de poluição, escassez e desperdício dos recursos naturais, foi criada na Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada no Rio de Janeiro em 1992 (também conhecida como Rio 92), um dos marcos históricos para o desenvolvimento sustentável, da qual resultou a Agenda 21. Esta, visa buscar a efetivação de um plano de ação elaborado de forma concensuada por governos e instituições de vários países, tendo em vista a orientação de um novo padrão de desenvolvimento para o século 21, cuja a base é a sinergia de sustentabilidade ambiental, social e econômica.

A agenda 21 se concentra em ações e objetivos a serem atingidos de forma a promover o desenvolvimento sustentável, isto é, interligar o desenvolvimento econômico à proteção ambiental de modo a suprir às necessidades das gerações presentes e futuras. Dessa forma, criaram-se leis que priorizam e orientam o manejo dos recursos hídricos bem como, definidas ações e medidas para manutenção dos reservatórios de água.

Os tópicos para o manejo sustentável de água envolvem o uso racional do recurso e a utilização de fontes alternativas. Estes planos podem ser aplicados na bacia hidrográfica, nos sistemas públicos de abastecimento, nos sistemas prediais e em nas próprias residências.

Em 1997 instituiu-se o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, que procura promover o uso racional da água nos centros urbanos brasileiros através da atuação em planejamento de ações de conservação, tecnologia dos sistemas públicos, de abastecimento de água e dos sistemas prediais da água e esgoto.

1.2. Utilização da água

A utilização dos recursos hídricos no mundo está caracterizada por três grandes demandas: uso urbano ou doméstico, uso industrial e uso agrícola, estimado e ilustrado na figura 1-1. Quanto mais alto o nível de desenvolvimento do país, mais água é utilizada para fins industriais e urbanos e menos para a agricultura.

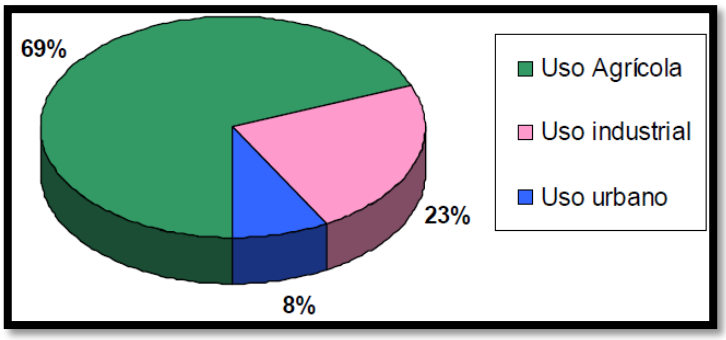


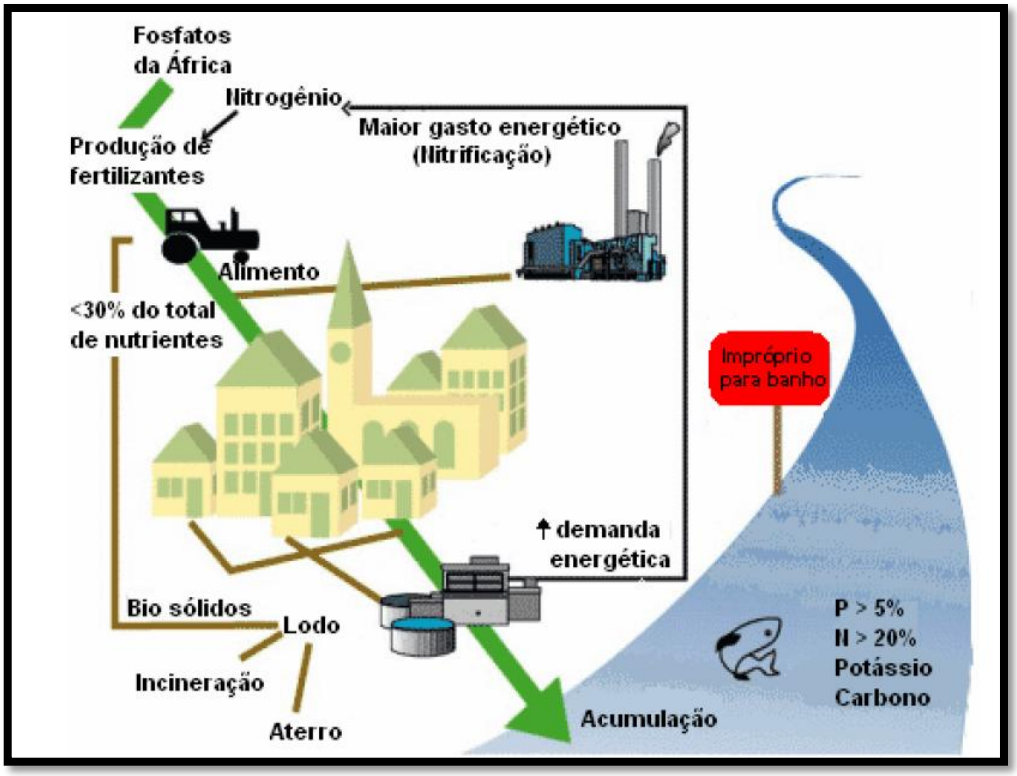
Figura 1-1: Distribuição do consumo de água no mundo
FONTE: HINRICHSEN *et al*., 1997

Ante os problemas econômicos, sociais e ambientais associados ao desenvolvimento de novas áreas para uso agrícola, a irrigação passou a constituir elemento prioritário para o aumento da nossa produtividade agrícola. Nota-se uma significativa tendência de crescimento dessa prática em todo o Brasil, a partir da última década. É muito provável que, antes do término desta década, a agricultura apresente uso próximo a 80%, aumentando os conflitos de uso que hoje ocorrem na grande maioria das bacias hidrográfica brasileiras, principalmente naquelas com desenvolvimento agrícola e urbano significativo (HESPANHOL, 2003).

Nas áreas urbanas, a demanda em ritmo crescente vem sendo sistematicamente reprimida, não só pela redução da disponibilidade específica (pressionada pelo crescimento populacional e pela expansão industrial), como também pela degradação sistemática dos mananciais, ainda passíveis de serem utilizados para usos benéficos mais restritivos.

O sistema urbano convencional de uso da água apresenta, hoje, um ciclo imperfeito. A água é bombeada de uma fonte local, é tratada, utilizada e, depois, tratada novamente para depois retornar aos rios e lagos, para ser bombeada novamente. Entretanto a água que é devolvida raramente possui a mesma qualidade que a água receptora (ou a água original, como extraída da natureza). Geralmente, esses corpos de água servem como fonte de abastecimento a mais de uma comunidade, fazendo com que os locais a jusante captem uma água com uma qualidade inferior do montante. No Brasil, é conhecido o caso das cidades situadas no vale do Paraíba, onde existe uma sucessão de cidades que captam água e dispõem seus efluentes no mesmo rio. Segundo Otterpohl *et al.* (1997), os sistemas convencionais de saneamento produzem um fluxo linear de materiais, causando acumulação e mistura do ciclo da água com o ciclo de alimentos (Figura 1-2). Esse sistema adota a premissa de que os nutrientes eliminados

nas excretas humanas não tem valor significativo e devem ser descartados (ESREY *et al*., 1998).



FONTE: Bazzerela; B. B. (2005).

Figura 1-2: Fluxo linear de água e nutrientes. A água é captada no rio, tratada e bombeada para a cidade. Na cidade, a água é misturada a diferentes efluentes, tratada novamente e laçada no mesmo rio, sem chance de recuperar os nutrientes. Fertilizantes são produzidos por indústrias que gastam muita energia para manter a grande demanda da agricultura convencional. O alimento produzido chega a cidade supervalorizado devido aos gastos com insumos e transporte. Na cidade parte dos alimentos estragam, não são reaproveitados e sua destinação são os lixões.

Outra desvantagem do sistema linear são os grandes volumes de águas utilizados para o transporte dos resíduos nas redes coletoras. O sistema mistura substâncias potencialmente prejudiciais, com grandes quantidades de água, aumentando a magnitude do problema (LANGERGRABER E MUELLEGGER, 2005). Se por um lado os problemas urgentes relacionados à higiene são solucionados, por outro, os impactos aos recursos hídricos são enormes (OTTERPOHL *et al*., 1997).

Segundo Tomaz, (2000), o uso da água para o consumo nas áreas urbanas subdivide-se em três categorias:

- consumo residencial: relativo a residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;

- consumo comercial: relativo a restaurantes, hospitais, serviços de saúde, hotéis, lavanderias, postos de gasolina, lava a jatos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas
- consumo publico: relativo aos edifícios públicos, escolas, parque infantil, prédios de unidade de saúde publica, cadeia publica e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

Na região metropolitana de São Paulo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano, incluído também o consumo em pequenas indústrias, (MANCUSO E SANTOS, 2003).

No Distrito Federal, os 2,5 milhões de habitantes consomem 14 milhões de metros cúbicos de água todo mês, isso corresponde a um gasto médio de 190 litros por pessoa todos os dias. Em lugares como no Plano Piloto e no Lago Sul o número passa de 500 litros por pessoa (Kóide, 2008). Esse valor ultrapassa muito o valor recomendado pela ONU (110 litros/habitante/dia). O grande crescimento populacional na última década, somado ao grande consumo e a retirada irregular de água, estão esgotando a capacidade de abastecimento na região. A utilização das águas subterrâneas é uma prática comum adotada nos condomínios horizontais do DF, e em outros locais que não são abastecidos pelo serviço público de abastecimento.

A quantidade de água consumida em uma residência depende de uma série de fatores, que vão desde variáveis comportamentais até variáveis físicas e econômicas. Algumas delas são: a tarifa exercida, renda familiar, condições climáticas (precipitação, temperatura), características das residências (tamanho, se possui área externa ou não), moradores (quantidade e faixa etária) (ARBUÉS *et al*. 2003).

Uma redução significativa desse consumo (30% a 40%), pode ser conseguido nas residências através de técnicas racionalizadoras (ex: uso de dispositivos economizadores nos aparelhos) ou através de fontes alternativas de suprimento (ex: água da chuva, água do mar ou reuso de águas residuárias, para fins menos nobres, como por exemplo, lavagem de veiculo, rega de jardins e descarga no vaso sanitário.

O quadro 1-1 apresenta alguns dados de alguns trabalhos sobre o consumo de água nas residências e uma simulação do consumo de água de uma residência de classe média brasileira, realizada por uma empresa do ramo de peças e aparelhos sanitários (Deca) em parceria com a USP e a Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP). Já Rocha *et al*. (1998), caracterizou o consumo de água para um apartamento situado em um conjunto residencial para população de abaixa renda. A NSWHealth (2000) e o EPA (1992) apresentaram dados sobre domicílios australianos e americanos respectivamente. Jensen (1991, *apud* TOMAZ, 2000).

Tabela 1-1: distribuição do consumo de água em edificações domiciliares

Setor da Residência	Prédio USP	Rocha (1998)	Australia (NSWhealt, 2000)	Dinamarca (Jensen, 1991)**	EUA (EPA,1992)
BANHEIRO	**63%**	**68%**	**70%**	**50%**	**74%**
Bacia sanitária	29%	5%	32%	20%	41%
Pia	6%	8%	5%	10%	-
Chuveiro	28%	55%	33%	20%	33%
Banheira	-	-	33%	-	-
COZINHA	22%	18%	7%	25%	5%
Pia de cozinha	17%	18%	7%	5%	5%
Máqu de lavar louça	5%	-	7%	20%	-
ÁREA DE SERVIÇO	15%	14%	23%	15%	21%
Máqu de lavar roupa	9%	11%	23%	15%	21
Tanque	6	3%	-	-	-
Torneira de uso geral	-	-	-	-	-
Limpeza	-	-	-	-	-
OUTROS	0%	0%	0%	10%	0%
Lavagem de carro	-	-	-	10%	-
Vazamentos	-	-	-		-

FONTE: BAZZARELA, (2005).

A tabela mostra que o banheiro é o ponto de maior consumo de água, independente da região onde se encontra a edificação, representando mais da metade do consumo de água nas residências

As ações de uso racional de água são basicamente de combate ao desperdício quantitativo, como a priorização do uso de aparelhos sanitários economizadores de água, incentivo à adoção na mediação individualizada, a conscientização do usuário para não desperdiçar água no ato do uso, a detecção e controle de perdas de água no sistema de água fria, o estabelecimento de tarifas inibidoras do desperdício, entre outras. Existe uma série de aparelhos economizadores disponíveis no mercado, como bacias sanitárias de volume reduzido ou com duplo acionamento (3 ou 6 litros, Figura 1-3), chuveiros e lavatórios com volumes fixos de vazão.

Foto: Godhard Bodens

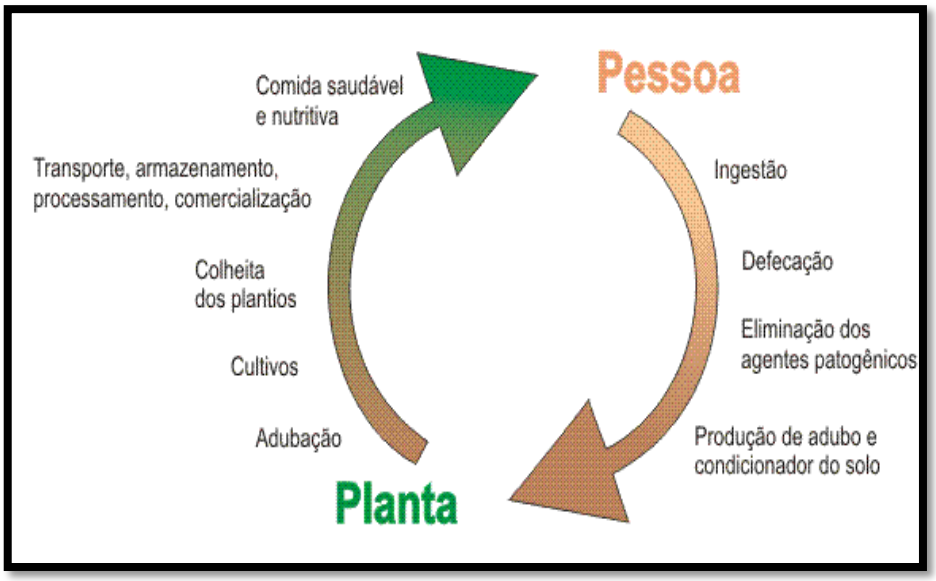
FIGURA 1-3: Vaso sanitário projetado para separar a urina das fezes. Esse sistema possui dois acionamentos de descarga, um para as fezes com 6L de água e outro para a urina com 3L.

Além da necessidade de se desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reuso consciente e planejado de águas de baixa qualidade – águas de drenagem agrícola, águas salobras, águas de chuva e, principalmente esgotos domésticos e industriais – constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão para garantir a sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos nacionais (Hespanhol, 2003).

O saneamento ecológico (EcoSan) é um caminho para evitar as desvantagens de um sistema convencional de saneamento, pois propõe a necessidade de novos conceitos holísticos de saneamento, com o foco em sistemas ecológicos economicamente viáveis, de ciclo fechado, em vez de tecnologias caras de fim de linha.

1.3. Saneamento ecológico (EcoSan)

Existem três critérios para que um sistema de saneamento seja considerado ecológico: prevenção da poluição do meio ambiente, destruição dos organismos patogênicos e reaproveitamento dos nutrientes para produção de alimentos (Esrey, 2000). Trata-se de uma abordagem baseada nos ecossistemas naturais que reconhece a necessidade e o benefício de se promover o bem estar e a saúde da população ao mesmo tempo em que recupera e recicla os nutrientes (Figura 1-4).



FONTE: ESREY (2000).

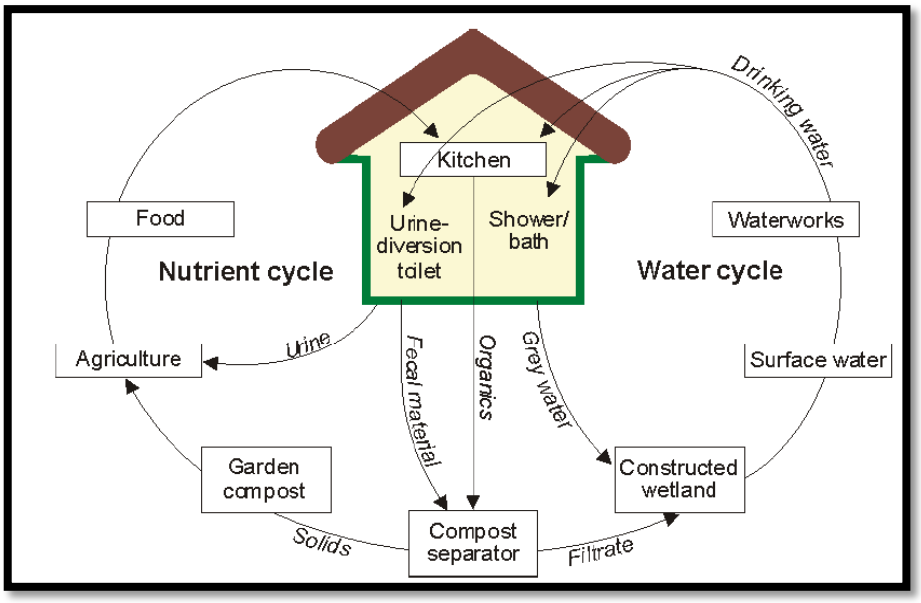
Figura 1-4: Saneamento ecológico é seguro, ecológico e agrega valor.

As águas residuárias são produzidas em quantidades diferentes e, quando mantidos separados, têm propriedades diferentes. O conceito de saneamento ecológico é baseado no princípio de separação dos fluxos dos diferentes tipos de efluentes domésticos, de acordo com suas características, visando reutilizá-los ou minimizá-los.

Apesar dos critérios considerados, o termo EcoSan não é uma tecnologia específica e pode ser usada para toda uma gama de tecnologias e arranjos institucionais que abordam tanto a questão da escassez de água e melhores condições de saneamento (Esrey, 2000).

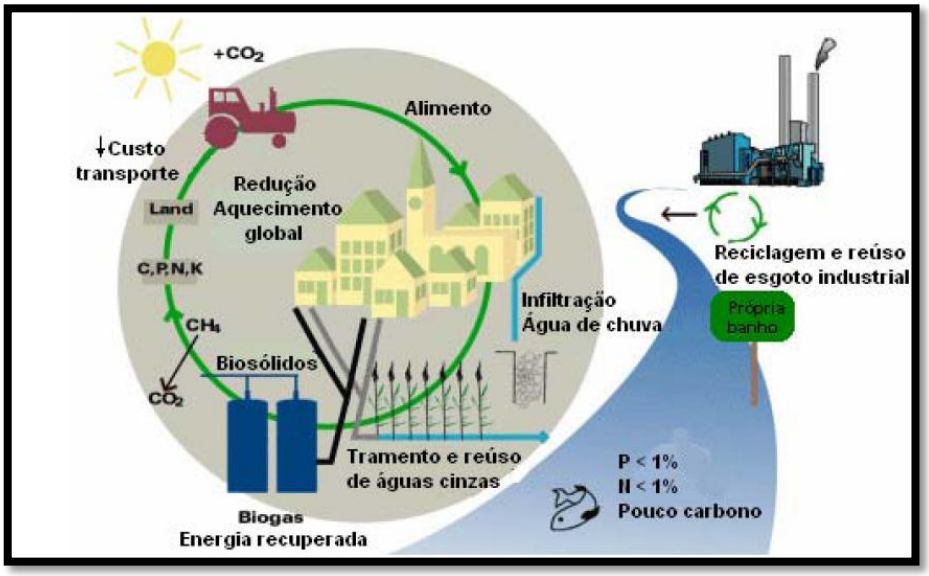
No sentido mais amplo do termo, poderia também incluir a utilização, armazenagem e infiltração de águas pluviais, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos orgânicos, aproveitando o conteúdo energético dos resíduos. Estes efeitos podem ser atingidos por diversos meios – abrangendo sistemas simples de baixo custo (tanque de evapotranspiração, composteiras, entre outros), e sistemas de alta tecnologia, porém mais caros (sistemas de transporte a vácuo de efluentes e tratamento por membranas).

A figura 1-5 ilustra um modelo ideal de saneamento ecológico para residências e a figura 1-6 para uma cidade.



FONTE: OLDENBURG *et al*., 2003.

Figura 1-5: Modelo de saneamento ecológico para residências. Os resíduos da residência são separados, processados e reaproveitados localmente. Por exemplo, os sólidos orgânicos da cozinha são processados em composteiras para ser utilizado como adubo na horta. O alimento produzido é consumido em casa, fechando o ciclo de nutrientes.



FONTE: BAZZARELA, (2005).

Figura 1-6: Modelo de saneamento ecológico para cidades**.** A cidade hipotética utiliza água da chuva para fins não-potáveis e o excedente é infiltrado na terra. Os efluentes são separados por cores, tratados e reutilizados na cidade. O que não foi reaproveitado na cidade é utilizado no campo para fertilizar as plantações que alimenta a cidade. O funcionamento desse sistema depende de ações individuais dos habitantes da cidade como o consumo consciente e a utilização de tecnologias sustentáveis.

Além da parte técnica, os sistemas EcoSan deverão incluir abordagens interdisciplinares e holísticas para a integração de estratégias de sensibilização da opinião pública, da agricultura, segurança alimentar, saúde, planejamento urbano, e a gestão dos resíduos como um todo (Esrey, 2000). Para alcançar um novo paradigma do saneamento ecológico devemos compreender que os excretas humanos (fezes e urina) bem como as demais águas residuárias devem ser consideradas um recurso e que pode ser reutilizado. Contudo, para que isso seja atingido, temos que manter o material fecal separado das demais águas residuárias, uma vez que possuem maior volume de água, contêm uma carga relativamente pequena de nutrientes e podem ser reutilizadas de maneiras simples após tratamento apropriado (Langergraber e Muellegger, 2005).

Em algumas civilizações as excretas humanas são consideradas um recurso valioso, e sua utilização não é um problema. De fato, a urina tem sido usada como um recurso em muitas partes do mundo (Esrey, 1998). Foi utilizado na Europa para limpeza doméstica, amolecimento lã, endurecimento do aço, curtimento de couro e roupas. Na China, a indústria farmacêutica utiliza urina para produzir coagulantes do sangue; já os gregos e romanos a utilizaram para ajudar a tingir seus cabelos e na África muitos agricultores usavam a urina para fermentar plantas para a produção de corantes. A experiência demonstra que existem menos tabus na manipulação de urina do que nas fezes, mas muitas pessoas não sabem que as fezes humanas podem ser processadas e convertidas a húmus, possuindo cheiro agradável, facilidade de manejo e de incorporação ao solo, sendo inócuo para a saúde.

Os benefícios do saneamento ecológico (ecosan) são: melhoria da saúde (minimizando a introdução de patógenos das fezes no ciclo da água); recuperação e utilização de nutrientes, água e energia, preservação da fertilidade dos solos, melhoria da produtividade agrícola, baixo consumo de água, substituição de fertilizantes minerais.

Os atuais sistemas de saneamento freqüentemente precisam subsidiar altos custos de investimentos em infra-estrutura no tratamento e transporte dos resíduos, através de extensas tubulações com pouca esperança de recuperar os nutrientes, pois são despejados em lagos, rios e mares. Mundialmente, são investidos mais de 30 bilhões de dólares em saneamento e distribuição de água, sem contar a operação e os custos de manutenção (COSGROVE & RIJSBERMAN, 2000).

Parte desse investimento pode ser economizado quando o tratamento das águas residuárias for realizado próximo ao local onde é produzido. Com o saneamento local, as possibilidades de contaminação por parte de tubulações comprometidas ou ligações mal feitas de esgoto com a redes de distribuição de água potável podem ser minimizadas.

Historicamente, as melhorias no saneamento básico a partir de tecnologias convencionais, resultaram na diminuição de doenças para os usuários destas

tecnologias, mas não necessariamente para aqueles a jusante (FANE *et. al.*, 2002). Com a descentralização do sistema de tratamento de efluentes humanos, cria-se uma maior responsabilidade com os efluentes gerados, além de ampliar as opções tecnológicas para se adequar as condições de cada localidade.

1.4. Classificação das águas residuárias domésticas.

Com base em Otterpohl (2001), o esgoto sanitário gerado nas residências pode ser segregado da seguinte forma:

- Água negra (blackwater): efluente proveniente dos vasos dos vasos sanitários, incluindo fezes, urina e papel higiênico
- Água cinza (greywater): águas servida, excluindo o efluente dos vasos sanitários.
- Água amarela: representando somente a urina.
- Água marrom: representando somente as fezes.

A caracterização dos diferentes tipos de águas residuárias é fundamental para o sucesso dos processos de reuso e tratamento.

A figura abaixo mostra um modelo de gerenciamento das águas em escala residencial, com linhas de suprimento de águas e de produção de águas residuárias diferenciadas conceitualmente pelas cores das águas (GONÇALVES, 2004).

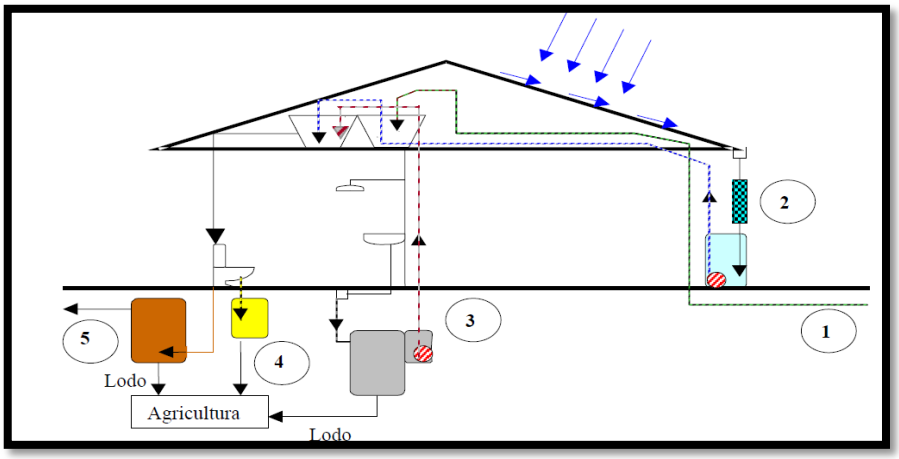


Figura 1-7. Esquema de um sistema de gerenciamento de águas em uma edificação.

1. Suprimento de água convencional, a partir da rede publica.
2. Coleta e aproveitamento de água de chuva a partir do telhado da edificação.
3. Coleta, tratamento e reuso das águas cinza na descarga de vasos sanitários
4. Coleta, tratamento e reuso das águas amarelas (urina) na agricultura.
5. Coleta, tratamento e reuso das águas negras na agricultura

Fonte: GONÇALVES, 2004.

1.4.1 Água cinza

O termo água cinza é utilizado, em geral, para água servida originada em residências (ou também escolas, escritórios ou edifícios públicos), que não possui contribuição de efluentes de vasos sanitários. É a água residuária proveniente do uso de lavatórios, chuveiros, banheira, pias de cozinha, maquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON *et al*., 1999; ERIKSSON *et al*., 2002; OTTOSSON & STENSTROM, 2002). Alguns autores como Christova-Boal *et al*. (1996) e Nolde (1999), não consideram como água cinza o efluente e oriundo de cozinhas, por considerá-lo altamente poluído, putrecível e com diversos compostos indesejáveis, como por exemplo, óleos e gorduras.

A água cinza é gerada como um resultado dos hábitos de vida das pessoas envolvidas, dos produtos utilizados, da estrutura da população (idade, sexo), do tipo da instalação e, portanto, suas características variam muito com tipo de fonte de água cinza que esta sendo utilizado (lavatório, chuveiro, maquina de lavar, etc.) (NOLDE, 1999; ERIKSSON *et al*., 2002). Por isso, o volume de águas cinza produzida pode variar entre 90-120 litros por pessoa/dia (MOREL & DIENER, 2006).

No entanto, em países em desenvolvimento e em locais onde a água é escassa ou onde existem sistemas simples de abastecimento, o volume de água cinza produzida pode variar de 20-30 litros por pessoa por dia (MOREL & DIENER, 2006). O quadro 1-2 apresenta as características das águas cinza originadas de várias fontes.

Tabela 1-2: Características das águas cinza originadas de várias fontes

	Surendram & Wheatley (1998)*				Almeida *et al.* (1999)*					Li *et al.* (2009)		
PARÂMETROS	**Chuveiro / Banheira**	**Pia do banheiro**	**Lavanderia**	**Pia da cozinha**	**Banheira**	**Pia do banheiro**	**Chuveiro**	**Lavanderia**	**Pia da cozinha**	**Chuveiro e Pia (misturados)**	**Lavanderia**	**Pia da cozinha**
Fisicos					Mg/l exceto onde indicado							
Turbidez (NTU)	*92*	*102*	*108*							*44-375*	*50-444*	*298*
ST	*631*	*558*	*658*									
SST					*54*	*181*	*200*	*165*	*235*	*7-505*	*68-465*	*134-1300*
SS	*76*	*40*	*68*					*1164*				
pH	*7,6*	*8,1*	*8,1*									
Alcalinidade												
DBO	*216*	*252*	*472*	*536*						*50 – 300*	*48- 472*	*536 - 1460*
DQO					*210*	*298*	*501*	*1815*	*1079*	*100 - 633*	*231 - 2950*	*100 - 700*
Cloreto												
Orgânicos												
N-total										*3,6 – 19,4*	*1,1 – 40,3*	*11,4 - 74*
NTK												

NH4-N	*1.56*	*0,53*	*10.7*	*4,6*	*1,1*	*0,3*	*1,2*	*2,0*	*0,3*			
NO3-N	*0,9*	*0,34*	*1.6*	*0,45*	*4,2*	*6*	*6,3*	*2,0*	*5,8*			
P – total										*0,11- > 48,8*	*ND - > 171*	*2,9 - > 74*
PO4-P	*1,63*	*45.5*	*101*	*15,6*	*5,3*	*13,3*	*19,2*	*21*	*26*			
Microbiológicos			*100/ml exceto onde indicado*									
Coliformes Totais	*6 x 10^6*	*5 x 10^4*	*7 x 10^5*			*10^4 - 10^5*	*10^3 - 10^5*	*7 x 10^5*		*10 - 2,4 x 10^7*	*200,5 – 7 x10^5*	*> 2,4 x 10^8*
Coliformes Fecais	*600*	*32*	*728*			*10^1 -10^3*	*10^1 -10^3*	*728*		*0 – 3,4 x 10^5*	*50 – 1,4 x 10^3*	*_*
Staphylococcus aureus ml^{-1}												

* Citado em Eriksson et al. (2002)

Embora existam variações na qualidade da água cinza produzida, é possível observar pelo quadro 1-2 que as características da água cinza da cozinha e da lavagem de roupas possuem níveis mais elevados de poluentes orgânicos e físicos, em comparação com a água cinza do chuveiro e da pia. No entanto, todos os tipos de águas cinza mostram boa biodegrabilidade (LI, 2009).

Com relação aos nutrientes, as concentrações de nitrogênio total na água cinza provenientes do banheiro e da lavanderia são mais baixas do que no esgoto convencional, visto que a principal fonte desse nutriente é a urina e ela está pouco presente na água cinza (METCALF & EDDY, 1991). Entretanto, é comum encontrar concentrações variadas de nitrogênio nas águas cinza, principalmente do chuveiro, pois em algumas residências tem-se o costume de urinar durante o banho (ERIKSSON *et al*., 2002). Quem mais contribui para os níveis de nitrogênio na água cinza é o efluente da cozinha. Em muitos casos, é também possível encontrar concentrações elevadas de fósforo nas águas cinza. Este fósforo provém de sabões em pó, amaciantes e alvejantes utilizados na lavagem de roupas e louças (ERIKSSON *et al*., 2002). Alguns países como a Noruega e algumas cidades no leste da Ásia têm proibido o uso de sabões em pó contendo fósforo para a proteção dos recursos hídricos (LEVLIN, 2002). A água cinza da cozinha contribui com a maior concentração de matéria orgânica, sólidos suspensos, turbidez e nitrogênio dentre as demais águas cinza, devido à presença de grande quantidade de substâncias orgânicas facilmente biodegradáveis. A água cinza da cozinha também é mais contaminada por coliformes termo-tolerantes (LI, 2009).

Assim como no esgoto sanitário, o íon sulfato (SO_4^{-2}) está presente nas águas cinza. Entretanto, na água cinza essas concentrações são um pouco preocupantes, em virtude da rapidez com que esta se torna anaeróbica. Em condições anaeróbicas, os sulfatos são reduzidos a sulfetos através de reações decorrentes da ação bacteriológica e, os sulfetos podem se combinar com o hidrogênio formando o sulfeto de hidrogênio ou

gás sulfídrico (H_2S) (Metcalf e Eddy, 1991). A preocupação está justamente em função da formação de H_2S, pois quando observados acima de 1mg/L, geram maus odores.

Segundo Ottosson e Stenstrom (2003), os riscos à saúde humana dependem: do tipo de patógenos, do tratamento aplicado e da rota de exposição. A presença de Escherichia coli ou outros organismos entéricos indica a contaminação fecal e a possibilidade de presença de patógenos intestinais, como salmonella ou vírus entéricos, na água cinza. Grandes quantidades de coliformes fecais são indesejáveis e implicam uma maior chance de contágio em humanos durante o contágio com a água cinza reutilizada (Rose *et al*., 2002). Entretanto, esse indicador pode, em alguns casos, superestimar os riscos devido ao seu potencial de crescimento dentro do sistema (Ottoson e Stenström, 2003). Estudos feitos por Rose et al. (2002) com análise de água cinza estocada mostram que a quantidade de bactérias anaeróbias, como os coliformes termotolerantes, aumenta muito durante as primeiras 48 horas de estocagem e depois fica relativamente estabilizada pelos próximos 12 dias.

Muitos protozoários são parasitas intestinais, dos quais muitos podem ser transmitidos diretamente de animais para seres humanos, tais como giárdia e Cryptosporidium (American Public Health Association, IN 1998 *apud* WHS, 2006). A giárdia é considerado o parasita intestinal mais comum em todo o mundo. A fase da vida infecciosa da giárdia é o cisto, que pode sobreviver e permanecer infeccioso por vários meses na água (Marshall *et al*., 1997).

Existe uma diferença significativa da presença de E.coli nas águas negras e nas águas cinza. A Figura 1-8 mostra uma comparação das densidades de E. coli entre a água cinza e o esgoto doméstico combinado bruto em termos de unidades logarítmicas por 100ml.

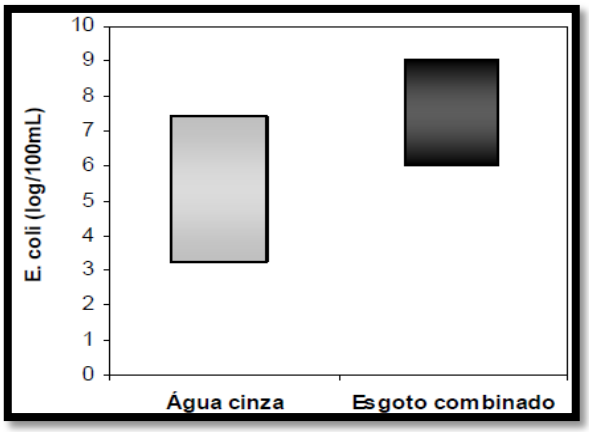
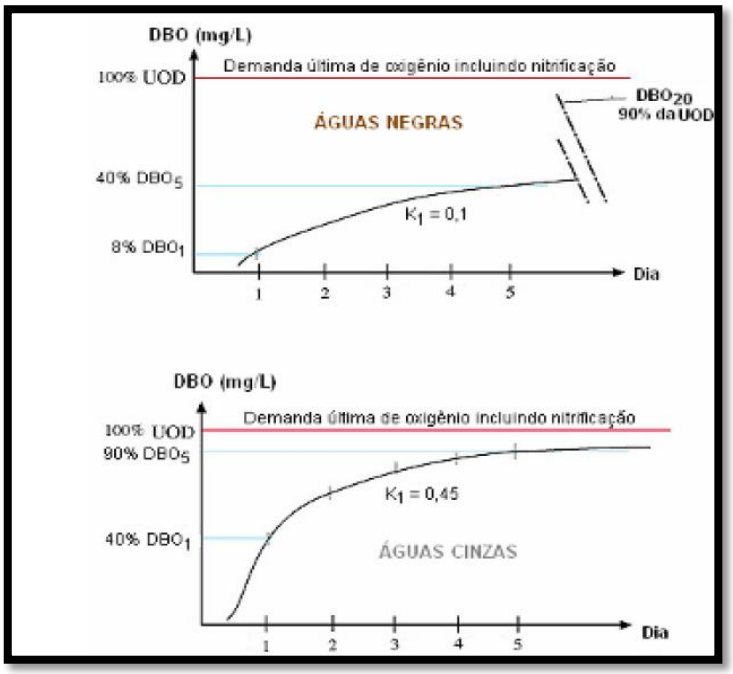


Figura 1-8: Comparação entre a densidade de *E. coli* na água cinza e no esgoto doméstico combinado. A água cinza possui menos quantidade e concentração de *E. coli* que o esgoto combinado.

Fonte: VON SPERLING (2005).

Entretanto, a diferença mais significante entre as águas negras (fezes + urina) e as águas cinza está na taxa de decaimento de poluentes em cada uma. As curvas de DBO podem demonstrar o quanto o grau de oxidação de um material pode afetar a quantidade de oxigênio ao longo do tempo (Figura 1-9).



FONTE: OLSON et al.

Comparação entre a taxa de decomposição da água cinza e água negra. No primeiro dia de armazenagem, a água negra apresenta 8% de DBO e 40% de DBO no quinto dia. Enquanto a água cinza apresenta 40% de DBO no primeiro dia de estocagem e 90% de DBO no quinto dia.

Como a matéria orgânica presente nas águas negras já foi exposta a uma das mais eficientes “estações de tratamento”, o sistema digestivo humano, é justificável que os resíduos desse processo não se decomponham tão rapidamente quando misturados com a água. Em contrapartida, a rápida taxa de decaimento na água cinza pode ser explicada pela presença de compostos orgânicos de degradação mais fácil e, conseqüentemente, mais disponíveis para os microorganismos. Em virtude disso, água cinza, quando armazenada sem tratamento, decompõe-se rapidamente (consumindo oxigênio), tornando-se anaeróbia. A água cinza séptica pode então exalar mau cheiro assim como as águas negras e conter também bactérias anaeróbias que podem ser patogênicas ao homem. Consequentemente, o sucesso dos tratamentos da água cinza esta ligado à utilização de processos que as tratem antes delas se tornarem anaeróbias.

1.5. Fitorremediação

Existem tecnologias simples de baixo custo que estão sendo aplicadas no saneamento ecológico, cujo funcionamento se refere à utilização de processos biológicos naturais para degradar os contaminantes ambientais em formas menos tóxicas. Esse processo é chamado de fitorremediação, onde os resíduos orgânicos são biologicamente degradados, em condições controladas, para degradar ou desintoxicar substâncias perigosas para a saúde humana e para o ambiente (VIDALI, 2001). Nesse processo, utilizam-se bactérias, fungos, artrópodes e plantas para degradar os contaminantes.

A fitorremediação (fito = planta, remediar = limpar, purificar) é o uso de sistemas vegetais fotossintetizantes e sua microbiota com o fim de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos (GLASS, 1998). A fitorremediação utiliza de uma série de complexos processos biológicos e físicos para recuperar águas e solos contaminados por poluentes orgânicos ou inorgânicos. Esta área de estudo, embora não seja nova, tomou impulso nos últimos quinze anos, quando se verificou que a zona radicular das plantas apresenta a capacidade de biotransformar moléculas orgânicas (GLASS, 1998). A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sido desde então estudada por sua importante função como fonte de nutrientes para os diversos microrganismos que co-habitam nesta região, assim como a sua capacidade de estimular a degradação de pesticidas, hidrocarbonetos e outras substâncias químicas (GLASS, 1998). Na maioria dos casos, a biodegradação de um composto é o resultado das ações de diferentes organismos formando um sistema complexo.

As técnicas de fitorremediação são normalmente mais econômicas que os métodos convencionais de saneamento, pois utilizam microorganismos e plantas como tratamento, e quando realizados localmente, podem reduzir os gastos com o transporte do material (VIDALI, 2001).

As vantagens deste tipo de tecnologia incluem:

- Baixos custos de implementação e manutenção
- É aplicável a um grande número de poluentes orgânicos e inorgânicos
- É ecologicamente e socialmente satisfatória
- Os procedimentos são realizados *in situ*
- Pode ser usada em conjunto com tecnologias mais convensionais

1.6. “Wetlands”

Em 2 de fevereiro de 1971 foi feito a convenção *de* “wetland” na cidade de Ramsar no Irã, e lá foi definido o que é “wetland”, as idéias de conservação da água e do seu uso com sabedoria, que mais tarde se traduziu por uso sustentável.

A definição de Ramsar sobre “Wetland” é a seguinte: são áreas de várzeas, pântanos e podendo ser naturais ou artificiais, permanentes ou temporárias, com água que está estática ou com velocidade, água doce, salgada ou salobra, incluindo áreas marinhas. Incorpora-se áreas riparianas (ao longo dos rios), áreas das costas e das ilhas (TOMAZ, 2006).

Para EPA (Environmental Protection Agency), a “wetland” é o elemento importante das bacias, pois estes servem de ligação entre as terras adjacentes e os recursos hídricos. Os programas de proteção das “wetlands” são mais efetivos quando coordenados com a água superficial e subterrânea e com outros recursos de gestão como controle de enchentes, abastecimento de água, proteção à vida selvagem a aos peixes, recreação, controle das águas pluviais e da poluição difusa (Tomaz, 2006)

Uma “wetland” é constituída de: vegetação hidrófila, solo hídrico e hidrologia. A vegetação hidrófila consiste em certas plantas que crescem na água ou no substrato; solo hídrico é aquele que está saturado ou inundado por um longo período de tempo e que promove a vegetação hidrófila. A hidrologia é o estudo do ciclo hidrológico, o balanço hídrico, as enchentes, as secas etc (Tomaz, 2006).

As plantas podem ser emergentes, submergentes, flutuantes, e atuam no processo biológico para melhorar a qualidade das águas. Tem a função de adicionar oxigênio à água, atrair sólidos em suspensão da coluna de água para a superfície das raízes, proporcionar habitat para microorganismos, invertebrados, peixes e passarinhos, providenciar superfície para os *biofimes* para captar os nutrientes Austrália (Tomaz, 2006).

Atualmente, o escoamento superficial das áreas urbanas e rurais e outras fontes de poluição estão causando inúmeros danos às wetlands, como excesso de nutrientes, deposição de sedimentos, mudanças nos picos de vazão e aumento da turbidez.

As “wetlands” destacam-se pela sua capacidade de remover carga poluidora, manter a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, fixar o carbono do meio ambiente, mantendo o equilíbrio do CO_2, além de conservar a biodiversidade (Denny, 1997). As “wetlands” artificiais são aquelas destinadas à aqüicultura para criação de peixes e camarões, as lagostas propriamente ditas, as destinadas a irrigação, as áreas sazonalmente invadidas, as áreas de exploração salina, os reservatórios e barragens, as

escavações, as destinadas ao tratamento de esgotos sanitários e os canais de drenagem.

As “wetlands construídos” (construced wetland) são técnicas de fitorremediação que imitam “wetlands” naturais, utilizando seus processos no tratamento de efluentes. São projetados para utilizar plantas aquáticas em substratos como areia, cascalhos ou outro material inerte, onde populações variadas de microrganismos se agregam (Sousa et al., 2003).

As wetlands artificiais são aquelas destinadas à:

- Aqüicultura para criação de peixes e camarões, a lagostas propriamente ditas, as destinadas.
- Irrigação.
- Áreas sazonalmente invadidas.
- Áreas de exploração salina.
- Reservatórios e barragens.
- Escavações.
- Tratamento de esgotos sanitários e canais de drenagem.

As “*wetland* construídos” podem reduzir consideravelmente a DBO, sólidos suspensos, turbidez, nitrogênio, coliformes totais fecais e termotolerantes, potássio e fosfatos de águas cinza (Souza *et al.,* 2004). Metais como o alumínio, cobre, ferro e manganês são transformados pela oxidação microbiana e precipitados no substrato na forma de óxidos (Ottosson, 2003).

Estes sistemas são simples na aparência, mas muito complexo em termos de funcionamento. Funcionam como filtro, sumidouro de sedimentos e precipitados, como motor biogeoquímico que recicla e transforma nutrientes. Possuem certo equilíbrio ecológico, onde comunidades de organismos interagem com processos físicos, químicos e hidrológicos. Estes mecanismos incluem processos de sedimentação, filtração, absorção, adsorção, intercambio iônico, lixiviação; reações de oxidação/redução, acido/base, precipitação, floculação e reações bioquímicas de anaerose/aerose.

A vegetação tem múltiplos papéis no funcionamento do sistema. Trata-se tanto de ações ativas, derivadas da atividade fisiológica da planta, quanto de ações passivas, como processos físicos. As macrófitas, por exemplo, podem funcionar como filtros, retendo os sólidos grosso arrastados pelas águas residuárias e também atuar como uma barreira física para reduzir a velocidade do efluente, o que favorece a floculação e a sedimentação das partículas em suspensão (Sezerino et al., 2006). Por outro lado, as partes das plantas que estão em contato direto com o poluente, atuam como suporte de

microorganimos, criando em suas proximidades, uma enorme área de superfície para seu desenvolvimento. Neste ambientes, os microrganismos aeróbios e anaeróbios irão depurar a matéria orgânica e promover a nitrificação e desnitrificação (Sezerino et al., 2006). Um resumo da atuação das macrófitas em “wetlands construído” perante o tratamento de águas residuárias está representado na tabela 1-1.

Propriedade das macrófitas	Ação de auxílio no tratamento de esgotos
Parte aérea (tecidos)	- atenuação da luminescência = redução do crescimento de fitoplâncton - potencial estético – embelezamento paisagístico - armazenamento de nutrientes
Tecidos da planta em contato com a água (esgoto)	- promoção da filtração - dispõem grande área para aderência de microrganismos - liberação de oxigênio devido a fotossíntese = aumento na taxa de degradação aeróbia da matéria orgânica - retirada de nutrientes
Raízes e rizomas em contato com o solo	- prevenção contra erosão - liberação de oxigênio = auxílio na degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação - retirada de nutrientes - liberação de antibióticos

Tabela 1-3: Atuação das macrófitas perante o tratamento de águas residurárias
FONTE: BRIX, 1987

O Handbook of constructed wetlands da EPA cita algumas sugestões para projetos de “wetland”.

- O projeto deve ser simples, pois, se muito complexo irá falhar.
- Usar escoamento por gravidade.
- Exigir o mínimo de manutenção.
- Não esquecer das condições climáticas extremas evitando trabalhar. com a media das precipitações, enchentes, secas, etc.
- A wetland deve fazer parte da paisagem.
- Evitar formas retangulares e estruturas rígidas. Imitar a natureza.
- A wetland precisa de um certo tempo para funcionar direito.
- Projete para funcionar bem sem se preocupar somente com a forma.

1.6.1. Classificação das “Wetlands construídos”

A Segundo Brix (1993) as “wetlands artificiais” ou “wetland construídos” podem ser classificadas como:

- Sistemas que utilizam macrófitas aquáticas flutuantes
- Plantas aquáticas emergentes.
  - *“Wetlands” com macrófitas emergentes com fluxo superficial*
  - *“Wetlands” com macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial*
  - *“Wetlands” com macrófitas emergentes com fluxo vertical*
  - *“Wetlands construídos” com macrófitas submersas*
  - *“Wetlands construídos” com solos filtrantes (DHS – Despoluição Hídrica com Solos)* Salati, E. (1987) Salati, F. et al., 1996).
  - *“Wetlands construídos” combinados*

1.6.1.1. “Wetlands construídos” com macrófitas flutuantes

Geralmente as macrófitas flutuantes são utilizadas em projetos relativamente rasos com canais longos e estreitos com aproximadamente 0,70 m de profundidade (Figura: 1-10). Esses canais podem conter apenas uma espécie de plantas ou uma combinação de espécies. A espécie mais utilizada é o aguapé (*Eicchornia crassipes)*, também conhecida como baroneza, mureré, pavoá, rainha do lago uapé e uapê, pois possui uma grande capacidade de crescimento vegetativo, de resistir a águas altamente poluídas com grandes variações de nutriente, pH, substâncias tóxicas, metais pesados e variação de temperatura, sendo considerada uma das plantas mais produtivas do mundo (SEZERINO, 2006).

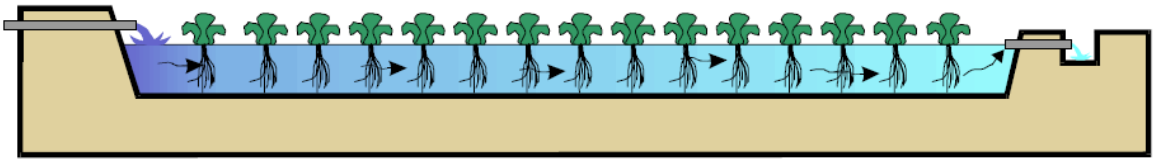


Figura 1-10: Canal com plantas aquáticas flutuantes.
Fonte: ENEAS SALATI, 1987

A eficiência do aguapé deve-se principalmente a:

- Remoção dos sólidos suspensos por sedimentação e/ou adsorção, devido às cargas elétricas associadas ao sistema radicular que, posteriormente, são

decompostas por microorganismos associados à rizosfera das plantas (SALATI, E.; 1987).

- O sombreamento produzido pelas plantas restringe o crescimento de algas e o sistema radicular impede o movimento horizontal dos sólidos em suspensão.
- A capacidade de transporte de oxigênio do sistema foliar para a rizosfera. Isto causa a redução de DBO e produzir condições para nitrificação microbiológica (REDDY, K. *et. al*, 1989).

Outras espécies de plantas conhecidas como “Duckweeds” têm sido utilizadas neste tipo de sistema. Estas macrófitas podem crescer a temperaturas baixas da ordem de 1 a 3°C e incluem a *Lemna, Spirodella e Wolffia* sp. (NGO, V., 1987).

1.6.1.2. “Wetlands construídos” com macrófitas emergentes

Estes sistemas utilizam plantas que tem o sistema radicular preso ao sedimento e o caule e as folhas parcialmente submersos. As espécies mais utilizadas em projetos tem sido o *caniço d’água* (*Phragmites australis*), taboa *Typha latifolia* e o bunho *Schoenoplectus lacustris* (Figura 1-11).

FOTOS: Cristian Brown

Figura 1-11: Macrófitas emergentes utilizadas em “wetlands contruído”: (1) *caniço d’água* (*Phragmites australis*), (2) taboa (*Typha latifólia*), (3) bunho (*Schoenoplectus lacustris).*

Estas plantas podem se desenvolver em situações nas quais o nível do lençol freático está 50cm abaixo do solo até situações nas quais o nível de água está 150cm acima do nível do solo (SEZERINO, 2006).

Sistemas de purificação de águas com macrófitas emergentes podem ser projetados da seguinte maneira:

- *Macrófitas emergentes com fluxo superficial*

- *Macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial*
- *Macrófitas emergentes com fluxo vertical*

"Wetlands" com macrófitas emergentes com fluxo superficial

É um dos mais antigos sistemas de "wetlands" construídos, com mais de 30 anos de operação na Holanda (GREINER E JONG, 1984). A água a ser tratada escorre sobre a superfície do solo cultivada com plantas emergentes, construídos em canais longos, sendo a lâmina de água variável (Figura 1-12).

No solo é cultivada uma planta típica dos sistemas naturais de "wetlans", tais como *Phragmites australis, Typha latifólia* ou *Scirpus lacustris*. Uma lâmina de água de 10-40cm é mantida sobre a superfície do solo. A purificação da água ocorre por diversos mecanismos de ação de microrganismos que ficam fixados no substrato, na superfície do solo e na parte submersa do caule das plantas. Requerem uma grande área, porem os custos de construção e manutenção são baixos e as condições aeróbicas de tratamento de água são ótimas (Tomaz, 2006).

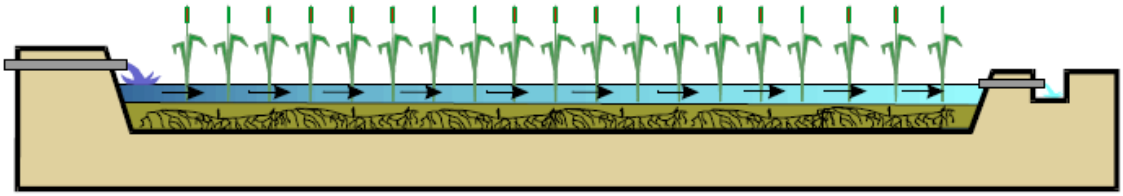


Figura 1-12: Sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial.
Fonte: ENEAS SALATI, 1987

"Wetlands" macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial

O efluente a ser purificado é introduzido através de uma camada de pedregulhos ou seixos, procurando-se induzir um fluxo horizontal, no qual estão cultivadas macrófitas como *Phragmites australis* (Figura 1-13).

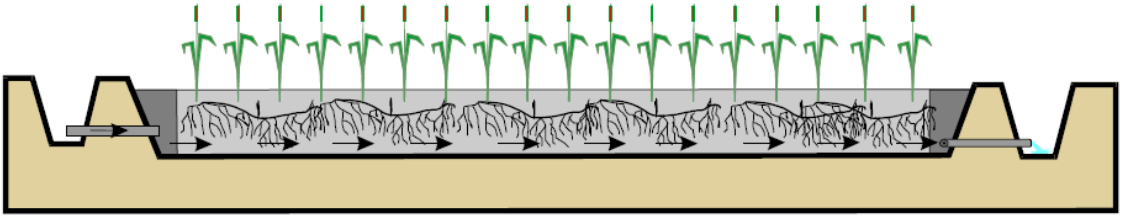


Figura 1-13: Sistema com macrófitas emergentes com fluxo sub-superficial.

Fonte: ENEAS SALATI, 1987

Em geral são construídos canais estreitos e longos cujas dimensões dependem do projeto em particular. As experiências com este tipo de sistema demosntram boa eficiência na remoção dos sólidos suspensos e DBO (FINDLATER *et al*., 1990).

"Wetlands construído" com fluxo sub-superficial são mais tolerantes ao frio, minimizam a proliferação de pragas e de odores, porém, são mais caras de serem construídas e pode haver problemas de entupimento das mesmas (TOMAZ, 2006).

"Wetlands construído" com macrófitas emergentes com fluxo vertical

Um sistema utilizando macrófitas emergentes com fuxo vertical pode ser utilizado quando se requer maior condutividade hidráulica e maior oxigenação no sistema radicular (BRIX, &. SCHIERUP, 1990). A água a ser tratada deve ter um fluxo vertical em uma camada de solos sobre britas, no qual são cultivadas plantas emergentes. O desenho é variável, porém predominam sistemas de canal longo com pouca profundidade.

(Figura 1-14).

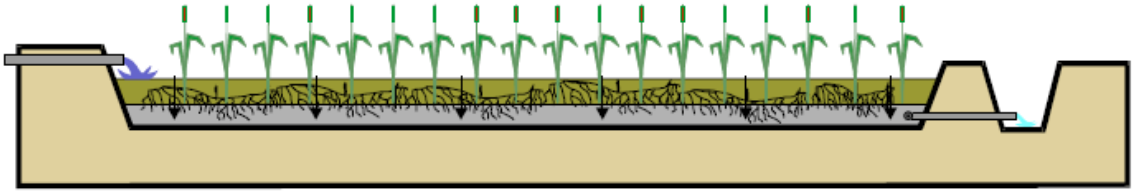


Figura 1-14: Sistema com macrófitas emergentes com fluxo vertical

Fonte: ENEAS SALATI, 1987

O fluxo intermitente do efluente a ser tratado, aumenta a oxigenação do solo, quando comparado a sistemas com fluxo sub-superficial. Durante o período de carregamento, o ar é forçado a sair dos sólidos do sistema e, durante a fase de secagem, o transporte de oxigênio atmosférico para o solo é intensificado. Este regime de alternância hídrica contribui nas reações de oxidação do substrato, estimulando os processos de nitrificação/ desnitrificação e adsorção do fósforo (HILL & SAWHNEY, 1978). Sistemas de fluxo vertical também demonstram boa remoção de sólidos suspensos e Demanda Bioquímica de Oxigênio. (BRIX, 1993; IWA 2000).

1.6.1.3. "Wetlands construídos" com macrófitas fixas sumersas

Neste tipo de sistema, as macrófitas aquáticas ficam totalmente submersas, fixadas no substrato do fundo do tanque. São projetados canais estreitos e longos com profundidade variável, como indicado na Figura 1-15.

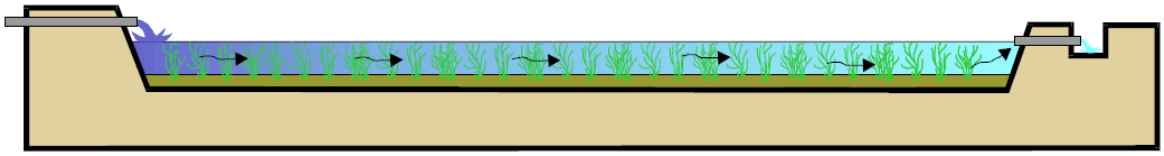


Figura 1-15: Desenho de uma "wetland construído" com macrófitas fixas submersas.
Fonte: ENEAS SALATI, 1987

As espécies mais utilizadas são a *Isoetes lacustris, Lobelia dortmanna , Elodea canadensis , Elodea nuttallii* , *Hydrilla verticillata* e a *Egéria sp.* Estes tipos de macrofitas, só se desenvolvem bem nas águas bem oxigenadas, por isso não tem sido recomendadas para traramento de esgoto urbano, embora alguns experimentos tenham tido bom êxito mesmo para tratamento primário com *Elodea nuttallii* (BISHOP, P. L., EIGHMY, T. T, 1989). Sua utilização tem sido recomendada para os estágios finais de sistemas de "wetlands" construídas (REED *et al*, 1988).

1.6.1.4. "Wetlands construídos" com solos filtrantes

"Wetlands construído" com solos filtrantes são sistemas constituídos por camadas sobrepostas de brita, pedriscos e solo cultivado com arroz, inhame ou outras plantas que se adaptem a condições de solos úmidos e alcalinos. As dimensões dos módulos de solos filtrantes, bem como a espessura da camada de solo, variam de acordo com o efluente a ser tratado e da eficiência que se deseja atingir (Figura 1-16)

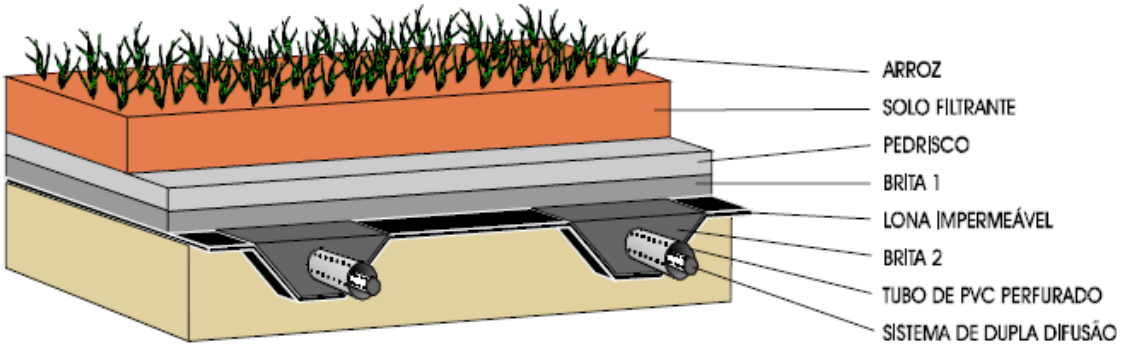


Figura 1-16: Desenho esquemático da estrutura de um solo filtrante. Este tipo de configuração é utilizado tanto para solos filtrantes de fluxo ascendente como fluxo descendente.
Fonte: ENEAS SALATI, 1987

Os solos filtrantes devem ter características especiais, isto é, alto coeficiente de condutividade hidráulica e alta capacidade de troca catiônica, exigências que são atingidas com a incorporação de vermiculita expandida e matéria orgânica fibrosa, sendo que esta correção é dosada a cada caso em função da qualidade do solo disponível na região (SEZERINO, 2006). Os sistemas de solos filtrantes funcionam, dependendo do efluente a ser tratado, com fluxo ascendente (Figura1-17) ou descendente (figura 1-18).

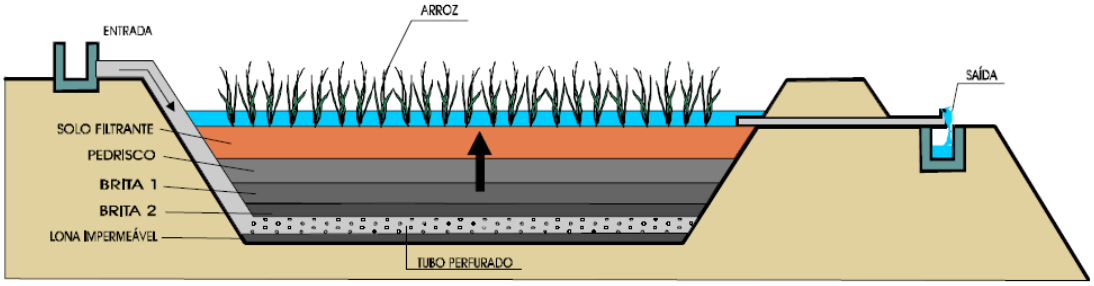


Figura 1-17: Desenho esquemático de um canal de solo filtrante com fluxo ascendente. A água a ser tratada é introduzida sob o sistema de drenagem sobre o qual está colocada a camada de solo filtrante.
Fonte: ENEAS SALATI, 1987

O sistema de solo filtrante com fluxo ascendente é normalmente utilizado no tratamento secundário e terciário de esgoto urbano. As vantagens deste sistema incluem: diminuição dos custos de tratamento primário convencional, evita o contato direto com o efluente a ser tratado, eliminando desta forma problemas de odores e proliferação de insetos.

Nos sistemas de solo filtrante com fluxo descendente, a água a ser tratada é lançada sobre solo cultivado com arroz ou com macrófitas emergentes. O solo é colocado

sobre um sistema de drenagem, especialmente projetado. Os projetos utilizam formas geométricas que mais se adaptem as condições do terreno e com o urbanismo desejado.

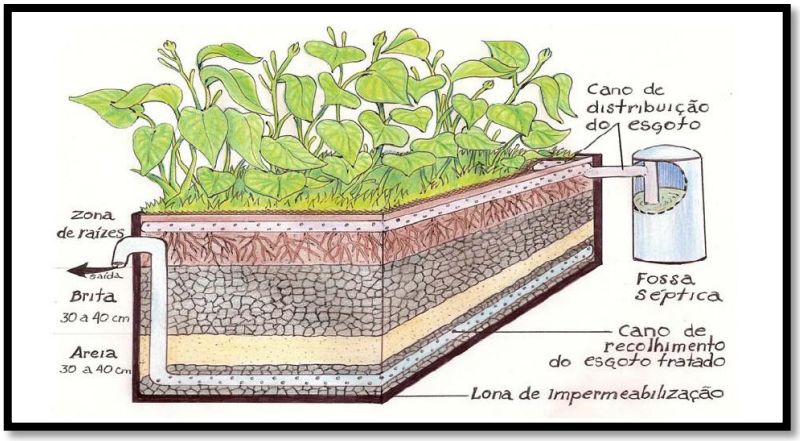


Figura 1-18: Desenho esquemático de um canal de solo filtrante com fluxo descendente
Fonte: VAN KAICK, 2002.

1.6.1.5. Sistemas híbridos de “wetlands construídos”

Os sistemas híbridos são definidos como o emprego em seqüência de filtros plantados com macrófias de fluxo vertical e fluxo horizontal, ou vice e versa (COOPER *et al.*, 1996).

A utilização de um determinado tipo de “wetland” ou de uma combinação entre diferentes “wetlands construído” depende do problema a ser resolvido, da qualidade dos recursos hídricos, da área disponível, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico (SEZERINO, 2006). Tendo em vista que cada técnica de “wetland” tem maior eficiência para purificação de alguns parâmetros, alguns sistemas de purificação hídrica tem sido projetados utilizando uma combinação de técnicas (BRIX, 1993; SALATI, 1987; PAMPLONA, 2008).

Alguns sistemas híbridos projetados e construídos no Brasil, demonstram alta eficiência com a utilização destes sistemas combinados. Manfrinato (1989), em um projeto para purificação das águas do rio Piracicaba, utilizou um sistema composto de um canal de plantas aquáticas flutuantes seguido por solos filtrantes, conseguindo eficiências de 70% para DBO; 99% para coliformes totais e fecais; 70% para DQO; 90% para cor e 95% para turbidez.

1.6.2. Processos de remoção de nutrientes e microoganismos em "Wetlands construídos"

Os principais processos básicos de remoção dos nutrientes em "wetlands" englobam a filtração e a formação de biofilme aderido ao substrato que dá suporte às raízes das plantas, onde comunidades de microrganismos aeróbios e anaeróbios irão depurar a matéria orgânica (SEZERINO *et al*., 2005).

Durante a percolação, a água residuária entra em contato com regiões aeróbias e anaeróbias. A camada aeróbia é mais evidente ao redor das raízes como mostra a Figura 1-19, pois estas tendem a transportar oxigênio da parte aérea para as raízes, havendo uma significativa convecção e difusão de oxigênio com a atmosfera.

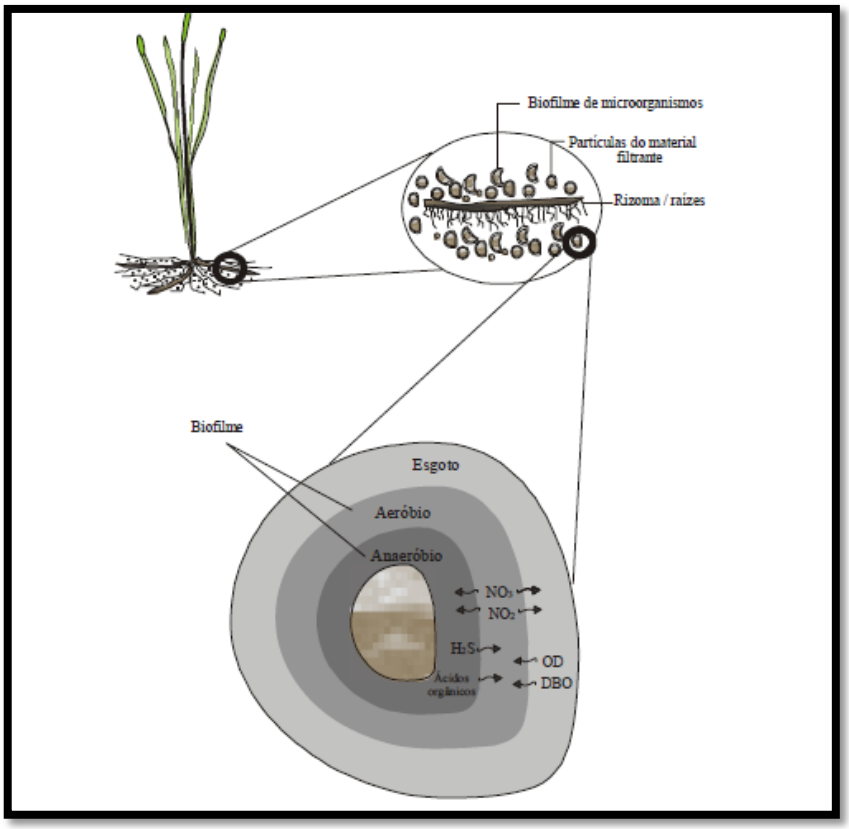


Figura 1-19: Representação do biofilme associado ao sistema radicular. Bactérias aeróbias e anaeróbias se fixam nos materiais porosos, onde promovem um intercambio de moléculas com o efluente.
FONTE: SEZERINO *et al*., 2005.

- *Sólidos em suspensão*

Em “wetlands” de fluxo superficial, os sólidos em suspensão se eliminam por mecanismos de floculação/sedimentação e filtração/interceptação. Convém salientar que, os sólidos que estão nas águas residurárias também podem ser gerados como consequência de restos de plantas e microorganismos precipitados pelo sistema. A sedimentação ocorre por meio da gravidade e em condições ideais é regido pela lei de Stokes, o que indica que a velocidade de sedimentação é proporcional ao quadrado do diâmetro da partícula e inversamente proporcional a viscosidade do fluido (SEZERINO, 2006).

Em sistemas com fluxo de sub-superfícial, a remoção de sólidos suspensos é muito eficaz, porque a velocidade de escoamento do efluente é retardada pela grande área de raízes, areia e cascalho (SEZERINO, 2006).

A brita é muito utilizada como material filtrante em “wetlands” pela grande capacidade de condutividade hidráulica, no entanto, a brita apresenta baixa performance de remoção de sólidos suspensos,dificultando a formação de biofilme, dado a grande potencialidade de cisalhamento deste biofilme.

- *Matéria orgânica*

A remoção da matéria orgânica é feita por processos físicos e biológicos relacionados entre si. A matéria orgânica que chega com o efluente pode ser encontrada na forma de partículas, colóides ou dissolvidos no efluente. Nos dois primeiros casos, os principais processos que conduzem a separação física são similares aos sólidos em suspensão: floculação e sedimentação (COOPER *et al.*, 2005).

Os processos biológicos de remoção da matéria orgânica são diretamente influenciados pela disponibilidade de oxigênio, pelo pH do meio e pela temperatura. Estes processos podem estar relacionados com reações de oxidação/redução, hidrólise e fotólise, que degrada a matéria orgânica (COOPER *et al.*, 2005). A matéria orgânica degradada é utilizada pelos microorganismos se desenvolverem. A disponibilidade de oxigênio no efluente (DBO) determina o tipo de microorganismo envolvido na degradação da matéria orgânica. Os microorganismos aeróbios são muito eficientes na transformação da matéria orgânica em compostos minerais, gases e biomassa microbiana. Os microorganismos anaeróbios utilizam compostos diferentes do oxigênio como aceptores de elétrons, por exemplo, nitratos carbonatos e sulfatos, dando lugar a compostos reduzidos, do tipo de óxidos de nitrogênio, enxofre e sulfatos (MANIOS, *et. al.,* 2003). Estas reações são menos eficiente do que ocorrem em ambientes aeróbios, e para que a redução seja significativa, libera metano ou hidrogênio. Em condições aeróbias, os produtos finais do processo de degradação são compostos oxidados de nitrogênio e enxofre, dióxido de carbono e água. Em condições anaeróbicas, são produzidos ácidos

orgânicos e álcool, e quando ocorre metanogênese, os produtos finais são o metano, dióxido de carbono e hidrogênio (COOPER *et al.*, 2005).

- *Nitrogênio*

O nitrogênio está presente nas águas residuárias na forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e amônia (NH_4^+). Todas essas formas, incluindo o nitrogênio gasoso (N_2, NO_x) são partes do ciclo do nitrogênio. A remoção do nitrogênio por processos físicos de filtração, floculação e sedimentação ocorre principalmente para o nitrogênio orgânico, porque é um constituinte da matéria orgânica e está associado com os sólidos em suspensão (BRIX, 1994). Além disso, o biofilme associados às plantas também absorvem o nitrogênio. Outros processos físicos e químicos podem levar ao desprendimento de amônia gasosa (volatização) por efeito da variação do pH da água O pH pode subir pontualmente em momentos de alta atividade fotossintética e sob condições específicas de temperatura.

Os processos biológicos de remoção do nitrogênio incluem amonificação ou mineralização no nitrogênio, nitrificação, desnitrificação, fixação e assimilação pelas plantas. (RAVEN *et. al*., 2006). A amonificação é o processo em que bactérias saprófitas e vários fungos quebram materiais orgânicos complexos, como proteínas, aminoácidos, ácidos nucléicos e nucleotídeos. Esses microorganismos incorporam o nitrogênio em aminoácidos e proteínas e liberam o excesso sob a forma de íons amônio (NH_4^+). A taxa de oxidação da amônia – cinética da nitrificação - é diretamente proporcional a taxa de crescimento dos organismos nitrificantes, Porém, a velocidade desta transformação é influenciada por uma série de parâmetros que, segundo Vymazal (1995), são: pH, alcalinidade, temperatura, fonte de carbono inorgânico, população microbiológica, concentração da amônia e a quantidade de oxigênio dissolvido.

A nitrificação é o processo de conversão biológica da amônia a nitrato por microorganismos aeróbios nitrificantes em suspensão na água ou situados nos biofilmes das superfícies submersas. O processo é realizado em duas fases: a primeira é a oxidação da amônia a nitrito por bactérias do gênero *Nitrosomonas,* e a segunda, de nitrito a nitrato por bactérias do gênero *Nitrobacter* (Raven et. al., 2006). O nitrito é tóxico para as plantas, mas raramente se acumula no ambiente.

A desnitrificação, redução do nitrato a nitrogênio gasoso, é produzido em condições anaeróbias por bactérias quimioheterotróficas que utilizam o nitrato como aceptor de elétrons e o carbono orgânico como doador de elétrons (RAVEN *et. al.*, 2006). Ocorre principalmente nos sedimentos e nos biofilmes nas áreas com pouco oxigênio dissolvido e alta disponibilidade de carbono, normalmente nas áreas do fundo das wetlands (COOPER *et al.*, 1996). Os produtos da desnitrificação são o nitrogênio

molecular (N_2) e o óxido de nitroso (N_2O). O processo de assimilação do gás nitrogênio (N_2) é chamado de fixação do nitrogênio e é realizado por organismos que contém a enzima *nitrogenase* (RAVEN *et. al*., 2006). O processo de extração de nitrogênio pelas plantas consiste na assimilação de formas inorgânicas de nitrogênio para formas compostos orgânicos nitrogenados estruturais das plantas. Para eliminar esse nitrogênio do sistema, a biomassa produzida deve ser removida periodicamente. Existem inúmeros gêneros de bactérias quimioheterotróficas capazes de reduzir nitrato. Os gêneros *Bacillus*, *Micrococcus* e *Pseudomonas* são os mais importantes encontrados no solo (IWA, 2000); já em ambientes aquáticos as mais importantes são as *Pseudomonas*, *Aeromonas* e *Vibrio* (GRAND & LONG, 1981 *apud* IWA, 2000).

A desnitrificação é mais evidente nos sistemas de fluxo horizontal, pois na maior parte do tempo o material filtrante bem como a rizosfera permanecem inundados com o efluente aplicado. Esta inundação impede a entrada de O_2 atmosférico na massa sólida, tornando o ambiente anóxico e/ou anaeróbio, propício para a ocorrência do processo (COOPER *et al.*, 2005).

Em wetlands de fluxo superficial as transformações do nitrogênio que entra no sistema acontecem basicamente da seguinte forma: separação do nitrogênio orgânico nas proximidades da entrada, seguido da liberação de amônia, nitrificação e desnitrificação (SEZERINO, 2006).

Em sistemas de fluxo subsuperficial, os processos físicos de separação do nitrogênio orgânico associado aos sólidos em suspensão são muito eficazes, pois o leito de cascalho e areia fornece uma grande área de interceptação (SEZERINO, 2006). O sistema também favorece reações anaeróbias associadas com a existência de biofilmes que cobrem os sólidos inertes do leito. Como o oxigênio neste tipo de as zonas úmidas são frequentemente baixas, o processo nitrificação é quase insignificante.

- *Fósforo*

O ciclo do fósforo parece mais simples que o ciclo do nitrogênio porque há menor numero de etapas, e porque as etapas particulares do ciclo não são dependentes de grupos específicos de microrganismos, considerando que o fósforo (PO_4^{3-}) – a única forma inorgânica de fósforo – liga-se o húmus e às partículas do solo (RAVEN *et al.*, 2006).

O fósforo é encontrado nas águas residuárias na forma de fosfatos dissolvidos ou em partículas. Os fosfatos são classificados como ortofosfatos, fosfatos condensados e fosfatos orgânicos (JEFFERSON *et al*., 1999). Fosfatos

orgânicos são formados por processos biológicos, e nas águas residuárias são provenientes de restos de comida, outros resíduos orgânicos e organismos e em produtos de limpeza. O fósforo na forma de partículas pode ser depositado por sedimentação no fundo das wetlands, ou ficar preso entre o emaranhado das raízes e aderir à superfície do substrato.

O ciclo do fósforo solúvel inclui processos fisico-químicos de adsorção/absorção, precipitação, solubilização e redução. Os processos de adsorção/absorção ocorrem sobre o biofilme causando um intenso intercambio de fósforo (HILL & SAWHNEY, 1981). Os fosfatos podem formar precipitados insolúveis de ferro, cálcio e alumínio ou ser adsorvido pela argila, matéria orgânica (turfa) e alguns compostos inorgânicos (óxidos e hidróxidos de alumínio) (RICKLEFS, 1996). O fosfato adsorvido pelas argilas pode ser liberado por trocas de anions ou por baixo potencial de redução. Por exemplo, em condições redutoras os compostos como ferro férrico se reduzem a compostos de ferro ferroso, que são mais solúveis e liberam o íon fosfato. Em condições sem oxigênio os fosfatos férricos e alumínicos podem ser hidrolisados, ocasionando a solubilização de fosfatos (RICKLEFS, 1996)

- *Patógenos*

As águas residuárias podem conter um amplo espectro de patógenos, como helmintos, protozoários, fungos, bactérias ou vírus. Os patógenos podem se encontrar associados aos sólidos em suspensão da água. Neste caso, os patógenos podem ser inativados por processos de remoção dos sólidos, ou seja, sedimentação, interceptação e adsorção/absorção (VON SPERLING, 2005).

O tamanho relativamente grande das bactérias, dos protozoários e dos ovos de helmintos, resulta numa remoção altamente eficiente através da filtração física de “wetlands” com solos filtrantes pela atividade microbiológica na primeira camada orgânica. A remoção de bactérias e vírus por adsorção é favorecida pela maximinização do tempo de residência dos efluentes na zona não saturada. Isso deve ser obtido pela manutenção de uma baixa carga hidráulica ou pela redução da taxa de infiltração. (SALATI *et al*., 1996). Para os patógenos sobreviverem nesses ambientes, eles tem que entrarem em competição com outros organismos não patogênicos, assim, a maior parte dos patógenos não sobrevive por falta de adaptação ao meio.

Portanto, dependendo do objetivo da construção da “wetland” é necessário uma desinfecção antes da descarga ou do reuso da água tratada.

- *Metais*

O efluente tratado na wetland pode conter traços de metais. Alguns metais são necessários em determinadas quantidades para o crescimento das plantas e animais, mas em grandes quantidades podem ser tóxicos, como o cromo, cobalto e cobre. Outros, no entanto, não tem papel biológico e são tóxicos em quantidades muito pequenas, como o arsênio, mercúrio e cádmo. Quando se sabe que o efluente tem alguma contaminação significativa por metais tóxicos, é necessário proceder com tratamentos mais específicos de descontaminação.

Os metais nas zonas úmidas podem ser encontrados em formas solúveis ou insolúveis e associados aos sólidos suspensos. Os processos de remoção físico-químicos dos metais são: intercambio catiônico e formação de quelatos com o substrato ou com os sedimentos, fazendo com que esse composto precipite na forma de sais insolúveis como sulfatos ou carbonatos, conduzindo a uma acumulação no fundo da zona úmida (CHENG, et al 2002).

Espécies como *Brassica juncea, Aeolanthus biformifolius, Alyssum bertolonii e Thlaspi caerulescens* são exemplos de plantas acumuladoras de Pb, Cu/Co, Ni e Zn respectivamente (Mcgrath, 1998). Estudos de Cheng et. al. (2002) demonstraram que *Cyperus alternifolius* possui uma grande capacidade de remoção de metais como Al,Cd,Cu, Pb, Zn e Mn. O principal tecido da *Cyperus alternifolius* que acumula esses metais é a parte subterrânea da planta, especialmente as raízes laterais,

O aguapé também possui capacidade de adsorção de chumbo e cádmo, com taxas de remoção de até 96% e 47% respectivamente (ALESSANDRETTI *et. al*.). Durante esse processo os metais pesados não chegam a ser metabolizados pela planta em níveis que coloquem em risco sua saúde. A maior parte da matéria tóxica acumula-se no sistema radicular, preservando as folhas da contaminação.

1.7. Reuso de água

Nas regiões áridas e semi-áridas, água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos procuram continuamente novas fontes de recursos para complementar a crescente demanda por água.

No polígono das secas no nordeste brasileiro, a dimensão do problema é ressaltada por um anseio, que já existe há 75 anos, pela transposição do rio São Francisco, visando ao atendimento da demanda dos Estados não riparianos da região semi-árida situados ao norte e a leste de sua bacia de drenagem.

Diversos países do Oriente Médio, onde a precipitação media oscila entre 100 e 200 mm por ano, dependem de alguns poucos rios perenes e pequenos reservatórios de água subterrânea - geralmente localizadas em regiões montanhosas de difícil acesso. Nesses locais, a água potável é proporcionada por sistemas de dessalinização da água do mar para manter a agricultura irrigada.

Entretanto, o fenômeno da escassez de água não é atributo exclusivo das regiões áridas e semi-áridas. Muitas cidades possuem taxas de precipitações anuais significativas, mas insuficientes para gerar vazões capazes de atender a demanda excessivamente elevada. Também experimentam conflitos de usos e restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida

Esta condição tem levado à busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que trazem como conseqüência direta, aumentos consideráveis de custo, alem dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados. Nestas condições, o conceito de “substituições de fontes” mostra-se como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico.

Em 1958, O Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, a qual suporta este conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos (particularmente de uso domestico), águas de chuva, águas de drenagem agrícola e salobra, de vem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, a estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água doce.

Embora existam muitas possibilidades de reuso de águas no Brasil para atendimento dos diversos usos benéficos, os mais significativos são as formas de reuso na área urbana, o reuso industrial, o reuso agrícola e o reuso associado à recarga artificial de aqüíferos (TOMAZ, 2006).

De maneira geral, o reuso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não. Lavrador (1987) sugere a seguinte terminologia para efeito de uniformização de linguagem:

- *Reuso de Água:* é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros

usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas.

- *Reuso indireto não planejado de água:* ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Nesse caso, o reuso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante.
- *Reuso planejado de água:* ocorre quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. O reuso planejado das águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidades requeridos pelo novo uso que deseja fazer da água. O reuso planejado também pode ser denominado ”reuso intencional da água”.
- *Reuso indireto planejado de água:* ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada aos corpos d’água superficiais ou subterrâneos para serem usados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico
- *Reuso direto planejado de água:* ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso. Assim, sofrem em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não são, em momento algum, descarregados no meio ambiente.
- *Reciclagem de água:* é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular do reuso direto.

Westerhoff (1984) classifica reuso de água em duas grandes categorias: potável e não potável. Por sua praticidade e facilidade, essa classificação, foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES).

Reuso potável:

- *Reuso potável direto:* quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.
- *Reuso potável indireto:* caso em que o esgoto após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subseqüente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável.

Reuso não potável:

Este tipo de reuso apresenta um potencial muito amplo e diversificado. Por não exigir níveis elevados de tratamento, vem se tornando um processo viável.

- *Reuso não potável para fins agrícolas*: embora quando se pratica essa modalidade de reuso tem como subproduto, a recarga do lençol freático, o objetivo principal dessa pratica é a irrigação de plantas alimentícias e plantas não alimentícias tais como pastagens e forrageiras.
- *Reuso não potável para fins industriais:* abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo para utilização em caldeiras, etc.
- *Reuso não potável para fins recreacionais:* classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimentos de lagoas ornamentais, recreacionais etc.
- *Reuso não potáveis para fins domésticos: são* considerados aqui os casos de reuso de água para rega de jardins residências, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em edifícios.
- *Reuso para manutenção de vazões:* a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carreadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.
- *Aquacultura ou aqüicultura*: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.
- *Reuso para recarga de aquíferos subterrâneos*: é a recarga dos aqüíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta através de injeção sob pressão, ou de forma indireta utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

O reuso de água cinza enquadra-se no reuso não-potavel. Ela pode ser utilizada para todos os fins citados acima, destacando-se, principalmente, o reuso doméstico (rega de jardins residenciais, lavagem de veículos e de áreas impermeáveis, descarga de vasos sanitários) e agrícola. Segundo Eriksson *et al.,* (2002), diferentes tipos de água cinza podem ser adequados para diferentes tipos de reuso e irá requerer diferentes tipos de tratamento, dependendo do reuso que se pretende dar a ela.

Os riscos à saúde incluem tanto os riscos micribiológicos quanto os riscos vindo de agentes químicos. Os riscos devido a produtos químicos na água de reuso são

oriundos da presença de compostos orgânicos, compostos radioativos e de metais, entretanto, esses riscos são muito mais baixos do que os causados por microorganismos patogênicos (GREGORY *et al.,* 1996). Em virtude disso, os modelos de avaliação de risco para o reuso não-potáveis são baseados nos riscos microbiológicos.

A transmissão de patógenos pode ocorrer através de diferentes rotas (OMS, 2006): diretamente através do contato com a água cinza; diretamente através de contaminação de água potável; diretamente através de legumes, mariscos ou outros alimentos expostos a contaminação da água ou do solo; pela ingestão acidental de água contaminada durante atividades recreativas; por inalação de aerossóis ou poeira devido à irrigação com água cinza e pela transmissão secundária por contato com indivíduos infectados. No entanto, não existe nenhum incidente grave para a saúde humana, relatado a partir da reutilização de água cinza A reutilização de água cinza para a irrigação pode ser benéfica para as plantas porque contém nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, mas também pode conter sódio e cloreto, o que pode ser prejudicial para algumas espécies de plantas (OMS, 2006).

Existem quatro razões para que a água cinza possa vir a ser tratada (OMS, 2006): para remover substâncias que podem ser nocivas para a saúde humana; para remover substâncias que podem ser prejudiciais aos vegetais e solo; para remover substâncias que podem ser prejudiciais para o ambiente e para remover substâncias que podem entupir o sistema de reuso

Os métodos de tratamento de águas cinza podem variar de sistemas de baixo custo, como telas, filtros simples ou sedimentação para retenção de óleos, gorduras e resíduos sólidos; para sistemas mais caros de tratamento secundário que tratam e desinfetam a água cinza antes de utilizá-la. Sistemas simples de tratamento são viáveis para serem utilizados, pois são economicamente atraentes devido à manutenção, que pode ser realizado pelos próprios moradores da casa e que geralmente não dependem fortemente de eletricidade ou de produtos químicos para operar.

A desinfecção é um processo terciário utilizado no tratamento de final de efluentes, no qual os patógenos são inativados. A desinfecção prevê a possibilidade de utilizar a água cinza tratada para fins domésticos, tal como a lavagem de veículos. Entre os diversos métodos de desinfecção, podemos destacar: cloro, cloreto de bromo, hipoclorito de cálcio, ozônio e a radiação ultravioleta.

O reuso de esgoto convencional na agricultura é uma fonte efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para reaproveitar os nutrientes presentes e aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semi-áridas. Os maiores benefícios dessa forma de reuso são associados aos aspectos econômicos e ambientais. O reuso na agricultura reduz substancialmente, ou mesmo elimina a necessidade do emprego de

fertilizantes comerciais. Com esses fertilizantes naturais é possível aumentar significativamente a produtividade agrícola em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados (SHENDE, 2002). Dependendo das características dos esgotos, a prática da irrigação por longos períodos pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos ou inorgânicos, e ao aumento significativo de salinidade em camadas insaturadas (FOSTER *et al*., 1994).

Águas residuárias contendo sais solúveis podem prejudicar o solo e as plantas de diversas maneiras: danos a vegetação pelo simples contato direto; podem acumular no solo e dentro do sistema radicular das plantas, inibindo sua germinação e seu crescimento. Efluentes com baixa salinidade, porém com significativa predominância de íons sódio, pode provocar a diminuição da permeabilidade do solo. Pode também reduzir a retirada de água do solo pela planta, pela diminuição do seu potencial osmótico. (GHEYI, 1997).

Um fator-chave para o sucesso de um sistema de reuso é o balanço entre o suprimento e a demanda de água cinza. Estudos feitos por Surendran e Wheatley (1998), em uma universidade, mostram que o volume acumulado de água cinza gerado e o volume requerido pelas descargas dos vasos sanitários em um dia são bastantes semelhantes.

Entretanto a dinâmica do reuso de água cinza no vaso sanitário, não é tão ideal. A água cinza é produzida em um tempo ligeiramente deslocado da descarga dos vasos e, além disso, ela é gerada em curtos períodos de tempo, ao passo que a descarga do vaso sanitário ocorre de maneira mais consistente ao longo do dia. Isso geralmente resulta em um déficit de água durante a tarde e a madrugada. A utilização de reservatórios de estocagem pode corrigir esse déficit, mas aumenta substancialmente o tamanho de todo o sistema. A Figura 1-20 mostra um esquema de reuso de água cinza no banheiro.

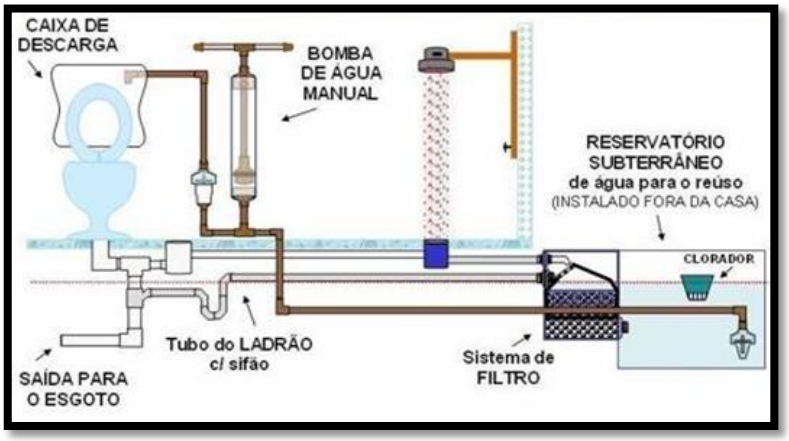


Figura 1-20: Esquema de um sistema de reuso de água cinza desenvolvido pela ONG–Sociedade do Sol

FONTE: www.sociedadedosol.org.br

Um outro fator de grande importância relativo ao reuso diz respeito aos aspectos estéticos da água reciclada. Neste caso, o reuso está vinculado ao “adorno arquitetônico”, exigindo grau de transparência, ausência de cor, odor, escuma, ou qualquer outra substância ou componentes flutuantes” (FIESP, 2005).

Os padrões ou diretrizes de reuso de água variam de acordo com o tipo de aplicação, com contexto de cada região, e com os riscos oriundos dessa prática. Dependendo das especificações do projeto, irão existir diferentes requisitos de qualidade, processos de tratamento, critérios de operação e confiabilidade.

1.8. Normas , legislações e padrões a cerca do reuso

Segundo Nolde (1999) a água para ser reutilizada deve cumprir quatro critérios: segurança higiênica, estética, tolerância ambiental e viabilidade econômica. No entanto, a falta de normas e orientações adequadas, tem dificultado o reuso de águas cinza (LAZAROLVA *et al*., 2003).

Não há uma uniformidade entre as normas internacionais que controlam a qualidade dos efluentes a ser reutilizado, pois existe uma considerável variação entre os valores e os limites dos parâmetros estabelecidos, podendo variar entre estados do mesmo país (LI, 2009).

Na Alemanha, o Departamento de Obras Públicas e Habitação o (Berliner) criou uma regulamentação para orientar a reutilização de água cinza, no qual são exigidos parâmetros como BDO_7, concentração de oxigênio, coliformes totais, coliformes fecais e *Pseudomonas aeruginosa* (NOLDE, 1999). Estes parâmetros podem ser usados como base para a orientação para a reciclagem de águas cinza. Segundo Li (2009) os parâmetros como pH, SST, BDO_5, turbidez, coliformes totais e fecais devem ser incluídas para o estabelecimento de uma boa orientação de reutilização de águas cinza. Ocasionalmente, algumas das orientações também contêm limites para os parâmetros, como a amônia, fósforo, nitrogênio e cloro residual. As normas chinesas de reutilização de águas residuais consideram ainda, parâmetros adicionais como TDS, TN, NH4-N, TP e detergente para a reciclagem de águas residuárias.

Com base nos estudos de Nolde (1999) e Asano (1998), as orientações para a reutilização restrita e irrestrita de águas cinza para fins não-potáveis estão apresentadas no quadro 1-4. Obviamente, as orientações irrestritas para a reutilização têm menores exigências de qualidade da água, em comparação com a reutilização restrita.

As tecnologias de tratamento de águas cinza incluem tratamentos físicos, químicos, biológicos. A maioria destas tecnologias são aplicadas para reduzir o volume de partículas em suspensão, óleos e graxas. A desinfecção é o passo subseqüente para cumprir os requisitos microbiológicos.

	pH	SST	TDS	TURBIDEZ	BDO_5	DETERGENTI	NT	NH_4-N	PT	O_2 DISSOLVIDO	Cl RESIDUAL	COLIFORM TOTAL	COLIFORME FECAL	REUSO
Nold, 1999, Alemanha	-	-	-	-	5mg/l (BDO_7)	-	-	-	-	> 50%	-	< 100	< 10/ml	**Descarga do vaso sanitário**
Ernst et al. 2006 China	6-9	-	< 150	< 5	< 10	1	-	< 10	-	-	> 1mg/l depois de 30 min > 0,2 no momento do uso	-	< 3/100ml	**Descarga do vaso sanitário**
	6-9	-	< 100	< 20	< 20	1	-	< 20	-	> 1	> 1mg/l depois de 30 min > 0,2 no momento do uso	-	< 3/100ml	Irrigação
	6-9	-	>1000	< 5	< 6	0,5	-	< 10	-	-	> 1 mg/l apos 30 min. > 0,2 mg/l no Momento do uso	-	< 3/100ml	Lavagem
	6-9	-	-	-	< 6	0,5	15	< 5	< 0,5	> 1,5	-	-	< 1000/100 ml	Represamento Restrito
	6-9	-	-	< 5	< 6	0,5	15	< 5	< 0,5	> 2	-	-	< 500/100ml	Represamento Irrestrito ????
Asano, 1998, EUA	6-9	-	-	< 2	10	-	-	-	-	-	1 mg/l	-	ND/100ml	**Reuso Irrestrito***
	6-9	30	-	-	30	-	-	-	-	-	1 mg/l	-	< 200/100ml	Reuso Restrito**
Maeda et al., 1996, Japão	5,8- 8,6	-	-		≤ 20	-	-	-	-	-	????? retido	≤ 1000/ml	-	**Descarga do Vaso Sanitário**
	5,8- 8,6	-	-		≤ 20	-	-	-	-	-	≥ 0,4	≥ 50/ml	-	Irrigação da Paisagem
	5,8- 8,6	-	-	≤ 10	≤ 10	-	-	-	-	-	-	≤ 1000/ml	-	Meio Ambiente (Resolução Estética) ?????????
	5,8- 8,6	-	-	≤ 5	≤ 3	-	-	-	-	-	-	≤ 50/ml	-	Meio Ambiente (Contato ao limitado)
NSW health, 2005. Austrália	-	< 10 20 (Max)	-	-	< 10 20 (Max)	-	-	-	-	-	0,5-2,0 (90%)	< 1 2,0 (máx)	<10 (90%) 30 (Máx)	-

Tabela 1-3: Normas e padrões a cerca do reuso de efluentes humanos em diferentes países.

ND: não-detectado

*Descarga de vaso sanitário, irrigação da paisagem, lavagem de carros e irrigação da agricultura.

**Irrigação de áreas publicas: campos de golfe, cemitérios entre outros.

FONTE: Li *et al*., 2009.

Em 2006 a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou um guia sobre reuso de águas cinza para uso restrito e não restrito na irrigação. O guia descreve apenas exigências microbiológicas sem considerar os parâmetros físico-químicos. Para o reuso restrito na irrigação, o número de ovos de helmintos e o número de E. coli deve ser inferior a 1 / 1 litro e 105/100 ml, respectivamente.

Quanto às leis sobre o tema reuso de água, vigentes no Brasil, pode-se destacar a lei 6938/81 que institui a política nacional do meio ambiente que menciona o incentivo ao estudo e pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais.

Com o objetivo de evitar a poluição e contaminação de qualquer espécie modificando os usos dos corpos d´água, institui-se a Resolução CONAMA nº 357, de 18 de junho de 2005, que estabelece nove classes de acordo com os usos preponderantes da água no Território Nacional.Os efluentes somente podem ser descartados em corpos d´água se os seus parâmetros característicos se situarem dentro do balizamento dado pela Resolução CONAMA nº 20/1986, para cada classe de corpo de água. A lei 9433/97 – Política Nacional de Recursos Hídricos – fixa os fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos capazes de indicar a orientação publica no processo de gerenciamento dos recursos hídricos.

A Associação Brasileira De Norma Técnicas (ABNT), na NBR 13969:1997, propõe alternativas para tratamento e disposição dos efluentes dos tanques sépticos, incluindo alternativas para possibilitar a adequação da qualidade do efluente para as situações diversas incluindo o reuso. A ABNT Classifica os efluentes em quatro classes e determina padrões para reuso (Quadro 1-5).

	PARÂMETROS CONTEMPALDOS	TRATAMENTO INDICADO	DESTINAÇÃO	OBSERVAÇÕES
CLASSE 1	CF <200nmp/100ML Sólidos dissolvidos totais <200mg/L pH de 6-8 CL 0,5-1,5mg/L Turbidez < 5	Tratamento aeróbico + filtração convencional com areia e carvão ativado + cloração	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água	Pode-se substituir a filtração convencional por membrana filtrante
CLASSE	CF, 500NMP/100ml	Tratamento aeróbico + filtro	Lavagem de pisos calçadas e irrigação de jardins,	Pode-se substituir a filtração

2	Turbidez < 5 CL > 0,5mg/L	de areia e desinfecção	manutenção de canais e lagos para fins paisagísticos	convencional por membrana filtrante
CLASSE 3	Turbidez < 10 CF < 500NMP/100ml	Tratamento aeróbico + cloração	**Descargas dos vasos sanitários**	As águas provenientes de maquinas de lavar satisfazem a este padrão
CLASSE 4	CF<5000NMO/100ml OD > 2,0mg/L	Escoamento superficial	Reuso nos pomares, pastagens para gado	As aplicação devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita

Tabela 1-4: Valores dos parâmetros contemplados pela ABNT para a classificação de efluentes conforme o reuso.
Fonte: ABNT norma 13969/1997

Já o manual elaborado pela FIESP (2005) recomenda a água de classe 1 para o reuso em descargas de vasos sanitários (Tabela 1-6).

Parâmetros	Manual de "Consevação e reúso de água em edificações " Classe 1 (FIESP, 2005)
pH	6,0 - 9,0
Cor (UH)	≤ 10
Turbidez (NTU)	≤ 2
Óleos e Graxas (mg/L)	≤ 1
DBO (mg/L)	≤ 10
Coliformes Fecal (NMP/100mL)	Não detectáveis
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes
Nitrato (mg/L)	≤ 10
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20
Nitrito (mg/L)	≤ 1
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0,1
SST (mg/L)	≤ 5
SDT (mg/L)	≤ 500

Tabela 1-5: Limites estabelecidos pela FIESP (2005) para reuso em descargas de vasos sanitários.
Fonte: FIESP 2005.

II. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental, da construção de um sistema de filtro plantado de fluxo descendente ("wetland construído") com papiro gigante (*Cyperus giganteus*) utilizado para o tratamento domiciliar de água cinza e reuso na descarga do vaso sanitário.

2.1.1 Objetivos específicos

- Descrever nos resultados todas as etapas técnicas e orçamentárias da construção do sistema de tratamento e reuso.

- Apresentar propostas de melhorias construtivas e operacionais baseadas em situações observadas ao longo do período de acompanhamento do sistema.

III. Justificativa

O Planalto Central possui uma grande importância no que diz respeito à manutenção dos recursos hídricos brasileiro, pois é local de formação de grandes rios que contribuem para a produção hídrica de seis bacias hidrográficas. Com o grande crescimento populacional no Distrito Federal, cada vez é maior a demanda por água potável e cada vez é maior a poluição gerada pela produção de águas residuárias. Isso causa grande pressão aos recursos hídrico do Planalto Central e, consequentemente, a outras bacias hidrográficas.

Para lidar com esta situação, a gestão convencional de saneamento deve ser revisto e desenvolvido. Sistemas de tratamento e reuso de baixo custo, onde a água e os nutrientes podem ser reaproveitados na própria residência são ótimas estratégias para o saneamento ecológico. Ao se tratar e reutilizar águas cinza localmente, a carga no sistema de escoamento de águas residuárias é reduzida, permitindo que a água permaneça nos ecossistemas naturais. Com isso, os custos de investimentos em infra-estrutura no tratamento e transporte dos efluentes domésticos são reduzidos.

Sistemas de tratamento de água cinza por zonas de raízes (“wetland construídos”) é uma tecnologia que se adéqua ao contexto de saneamento ecológico, pois funcionam como sistemas naturais, possuem uma grande eficiência na remoção dos poluentes, são de fácil manejo, apresentam baixo custo de implementação e ainda possuem um potencial paisagístico.

IV. Material e Métodos

4.1. Área de estudo

O estudo de caso será realizado em uma unidade residencial habitada por uma pessoa, no condomínio Estância Jardim Botânico, localizado no Setor Habitacional Jardim Botânico – SHJB na Região Administrativa do Jardim Botânico – RA XXVII (Figura 3-1). Este condomínio é abastecido unicamente por poços artesianos, não possuindo rede coletora de esgotos, como grande parte dos condomínios do Distrito Federal. Além disso, na administração existem registros e dados tais como: qualidade da água fornecida pelo poço artesiano que o abastece, consumo médio de água por residência e o número total de residências. O trabalho foi realizado em um banheiro com uma pia, um vaso sanitário e um chuveiro.

Figura 4-1: Croqui rede de distribuição de água da CAESB, em destaque a região do Setor

Habitacional Jardim Botânico (SHJB). Os condomínios dessa região captam a água de poços artesianos.
Fonte: CAESB (2008).

4.2. Levantamentos dos dados

Para o levantamento dos dados, o trabalho foi dividido em cinco etapas:

- Levantamento de dados referentes à contextualização dos condomínios horizontais de Brasília na gestão hídrica do Distrito Federal.
- Quantificação da produção e da demanda de água cinza do banheiro e caracterização físico-química e microbiológica da água cinza produzida.
- Construção, levantamento orçamentário do sistema e cálculo do período de retorno do investimento (*payback*).
- Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza tratada pelo filtro.
- Cálculo da economia de água do condomínio onde o estudo foi feito, caso todas as residências tivessem um sistema de reuso similar ao proposto.

Levantamento dos dados referentes à contextualização dos condomínios horizontais de Brasília na problemática da gestão hídrica do Distrito Federal.

Para contextualizar o problema hídrico do Distrito Federal, com relação aos condomínios, foram coletados alguns dados junto a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB, referentes à quantidade de residências que recebem água encanada no DF e um croqui da rede de distribuição de água na cidade que mostra as regiões que são abastecidas pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) e as que são abastecidas por poços artesianos ou sistemas mistos. Também foram coletados dados do diagnóstico preliminar dos parcelamentos urbanos informais no Distrito Federal realizado pela União dos Condomínios Horizontais e Associações de Moradores do Distrito Federal – UNICA, que apresenta o número total de residências dos condomínios da região.

Quantificação da produção e da demanda de água cinza do banheiro e caracterização físico-química e microbiológica da água cinza produzida.

Para estimar o volume de água produzido diariamente na pia, a água utilizada será armazenada em um balde abaixo do ralo e medido seu volume. Para calcular o volume de água produzido diariamente no chuveiro, será instalado um hidrômetro próximo ao registro. Para o vaso sanitário, multiplicou-se o volume de água gasto em cada descarga pelo número de descargas realizadas durante os meses de julho e agosto. De posse dos números, foi feito uma média aritmética para estimar o volume diário de água utilizada no banheiro. Para a caracterização química e microbiológica, a água misturada do chuveiro e da pia foi analisada no Laboratório de Águas da Universidade Católica de Brasília (UCB). Os parâmetros contemplados foram:

DQO – Demanda Química de Oxigênio
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
NH_4 - Nitrogênio Amoniacal
NO_3 – Nitrato
P_t – Fósforo total
pH – Potencial de Hidrogênio
Turbidez
CT – Coliforme Total
CF – Coliforme Fecal

As técnicas de análises laboratoriais obedecem aos procedimentos recomendados pelo Standard Metods for the Examination of Water and Wastewater – 19ª Edição (APHA *et al*., 1995).

Levantamento orçamentário do sistema, construção e cálculo do período de retorno do investimento (*payback*)

O filtro será feito em um “tonel” de plástico com volume de aproximadamente 175L, com 40cm de largura e 70cm de altura. No fundo do tonel, foi instalado um cano de 100mm de diâmetro com furos de 8mm para coletar a água tratada. O tubo de coleta está envolvido por uma tela de mosquiteiro de *nylon* e um tecido sintético chamado *bidim*, que permite apenas a entrada de água (Figura 4-2). Este tubo será conectado a um cano vertical de 50mm, que mantém o nível da água dentro do reservatório e conduz a água tratada ao reservatório (de plástico também) que abastece o vaso sanitário (Figura 4-3).

Figura 4-2: Fotos do cano que recolhe a água tratada. À esquerda, foto do cano de 100mm furado, envolvido por uma tela mosquiteiro e *bidim*. Isto permitirá apenas a entrada de água, retendo a areia e a terra. À direita, foto do mesmo cano instalado no fundo do tonel.

Figura 4-3: Foto do tonel que será o filtro (a direita) ligado ao reservatório de água tratada que abastecerá o vaso sanitário. Este cano está na vertical para manter o nível da água dentro do reservatório.

O fundo do tonel foi preenchido com brita 1 até a altura de 20cm acima do cano de coleta. Por cima da brita foi colocado o bidim em cima de uma camada de tela de mosquiteiro de *nylon,* de modo que cubram as paredes do tonel (Figura 4-4). Isso evitará possíveis entupimentos no tubo que coleta a água tratada e auxiliará na manutenção do sistema. Acima, veio uma camada de 20cm de terra vermelha (Latossolo), areia lavada média (25 cm) e outra de brita 1 com 5cm de espessura (Figura 4-5). Por cima foi plantado papiro gigante (*Cyperus giganteus*).

Figura 4-4: Foto do sistema que evita entupimentos e facilita a manutenção. Em verde, a tela mosquiteiro de *nylon* e em branco, o bidim. Ambos são colocados acima da camada de brita 1. Por cima foi colocado uma camada de terra, uma de areia e outra de brita 1. O sistema tela/bidim impedirá que a terra e a areia entrem no cano de coleta da água tratada.

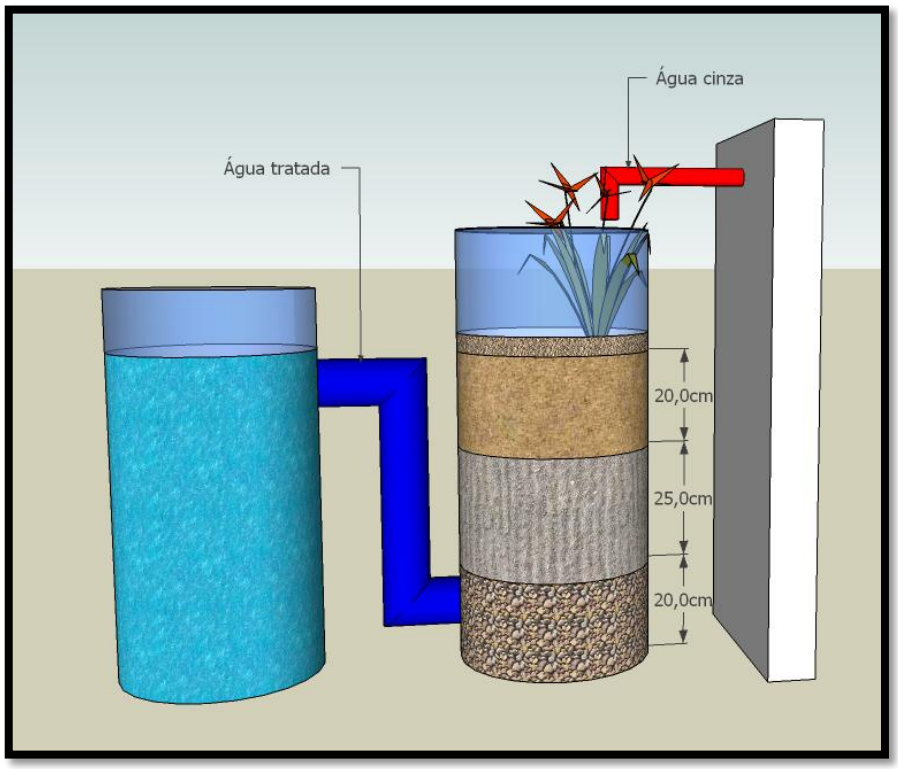


Figura 4-5: Desenho esquemático do filtro plantado e do reservatório de água tratada que abastecerá o vaso sanitário. A água cinza chega pelo tubo de 50mm, em vermelho, e atravessa

todas as camadas filtrantes (de cima para baixo): 5cm de brita 1 na base do papiro plantado; 25 cm de areia média, 20cm de latossolo-vermelho e 20cm de brita 1. A água tratada, em azul, é coletada pelo fundo do filtro e direcionada ao reservatório.

A água cinza chega ao topo do filtro, atravessa as camadas filtrantes e é recolhida no fundo do tonel. A água tratada é então levada do reservatório ao vaso sanitário por uma bomba de máquina de lavar roupas, acionada quando a descarga é realizada. O reservatório possui um “ladrão” de 50mm que irriga bananeiras com o excesso de água não reutilizada na descarga do vaso sanitário. Os detalhes da construção serão apresentados nos resultados.

A escolha da macrófita *Papiro giganteus* foi baseada na capacidade dessa planta em remover poluentes das águas residuárias, na tolerância a variações hídricas, por ser uma planta que cresce naturalmente no Brasil e por possuir um potencial paisagístico.

De posse dos dados quantitativos relativos à produção de águas cinza (chuveiro e pia) e do volume de água utilizado no vaso sanitário, será possível estimar o volume do reservatório que é necessário para abastecer o vaso sanitário.

Para o estudo de viabilidade econômica, será feito o levantamento orçamentário do sistema. Posteriormente, será calculado o tempo de retorno do investimento (*payback*), como base no preço pago pela água no Distrito Federal de acordo com a política tarifária praticada pela Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília (Caesb).

Caracterização físico-químico e microbiológica da água tratada

Para a caracterização química e microbiológica da água cinza, a água tratada na “wetland” será analisada em laboratório em outubro de 2009, após um mês de funcionamento do sistema. As amostras serão analisadas no Laboratório de Águas da Universidade Católica de Brasília (UCB). Os parâmetros contemplados foram os mesmos analisados para água cinza produzida.

O resultado das analises irá indicar se a água tratada se enquadra aos padrões estabelecidos pela ABNT para reuso na descarga do vaso sanitário e para irrigação sub-superficial de bananeiras.

Cálculo da economia de água do condomínio onde o estudo foi feito, caso todas as residências tivessem um sistema de reuso similar ao proposto.

Para o estudo de viabilidade ambiental do sistema, a água consumida atualmente no condomínio será quantificada: o consumo médio de água por residência através de

relógios individuais instalados em cada residência e o consumo total por ano no condomínio. Com o cálculo da economia gerada pelo sistema de reuso de água proposto, os resultados foram extrapolados para todas as residências do condomínio e, desta forma, demonstrar o volume de água que é possível conservar nos recursos hídricos da região.

V. RESULTADOS E DISCUSSAO

5.1. Levantamento de dados referentes à contextualização dos condomínios horizontais de Brasília na gestão hídrica do Distrito Federal.

Segundo dados do diagnóstico preliminar dos parcelamentos urbanos informais no DF realizado pela União dos Condomínios Horizontais e Associações de Moradores do Distrito Federal – UNICA-DF a região do SHJB tem vinte e cinco condomínios e uma população total de doze mil trezentos e sessenta e nove habitantes, sendo desse que total dois mil trezentos e cinqüenta e dois moram no condomínio Estância Jardim Botânico (UNICA, 2008).

No DF o fato dessas novas áreas de ocupação territorial não serem atendidas pela CAESB fez com que os condomínios residenciais buscassem seu abastecimento público de água nos aqüíferos fraturados a partir de captações por poços tubulares profundos. Dessa forma cada condomínio implantou seu sistema independente de distribuição de água potável, baseado unicamente na exploração de água subterrânea, por tratar-se de um sistema de baixo custo. Entretanto, a excessiva exploração desses aqüíferos, concomitantemente com a impermeabilização da área vem ocasionando, nos últimos dez anos, um rebaixamento significativo nos níveis dinâmicos dos poços, levando os aqüíferos à condição de super exploração.

5.2. Quantificação da demanda de água, produção de água cinza do banheiro e caracterização físico-química e microbiológica da água cinza produzida.

Os resultados a seguir foram obtidos a partir dos dados de monitoramento mensal registrado pelo hidrômetro do cavalete da residência entre os meses de julho de 2008 a julho de 2009, para determinar a média de consumo de toda casa. O consumo do banheiro é dado pela soma dos consumos dos aparelhos sanitários, que foram monitorados diariamente: o volume do reservatório instalado abaixo da pia do banheiro, o

hidrômetro instalado no chuveiro e o número de descargas realizadas no vaso sanitário multiplicado pelo volume de cada descarga (7L), durante o mês de agosto de 2009.

Os resultados dos monitoramentos encontram-se na tabela 5-1. O consumo mensal de água no banheiro foi de 2672,3L; representando 56% do consumo total de água na residência (4500L). Esse valor está abaixo ao encontrado pela pesquisa da USP em parceria com a SABESP (63%) e ao trabalho de Rocha (1998), que demonstrou que 68% do consumo de água em residências de baixa renda são gastos no banheiro.

Para atender a demanda mensal da pia e do chuveiro foram necessários 139,5 e 1131,5 litros de água, respectivamente (Tabela 5-1). O consumo médio diário da pia do banheiro foi 4,5L/hab./dia representando 3% do consumo total de água na residência. Comparando as tabelas 5-1 e 5-2 veremos que o consumo da pia foi superior ao encontrado por Almeida et. al. (1999) no sudoeste da Inglaterra (1,8L/hab./dia) e bastante inferior ao encontrado por Barreto (2008) na cidade de São Paulo (10,8L/hab./dia = 4,2%) e a Cohim et. al. (2009), que encontrou uma média de 8,65L/hab./dia (10%) para casas populares na Bahia. No chuveiro, a média do consumo diário foi de 36,5L/hab., o que representou 25% do consumo total de água na residência. O volume de água utilizado diariamente no chuveiro (36,5L/hab.) foi menor que o observado na Inglaterra (Almeida et. al., 1999; 42,3L/hab./dia), próximo ao consumo na cidade de São Paulo (Barreto, 2008, 35,3L/hab./dia) e maior que o volume gasto no chuveiro na Bahia, 18,25L/hab./dia (Cohim et. al., 2009) (Tabela 5-2). A média diária de consumo no chuveiro (36,5L/hab.) está próximo do banho “padrão” de 40 L, ou seja, um banho de 8 minutos com vazão de 5 L/min (Barreto, 2008). Entretanto, a contribuição do chuveiro com o volume de água gasto na residência (25%), foi maior que o encontrado por Barreto (2008), 13,9%.

USO	PARTICIPAÇÃO (%)	CONSUMO MENSAL (L/hab.)	MÉDIA DIÁRIA (L/hab.)
Pia do banheiro	3	139,5	4,5
Chuveiro	25	1131,5	36,5
Vaso sanitário	28	1258,6	40,6
TOTAL BANHEIRO	56	2529,6	81,6
Outros Usos	44	1970,4	63,56
TOTAL RESIDÊNCIA	100,0	4500,0	145,2

Tabela 5-1: Consumo mensal e *per capita* por uso e total (L/hab./dia) no banheiro estudado.

REFERÊNCIA	USO	PARTICIPAÇÃO (%)	MÉDIA DIÁRIA (L/hab.)
Nolde (1999) Alemanha	Vaso sanitário	-	52
Almeida (1999)	Pia do banheiro	-	1,8
Sudoeste da	Chuveiro	-	42,3
Inglaterra	Vaso sanitário	-	61,4
Barretos (2008)	Pia do banheiro	4,2	10,8
Cidade de São	Chuveiro	13,9	35,3
Paulo	Vaso sanitário	5,5	14,0
Cohim (2009)	Pia do banheiro	10	8,65
Casas populares	Chuveiro	21	18,25
Bahia	Vaso sanitário	23	19,83

Tabela 5-2: Consumo *per capita* (litros/hab./dia) obtido em outras pesquisas.

Os resultados da medição no vaso sanitário mostraram que foram necessários 1258,6 litros de água por mês para abastecê-lo, representando 28% do consumo de água na residência. Este valor foi menor que o observado nos Estado Unidos (EPA 1992) (41%) e na Austrália (32%) (NSWhealth, 2000), e próximo ao encontrado pela USP em parceria com a SABESP (29%). O consumo médio diário no vaso sanitário foi de 40,6L/hab. Este consumo foi inferior a 61,4L/hab./dia encontrado por Almeida na Inglaterra e por Nolde (1999) (52L/hab./dia) e muito superior ao encontrado por Barretos e a Cohim, 14 e 19,83L/hab./dia (Tabela 5-2). O alto consumo no vaso sanitário demonstra o grande volume de água necessário para transportar as fezes e urina até a estação de tratamento e a necessidade de adotarmos medidas racionalizadoras relacionadas às descargas do vaso sanitário. Ações de uso racional de água incluiriam a realização da descarga apenas após a segunda urina, substituição do vaso sanitário por um que possua descarga com menor volume e com duplo acionamento: um com volume de três litros para a urina e outro de sete litros para as fezes.

O objetivo da substituição dos componentes convencionais por economizadores de água é reduzir o consumo independentemente da ação do usuário ou da sua disposição em mudar de comportamento.

Se fosse instalado um vaso sanitário com acionamento especifico para urina com volume de 3 litros, a média diária de consumo seria de 27,4L/hab./dia, representando uma de economia de 13,2L/hab./dia. Por mês, seriam economizados 409,2 litros de água, ou seja, 21% do consumo total da residência. Se o cálculo do consumo de água for feito desconsiderando as descargas ao urinar, o consumo médio diário seria de 9,8L/hab./dia,

representando uma economia de 30,8L/hab./dia. Por mês seriam economizados 954,8 litros de água (Figura 5-1), ou seja, 21% do consumo total da residência.

Analisando os três cenários (descarga com urina, descarga sem urina e descarga com acionamento para urina com 3 litros) a melhor situação encontrada para economizar água no banheiro, é urinar no quintal da residência, principalmente na terra onde estão plantadas frutíferas como limoeiro, acerola, bananeira e mamoeiro. A urina contém altos níveis de nitrogênio, e menores níveis de potássio, fósforo, magnésio, zinco, entre outros elementos essenciais para o desenvolvimento dos vegetais. A urina contém menos metais pesados do que os fertilizantes e os efluentes dos esgotos convencionais (Vatten et al. 2000). Considerando que cada pessoa urina anualmente cerca de 4,5 kg de nitrogênio, mais de 0,5 kg de fósforo, e cerca de 1,2 kg de potássio, esses nutrientes são suficientes para adubar por um ano o cultivo dos grãos consumidos por uma pessoa (Wolgart, 1993). Estudos realizados no México (Guadarrama, 2000 *apud* Esrey, 2000) e na China (Personal communication, 2000 *apud* Esrey, 2000) demonstraram que feijões, couves, acelga, tomate, beterraba, aipo, beterraba, arroz, milho e bambu fertilizados com urina humana tiveram um melhor rendimento do que o controle. Em Estocolmo, na Suécia, o cultivo de cereais fertilizados com urina também se revelou um substituto válido para os fertilizantes minerais, sem qualquer impacto negativo para as plantas nem para o ambiente (Vatten et al. 2000).

Outra estratégia para o uso racional da água nas residências é criar uma parceria entre os condomínios e prédios com a companhia de saneamento e uma empresa fornecedora dos aparelhos economizadores (pias, vasos sanitários e chuveiros). A empresa trocaria os aparelhos sanitários antigos dos moradores por novos aparelhos economizadores de água. O condomínio ou o prédio pagaria o mesmo valor atual para a companhia de saneamento, que repassaria a diferença mensal da economia para a empresa.

Entre as causas que influenciaram a diferença entre os resultados encontrados neste trabalho e os da literatura, podem ser citados os aspectos socioeconômicos, culturais e relacionados ao clima no consumo residencial, evidenciando que se deve ter bastante cuidado ao adotar os dados de uma região para outra.

Pela figura 5-1 (A) é possível observar que a demanda do vaso sanitário ficou em pelo menos 50% do consumo total, mostrando que água de reuso pode atender à demanda requerida do aparelho. Se o vaso sanitário possui descarga de 3 litros para a urina, a demanda é reduzida, representando um consumo total de 42% do consumo total, o que proporciona uma maior segurança para o sistema de reuso (Figura 5-1, B)

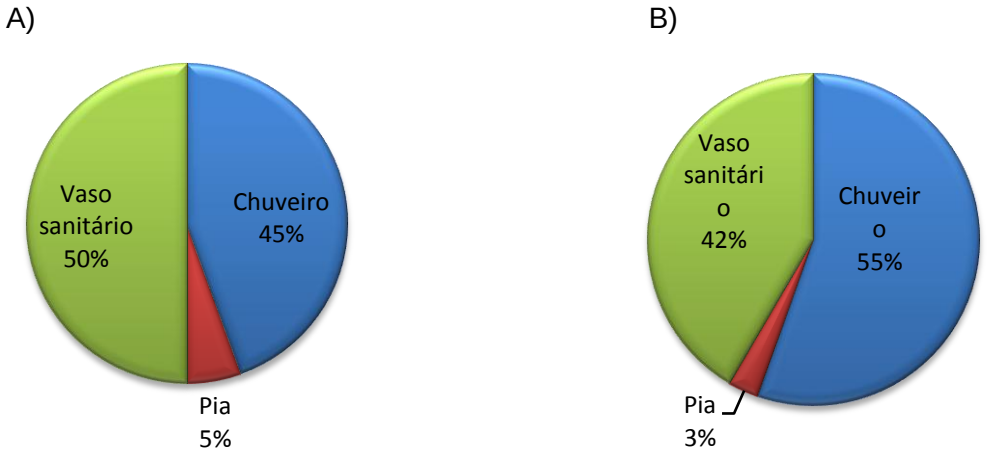


Figura 5-1: Distribuição do consumo de água por tipo de aparelho sanitário. A) Chuveiro, pia e vaso sanitário com descarga de 7L para fezes e urina. B) Chuveiro, pia e vaso sanitário com descargas de duplo acionamento: 3L para urina e 7L para fezes.

Para não haver falta de água no vaso sanitário, optou-se usar um reservatório para armazenar a água de reúso com volume de 70 litros. Este volume representou a maior demanda registrada durante o mês da pesquisa para abastecer o vaso sanitário.

5.3. Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza produzida.

Os resultados referentes às características físico-químicos e microbiológicos da água cinza produzida no banheiro encontram-se na Tabela 5-3. De maneira geral, água cinza apresenta uma quantidade de sólidos em suspensão bastante elevada, evidenciada tanto pelos resultados de turbidez e concentração de sólidos totais (269,0 UT e 469,0mg/L, respectivamente). Estes valores foram similares ao encontrado por Christova-Boal et al. (1996) e Li et al. (2009) (Tabela 5-4). Cabelos, terra e células mortas da pele são alguns exemplos de material sólido na água cinza do banheiro (chuveiro e lavatório misturados). Esses materiais em suspensão conferem um aspecto desagradável ao efluente, além de servirem de abrigo para microrganismos, podendo ocasionar rejeição por parte dos usuários no caso de um reúso sem tratamento.

Quando comparada com o esgoto doméstico, a água cinza do banheiro possui uma concentração de sólidos totais (469mg/L) entre um esgoto médio e fraco (730 e 370mg/L, respectivamente) (Jordão & Pessoa , 2005).

O pH da água cinza depende basicamente do pH da água de abastecimento. Entretanto, alguns produtos químicos utilizados podem contribuir para o seu aumento. O pH alcalino encontrado (Tabela 5-3) pode ser atribuído ao uso de sabonete e xampu (ERIKSSON *et al*., 2002). Christova-Boal et al. (1996) e Li et al. (2009) observaram valores de pH variando de ácidos a alcalinos para amostras de água cinza proveniente do banheiro, já Borges (2003) encontrou um pH neutro (Tabela 5-4).

A concentração de nitrogênio amoniacal obtida na pesquisa foi de 2,7mg/L, representando o dobro do que observado por Almeida et. al. (1999) na água cinza do chuveiro (1,2mg/L). No entanto, a concentração encontrada neste estudo está dentro do intervalo observado por Christova-Boal et. al. (1996) (Tabela 5-4). A fonte de nitrogênio amoniacal da água cinza do banheiro vem do hábito de se urinar enquanto se toma banho, podendo variar bastante entre os pontos amostrados, o que justifica o grande intervalo observado por Christova-Boal et. al. (1996). A concentração de nitrato encontrado na pesquisa (6,5mg/L) foi bastante similar ao encontrado por Almeida et. al. (1999) no chuveiro e na pia do banheiro (6,3 e 6mg/L, respectivamente) (Tabela 5-4).

A principal fonte de fósforo na água cinza são os detergentes e os sabões contendo fosfatos. Por isso que normalmente os valores encontrados nas amostras de tanque, máquina de lavar e cozinha são maiores do que nas amostras de pia e chuveiro (Bazzarella, 2005). Almeida et. al. (1999) encontrou uma concentração de P-total de 19,2mg/L para amostras de chuveiro e 13,3mg/L para amostras de pia de banheiro. Esses valores foram bem superiores aos encontrados nesta pesquisa, que obteve, para amostra de chuveiro e pia misturados, concentrações máximas de 1,1mg/L (Tabela 5-3), mas similar ao observado por Christova-Boal et al. (1996) (Tabela 5-4).

RESULTADOS FISICO-QUÍMICOS	
PARÂMETRO	ÁGUA CINZA MISTURADA (CHUVEIRO E PIA DO BANHEIRO)
Sólidos Totais (mg/L)	469,0
Turbidez (UT)	269,0
pH	8,25
Nitrato (mg/L)	6,5
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	2,7
Fósforo Total (mg/L)	1,1
RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS	
Coliformes Fecais (*Escherichia coli*) (NMP/10ml)	>2419,2

Tabela 5-3: Resultados da analise da água cinza produzida no banheiro.

REFERÊNCIA	FONTE DE ÁGUA CINZA	PARÂMETROS								
		Sólidos Totais (mg/L)	Turbidez (mg/L)	PH	Nitrato (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	DQO (mgO_2/L)	Coliformes Totais (NMP/100ml)	Coliform Fecai (NMP/10
Christova-Boal et al. (1996) Austrália	Banheiro (misturado)	250	60-240	6,4-8,1	-	<0,1-15	0,11-1,8	-	500 – 2,4 x 10^7	170 – 3,3
Almeida et. al. (1999). Inglaterra	Chuveiro	-	-	-	6,3	1,2	19.2	501	-	-
	Pia do banheiro	-	-	-	6	0,3	13,3	298	-	-
Borges (2003). Curitiba	Banheiro (misturado)	-	189,0	7,2	-	-	2,1	-	$5x10^6$	2200
Li et. al. (2009). Revisão bibliografica	Banheiro (misturado)	7-505	44-375	6,4 – 8,1	-	-	0,11->48,8	50 -300	10 – 2,4 x 10^7	0-3,4 x

Tabela 5-4: Resultado das análises da água cinza produzida no banheiro obtidos em outras pesquisas.

Mesmo não possuindo contribuições dos vasos sanitários, o conteúdo de matéria orgânica e inorgânica presente na água cinza é bastante significativo. A maior parte dela é oriunda de resíduos corporais, cabelo, sabonete, creme dental etc.

Os dados referentes à demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), à demanda química de oxigênio (DQO) e à coliformes totais foram desconsiderados, pois o técnico do laboratório, onde as análises foram feitas, detectou erros na metodologia adotada.

O valor de DQO encontrado (19,7mgO_2) foi muito inferior ao esperado e ao encontrado por Almeida et. al. (1999) e LI et. al. (2009), 501 e 50-300mgO_2/L, respectivamente. Essa enorme diferença sugere que também há erros no método de análise da DQO e, por isso, este dado não será discutido.

No que diz respeito à característica microbiológica, embora a água cinza não possua contribuição do vaso sanitário, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, a amostra de água cinza apresentou resultado positivo de *E. coli*. A limpeza das mãos após o uso do toalete e o próprio banho são as causas de contaminação.

"[...] *se a água cinza do chuveiro não apresentar coliformes fecais, é porque você*

não tomou um bom banho'[...] Hespanhol (2009).

A concentração de coliformes fecais foi superior a 2419,2NMP (Tabela 5-3). Outros autores também identificaram a presença de contaminação fecal, através de resultados positivos de coliformes fecais. Li et. al. (2009), por exemplo, encontrou concentrações de até cinco unidades logarítmicas para amostras de banheiro (Tabela 5-4). O valor observado neste trabalho foi próximo ao encontrado por Borges (2003) e inferior ao observado por Christova-Boal et al. (1996) (Tabela 5-4).

Apesar das densidades dos indicadores de contaminação fecal na água cinza ser menores do que as encontradas no esgoto, elas não são desprezíveis e evidenciam a necessidade de uma desinfecção prévia no caso de reúsos mais restritivos (Tabela 5-5).

Parâmetro (NMP/100ml)	Concentração
Coliformes totais	10^6- 10^9
Coliformes fecais	10^5- 10^8

Tabela 5-5: Características microbiológicas típicas no esgoto bruto.

Fonte: Von Sperling 2005.

5.4. Levantamento orçamentário do sistema, construção e cálculo do período de retorno do investimento (*payback*).

A descrição dos materiais e seus respectivos custos se encontram na tabela 5-6. Para a construção do reservatório não foram incluídos o valor da mão de obra dos nem o preço da consultoria do engenheiro para executar o projeto. A proposta deste trabalho é incentivar a construção do sistema pelos próprios moradores da residência.

Para se construir o sistema de tratamento e reuso para um usuário, foram gastos 354,5 reais. Os materiais que mais contribuíram para esse valor foram a bomba d'água, os reservatórios do tipo bombona e o tecido sintético bidim. O valor total de construção do sistema poderia ser reduzido caso fosse utilizado outros tipos de reservatórios e se o tecido bidim fosse substituído por tecido de algodão ou sacos de batatas.

MATERIAIS	QUANTIDADE	PREÇO
Tonel de plástico 175L (bombona)	**1**	**R$ 65,0**
Tonel de plástico 45L (bombona)	**1**	**R$ 30,0**

Caixa d'água 70L	**1**	**R$ 50,0**
Cano de 100mm	**1m**	**R$ 8,0**
Joelho 100mm	**1**	**R$ 4,5**
Luva simples esgoto 100mm	**1**	**R$ 3,0**
Cano de 50mm	**0,5m**	**R$ 3,2**
Joelho 50mm	**1**	**R$ 1,3**
Curva 45° de 50mm	**1**	**R$ 2,5**
Redução 100mm – 50mm	**1**	**R$ 3,3**
União soldável com rosca 20mm (flange)	**2**	**R$ 9,0**
Mangueira para jardim (25mm)	**5m**	**R$ 4,0**
Adesivo plástico para PVC	**1 frasco 250ml**	**R$ 7,5**
Tela mosquiteira	**4m**	**R$ 15,0**
Tecido sintético bidim	**4m**	**R$ 24,0**
Papiro	**1**	**R$ 15,0**
Cimento	**10kg**	**R$ 3,2**
Areia lavada para massa	**40kg**	**R$ 7,0**
Areia lavada para filtro	**40kg**	**R$ 7,0**
Tijolo maciço	**30 unidades**	**R$ 7,0**
Bomba hidráulica 40W	**1**	**R$ 100,0**
Fio elétrico	**5m**	**R$ 12,0**
TOTAL		**R$ 374,5**

Tabela 5-6: Descrição dos materiais e seus respectivos custos.

O filtro foi feito em um "tonel" de plástico (bombona) com volume de aproximadamente 175L, com 40cm de largura e 70cm de altura. A base do tonel foi furado com um serra-copos de 100mm, onde foi fixado uma luva simples de esgoto (100mm) com adesivo plástico para PVCm (Figura 5-2 A). A cola foi misturada com o pó de plástico liberado pelo furo no tonel, para fazer uma massa plástica (Figura 5-2 B).

Figura 5-2: A) luva simples de esgoto (100mm) colado no fundo do tonel. B) Adesivo plástico para PVC que foi misturado com o pó de plástico liberado pelo furo no tonel.

Depois da secagem da massa plástica, foi conectado à luva um cano de 30cm de comprimento e 100mm de diâmetro (Figura 5-3, A) com furos de 8mm ao longo do cano para coletar a água tratada (Figura 5-3, B). O tubo de coleta está envolvido por uma tela de mosquiteiro de *nylon* (Figura 5-3, C) e uma manta sintética chamada *bidim*, que permite apenas a entrada de água (Figura 5-3, D).

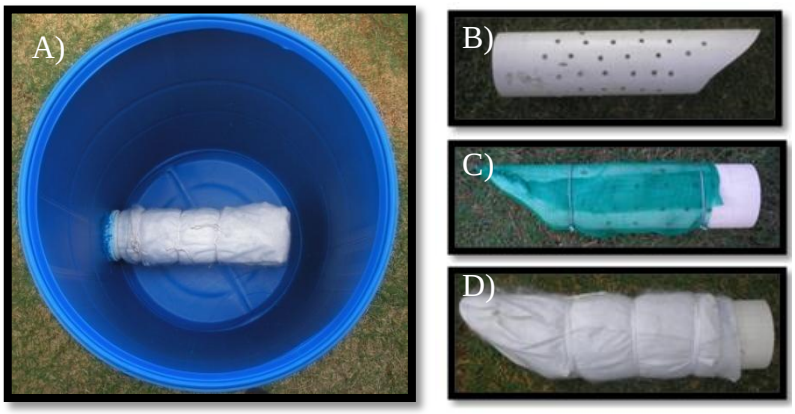


Figura 5-3: Fotos do tonel com o cano que recolhe a água tratada. A) Cano que recolhe a água tratada instalado no fundo do tonel. B) O cano que recolhe a água tratada recebeu vários furos de 8mm. C) Cano revestido com tela de *nylon.* D) Cano revestido com a manta bidim. Este sistema impedirá que a terra e a areia do filtro entupa o tubo.

A base do tonel foi preenchido com brita 1 (camada de 20cm) até cobrir o tubo que coleta a água tratada (Figura 5-4, A). Por cima da brita foi colocado a tela mosquiteira de *nylon* e o bidim, de modo que cubram as paredes do tonel (Figura 5-4, B e C). Isso evitará possíveis entupimentos no tubo que coleta a água tratada e auxiliará na manutenção do sistema. A tela mosquiteira e o bidim foram costurados com fio de *nylon* em um “aro” de ferro que fica na borda de cima do tonel, para que possa retirar a areia e

a terra para manutenção. Acima, veio uma camada de 20cm de terra vermelha, uma camada de 25cm areia média lavada (Figura 5-4, D) onde foi plantado papiro gigante (*Cyperus giganteus*). Na base do papiro foi colocado uma camada de brita 1 com 5cm de espessura .

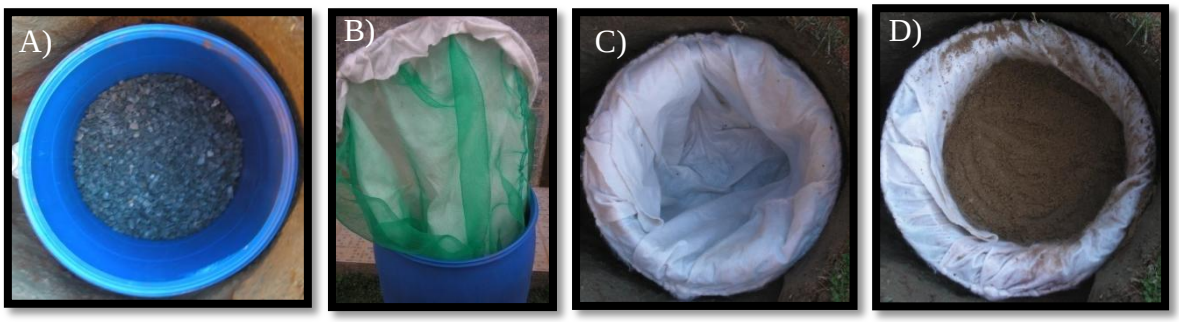


Figura 5-4: Preenchimento do tonel com materiais filtrantes. A) Brita 1 preenchendo a base do tonel até cobrir o cano de recolhimento da água tratada. Esta camada funciona como um dreno para a água tratada. B e C) Tela mosquiteira de *nylon* e a manta bidim cobrindo a camada de brita e as laterais do tonel. D) Camada de areia média lavada.

O tubo que recolhe a água tratada está conectado a um joelho de 100mm fora do tonel, voltado para cima, que está conectado a uma redução de 50mm (Figura 5-5). Na redução foi fixado um cano vertical de 50mm (mantém o nível da água dentro do reservatório) para conduzir a água tratada ao reservatório de 40L (Figura 5-5). Este reservatório abastece outro reservatório fora do banheiro (caixa d'água de 70L), que manda a a água tratada para a caixa acoplada do vaso sanitário. O nível da água sempre fica na altura da camada de terra para que seja depurada por bactérias que habitam a zona de raízes do papiro. O papiro, como outras macrófitas, fornecem oxigênio para as raízes dando suporte aos microorganismos aeróbios (SEZERINO *et al*., 2005).

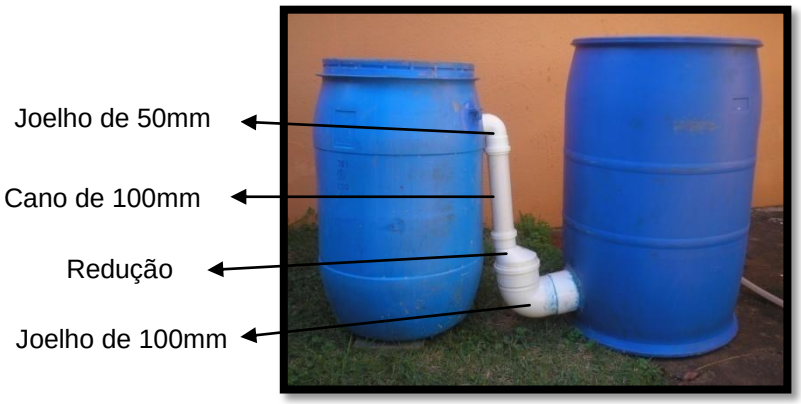


Figura 5-5: Foto do filtro à direita e do 1°reservatório da água tratada. Destaque para o joelho de 100mm, redução (100mm – 50mm), cano de 50mm e joelho de 50mm.

O filtro foi instalado abaixo do solo para a água cinza chegue por gravidade. A água cinza do banheiro foi desviada da caixa de inspeção (onde era misturada com a água negra) com uma curva de 45° com 50mm de diâmetro (Figura 5-6) e direcionada ao filtro com uma tubulação de 50mm com 1,70cm de comprimento (Figura 5-6).

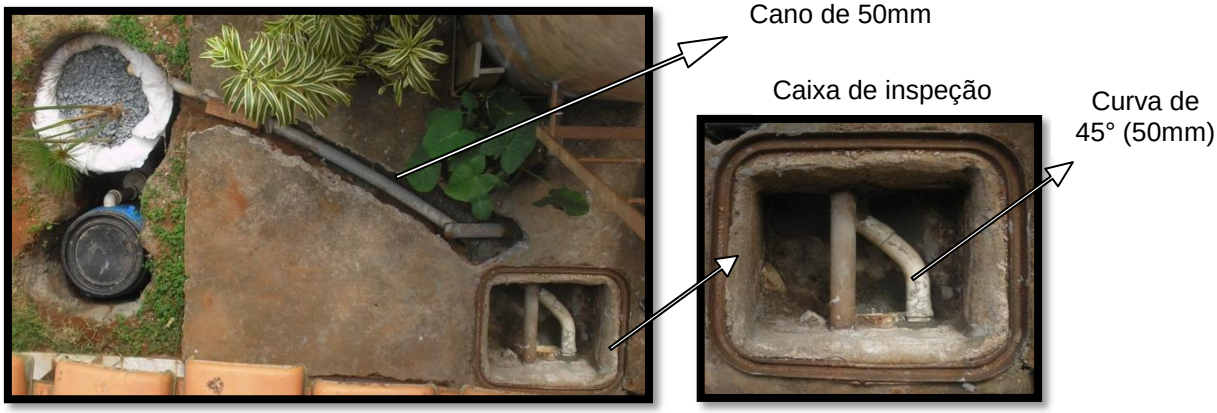


Figura 5-6: Foto da tubulação que conduz a água cinza para o filtro. A) Destaque para o cano de 50mm que conduz a água cinza da caixa de inspeção para o filtro. B) Caixa de inspeção. Destaque para a curva de 45° que desvia a água cinza para o filtro.

A água cinza chega até a parte superior do filtro e atravessa as camadas filtrantes por fluxo descendente: brita 1, areia lavada média e terra; até chegar ao dreno de brita 1, de onde é levada para o primeiro reservatório de 35L. A água tratada é bombeada do primeiro reservatório para o segundo de 70L (Figura 5-7). A bomba utilizada é o modelo SB 2000 da marca Sarlobetter com potência de 40 W e fica submersa no primeiro reservatório (Figura 5-8). A água do segundo reservatório é levada por gravidade para a caixa acoplada do vaso sanitário através de uma mangueira de irrigar jardim de 20mm, quando a bóia da caixa acoplada aciona a entrada de água após a descarga.

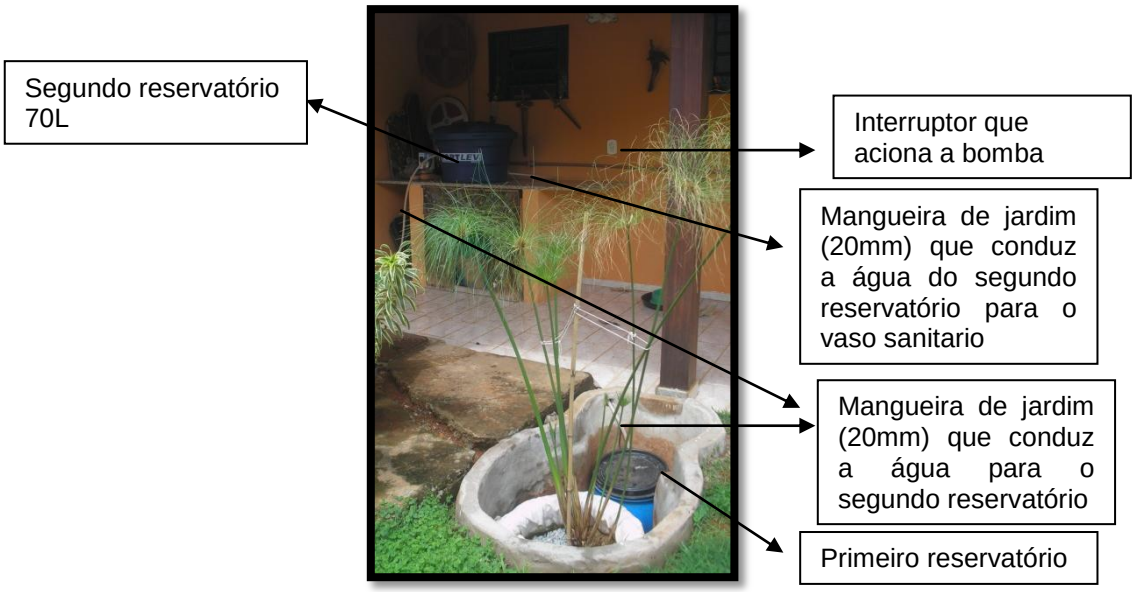


Figura 5-7: Sistema de tratamento e reuso em funcionamento. A água tratada é bombeada do primeiro para o segundo reservatório através de uma mangueira de jardim. A mangueira é conectada no segundo reservatório por uma união soldável com rosca de 20mm (flange). A água é levada por gravidade para a caixa acoplada do vaso sanitário por uma mangueira de 20mm que esta conectada por outro flange de 20mm, fixado na base do reservatório.

Figura 5-8: Bomba de água modelo SB 2000 da marca Sarlobetter com potência de 40 W (foto superior). A bomba fica submersa no primeiro reservatório (foto inferior).

A borda da escavação, onde o filtro foi instalado, recebeu uma fiada de tijolos maciços deitados que serviu de base para outra fiada do mesmo tijolo que foi cimentado (4 porções de areia media lavada e 1 porção de cimento). Os tijolos receberam reboco com a mesma massa para acabamento (Figura 5-9)

Figura 5-9: Acabamento do espaço onde o filtro e o primeiro reservatório foram inseridos. Feito com tijolos maciços e reboco de cimento.

Segundo a política tarifária praticada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, para um consumo entre 15 a 25 metros cúbicos (m^3) de água fornecida, o preço pago pelo metro cúbico (m^3) é de R$ 3,60 (três reais e sessenta centavos) para área residencial normal (CAESB, 2009).

Tendo como base o exemplo da residência (habitada por uma pessoa) onde o estudo foi realizado, o sistema de reuso disponibilizou 14965 litros por ano, aproximadamente $15m^3$. Ao multiplicarmos esse volume total pelo preço pago a CAESB obtemos a economia anual de aproximadamente R$ 54,00 (cinqüenta e quatro reais). Para se ter uma noção do período de retorno do investimento, dividimos o valor final da construção e instalação do sistema de tratamento e reuso de água cinza (R$374,50) pelo valor economizado por ano. O método utilizado para o cálculo do tempo de retorno do investimento é conhecido por *Pay Back*, que é definido como o tempo entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento.

O período de retorno do investimento de um sistema de captação e armazenamento de água de chuva é de aproximadamente 7 anos. Esse período não é exato, pois existem variáveis que interagem com esse processo, como os gastos decorrentes da manutenção e monitoramento do sistema, aumentos nas tarifas de água, entre outros. Para esse cálculo não foi considerado o valor da energia gasto pela bomba.

5.5. Caracterização físico-química e microbiológica da água cinza tratada pelo filtro.

A tabela 5-7 apresenta o desempenho do filtro plantado com papiro (*Cyperus* giganteus), comparando os resultados da análise dos parâmetros físico-químico e microbiológicas da água cinza bruta e da água cinza tratada. As características da água

cinza bruta apresentadas durante a pesquisa foram: 469,0 mg/L (sólidos totais); 269,0 UT (turbidez); 6,5mg/L (nitrato); 2,7mg/L (Nitrogênio Amoniacal); 1,1mg/L (fósforo total) e 2419,2 NMP/10ml (coliforme fecal). Os resultados da eficiência do filtro plantado com papiro gigante estão apresentados na tabela 5-7. A remoção dos sólidos totais foi baixa (34%), quando comparado ao filtro de areia plantado uma espécie de junco (60,5%) nativo das regiões do sul do Brasil (SEZERINO, 1998) (Tabela 5-8). A terra vermelha utilizada como um dos materiais filtrantes pode ter atravessando a manta bidim que apóia a terra e que envolve o cano de recolhimento da água tratada e ter interferido no resultado dos sólidos totais. A remoção da turbidez (88%) foi maior que o filtro lento de areia observada por Londe (2002) (Tabela 5-8). O filtro de areia plantado com papiro também teve uma boa eficiência na remoção de coliformes fecais (*E. coli*), removendo 91% desses patógenos. Este resultado foi muito próximo ao observado por Londe (2002) e por Ayáz (2007) 92,6 e 96% respectivamente (Tabela 5-8). Ayáz (2007) utilizou filtros plantados apenas com brita e outra espécie de papiro (*Cyperus* sp.) para o tratamento terciário de efluentes humanos. O filtro avaliado removeu 97% do nitrato e acrescentou 84% de nitrogênio amoniacal (Tabela 5-7). O grande acréscimo de nitrogênio à água tratada não era esperado, devido à utilização desse nutriente para o desenvolvimento do papiro. Como a terra utilizada no filtro foi retirada do solo sem nenhum tratamento prévio, ela pode ter trazido uma grande quantidade de nitrogênio amoniacal de seu local de origem. Outra possível justificativa para esse resultado é a presença de matéria orgânica e de microorganismos saprófitas presentes na terra utilizada como material filtrante. Esses microorganismos degredam a matéria orgânica incorporando o nitrogênio em aminoácidos e proteínas e liberando o excesso sob forma de íons amônio (NH_4^+) por meio do processo de amonificação (Raven, 2006). O aumento da concentração de fósforo total após o tratamento, também foi verificado por Londe (2002), porém bem menores que o observado na pesquisa (Tabela 5-8).

RESULTADOS FISICO-QUÍMICOS		
PARÂMETRO	ÁGUA CINZA BRUTA (CHUVEIRO E PIA DO BANHEIRO)	ÁGUA CINZA TRATADA
Sólidos Totais (mg/L)	469,0	307,0
Turbidez (UT)	269,0	33,0
pH	8,25	8,0
Nitrato (mg/L)	6,5	0,2
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	2,7	16,7

Fósforo Total (mg/L)	1,1	2,3
RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS		
Coliformes Fecais (*Escherichia coli*) (NMP/10ml)	>2419,2	224,7

Tabela 5-7: resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico da água tratada pelo filtro plantado com papiro (*Cyperus giganteus*).

PARÂMETRO	LONDE (2002) Filtro de areia Infiltração de $3m^3/m^3$.dia	AYÁZ (2007) Filtro plantado com brita e *Cyperus* sp.	SEZERINO (1998) Filtro plantado com areia e *Zizanopsis bonariensis*
	REMOÇÃO DOS POLUENTES (%)		
Turbidez (mg/L)	64	-	
Sólidos Totais (mg/L)	-	-	60,5
Nitrato (mg/L)	-	-	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	3,7*	-	25
Fósforo Total (mg v/L)	7,5**	-	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	92,6	93	-

*Aumento de 3,7% de Nitrogênio Amoniacal

**Aumento de 7,5% de Fósforo Total

Tabela 5-8: resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológico da água tratada obtidos em outras pesquisas.

Para avaliação dos resultados foram realizadas também comparações com padrões de referência estabelecidos em normas e manuais, dentre eles, EPA (2004) que estabelece padrões para algumas regiões dos Estados Unidos, o manual NSW HEALTH (2000) da Austrália, padrões do Japão citados em LAZAROVA (2003), padrões alemães citados em JEFFERSON (1999), e os padrões nacionais recomendados pelo manual da ANA, FIESP & SINDUSCON (2005), e a norma técnica da ABNT-NBR 13969/97. A tabela 5-9 apresenta os resultados médios obtidos para os principais parâmetros no sistema de tratamento de águas cinzas estudado, e os padrões de referência citados anteriormente.

PARÂMETRO	JEFFERSON (1999) Alemanha	ASANO (1998) EUA	LAZAROVA - Japão (2003)	NSW health (2005) Austrália	FIESP (2005) SP/ Brasil[1]	ABNT-NBR 13969/97 (1997) Brasil[2]	Resultados obtidos no trabalho

pH	6,0 – 9,0	6-9	6,0 - 9,0	-	6,0 – 9,0	-	8,0
Nitrato	-	-	-	-	≤ 10	-	0,2
Nitrogênio Amoniacal	-	-	-	-	≤ 20,0	-	16,7
Fósforo Total	-	-		-	≤ 0,1	-	2,3
Sólidos Totais	-	-		-	-	-	307,0
Turbidez	1,0 - 2,0	< 2	5,0	-	≤ 2,0	< 10,0	33,0
Coliformes Fecais	100	ND/100ml	10	< 10 - 30	ND (NMP/100mL)	< 500 (NMP/100mL)	224,7

Tabela 5-9: Padrões de referência para águas de reúso e resultados médios obtidos no trabalho.

1 – Padrões para águas de reúso classe 2 do manual (descarga de vaso sanitário, lavação de roupas, rega de jardim).

2 – Padrões para águas de reúso classe 3 da norma (descarga de vaso sanitário).

Observa-se pela tabela 5-9 que os resultados obtidos podem ser considerados razoáveis, levando-se em conta a diversidade de padrões. Os parâmetros mais distantes de todas as referências são os indicadores de turbidez, indicando que, para o atendimento à estes padrões seria necessária a troca da terra, como material filtrante, por outro material mais inerte com maior granulometria , como areia lavada fina. Também foi observado odores nos reservatórios e no vaso sanitário, indicando que a água tratada está liberando gás sulfídrico de corrente da decomposição anaeróbia. Para eliminar o odor é necessário um tratamento aeróbio, que pode ser feito com pequenos compressores de aquário no primeiro reservatório, seguido de uma decantação para retirar os resíduos sólidos, resultado da decomposição aeróbia. Outras análises da água cinza e da água tratada são necessárias para validar os resultados, pois além de haver problemas na metodologia para determinar a DBO, a DQO e os coliformes totais, uma análise apenas, é pouco representativo.

Um questionamento então pode ou deve ser feito: Os padrões para reuso em descarga de vasos sanitários precisam limitar a densidade de coliformes a níveis tão baixos? Quanto a água cinza precisa realmente ser tratada para ser reutilizada? Será que os aspectos estéticos da água tratada limita o reúso?

5.6. Cálculo da economia de água do condomínio onde o estudo foi feito, caso todas as residências tivessem um sistema de reuso similar ao proposto.

A região do Setor Habitacional Jardim Botânico - SHJB é praticamente toda abastecida por poços artesianos (Figura 4-1). Segundo dados da administração do Condomínio Estância Jardim Botânico (CEJB), onde a residência estudada está inserida,

possui cerca de 2350 moradores distribuídos em 676 residências. O condomínio consome, em média, 16525,9 m^3 de água todos os meses, contabilizando o consumo anual de 198311 m^3 (Administração CEJB, 2007). Este valor nos dá uma idéia dos impactos aos recursos hídricos da região que a prática exploratória de poços artesianos causa. Se extrapolássemos a economia de água gerada pelo sistema de reuso (41L por pessoa) para todo o condomínio, os 2350 moradores estariam economizando 2987 m^3 de água todos os meses, por ano, seriam economizados 29868 m^3. Isto representa 15% de todo o consumo do condomínio. Se a administração do condomínio estimulasse o reuso de água cinza para descarga do vaso sanitário, estariam sendo mantidos 29868m^3 de água no subsolo da região. Esta é a economia apenas do CEJB, ainda existem na região outros 24 condomínios com aproximadamente 10000 moradores. É possível imaginar o volume de água que é retirado todos os dias do sub-solo.

VI. CONCLUSÃO

O consumo de água no banheiro foi similar a maioria dos estudos relacionados e maior do que as pesquisas em casas populares brasileiras. O custo de construção foi relativamente oneroso se relacionarmos com o tempo de retorno do investimento, previsto para 7 anos, baseado no valor cobrado pela CAESB. No entanto, nesse cálculo não está incluso o valor relacionado com a conservação dos recursos hídricos que o sistema de reúso proporciona. Pois cada vez é maior os investimentos para melhorar a gestão hídrica mundial.

O filtro apresentou boa eficiência na remoção dos coliformes fecais (91%), enquadrando-se na norma ABNT-NBR 13969/97 para reuso na descarga do vaso sanitário; a remoção da turbidez também foi boa (88%), porém não se enquadrou nas normas para o reuso proposto. O filtro aumentou a quantidade de nitrogênio amoniacal e de fósforo, indicando que a terra utilizada como material filtrante trouxe esses nutrientes do local de onde foi retirada. Foi observado um forte odor na água tratada pela grande produção de H_2S, ocasionada pela biodegrabilidade anaeróbia da matéria orgânica. A terra será trocada por areia fina e um estágio aeróbio, feito com oxigenador de aquário, será instalado para melhorar o cheiro e a turbidez. Os novos resultados serão apresentados na defesa da monografia. Novas análises serão feitas para monitorar a eficiência do filtro para validar os resultados, pois uma amostra apenas é pouco significativo estatisticamente.

A produção de água cinza atendeu à demanda requerida pelo vaso sanitário nos quinze dias monitorados e mesmo diante da baixa eficiência do filtro para certos

parâmetros, o sistema de tratamento e reuso está em funcionamento. Pesquisas de sistemas de reuso de água são de extrema importância para a gestão hídrica mundial e para determinação de normas brasileiras que as viabilizem.

VII. Bibliografia

ALESSANDRETTI, T.; RABELO, A. P. B.; SOLER, J. G. M. Comparação do potencial de remoção de metais pesados por meio de adsorção usando algas e aguapés. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CINETIFICA, 6., 2005, Campinas, São Paulo. **Anais...** São Paulo: COBEC IC, UNICAMP, 2005

ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. At-source domenstic wastewater quality. **Urban Water**. v. 1, n.1, p. 49-55, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969:** Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos poluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ARBUÉS F.; GARCÍA-VALIÑAS, M. Á.; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. **Jornal of Socio-Economics.** v. 32, n. 1, p. 81-102, 2003.

ASANO, T. Wastewater reclamation and reuse. **Technomic Publishing Company** Pennsylvania, USA, 1998.

AYAZ, S.Ç. Post-treatment and reuse of tertiary treated wastewater by constructed wetlands. **Desalination.** n. 226, p. 249-255.

DOUGLAS, B. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, 2008

BAZARELLA, B. B. **Caracterização e Aproveitamento de Água Cinza para uso não-potável em edificações.** 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BISHOP, P. L. & EIGHMY, T. T. Aquatic wastewater treatment usin *Elodea nuttallii*. **Water Pollution**. v. 8, n. 12, p. 61-641. 1989.

BRASIL. **Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, **Lex:** Coletânea de Legislação e Jurisprudência, São Paulo, v. 60, p. 80, jan. 1997.

BRIX, H. Tretment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants – the root zone method, **Water science Technology**. v. 19, n. 107, 1987.

BRIX, H; SCHIERUP, H. H. Soil oxygenation in constructed reed beds: the role of macrophyte and soil-almosphere interface oxygen transport. In: Cooper, P. F., Findlater, B. C. **Constructed Wetlands in Waterpollution control. Advances in water pollution control.** Oxford, Pergamon Press, 1990. n. 53.

BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands systems design, removal process and treatment performance. In: Moshiri. G, A. **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**. Florida: Lewis Publishers, 1993, 632 p.

CHENG, S. GROSSE W., KARRENBROCK F., THOENNESSEN M**.** Efficient of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals **Ecological Engineering**. Koeln, Germany. n. 18, p. 317-325. 2002.

CHRISTOVAL-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination.** v. 106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n. 357**. Brasília, 2005.

COOPER, P. F., JOB, G. D., GREEN, M. B., SHUTES, R. B. E. Reed Beds and constructed wetlands for wastewater treatment. **Water Research.** Swindom, UK, p. 184, 1996.

COOPER, P. The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significante of oxygen transfer and hydraulic loading rates. **Water, Science. Technologies***,* v. 51, n. 9, p.81-90, 2005.

COHIM, E., GARCIA, A., KIPERSTOK, A., DIAS, M., C. Consumo de água em residências de baixa renda – Estudo de caso. In: CONFRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 25, 2009, Recife, Pernambuco. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental. 2009.

COSGROVE, W. J.; RIJSBERMAN, F. R. World water vision: making water everybody's business. **Earthscan**, London, 2000.

DECA. Uso racional de água. Disponível em:<http://www.deca.com.br/>. Acesso em: 20 abr. 2009.

DENNY, P. Implementation of constructed wetland in developing countries. **Water Science and Technology**, v. 35, n.4, p.27-34, 1997.

EPA (US) – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Manual: **Guidelines for water reuse.** EPA 625-R-92-004. Office of Water, Washington, DC, 1992.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water.** v. 4, n. 1, p. 58-104, 2002.

ESREY, S.; GOUGH, J., RAPAPORT, D. **Ecological Sanitation**. Sida, Stockholm, 1998.
ESREY, S. Rethinking Sanitation: Panacea or Pandora's Box. In: **Water, Sanitation and Health, International Water Association.** London, 2000.

FANE, S.A.; ASHOBOLT, N.J.; WHITE, S.B. 'Decentralised urban water reuse: the implications of system scale for cost and pathogen risk' **Water Science and Technology**. IWA Publishing, vol. 46, no. 6-7, pp. 281-288, 2002.

FIESP. Conservação e reuso de agua em edificações. São Paulo, Prol editora e gráfica, 2005.

FINDLATER, B. C. Constructed Wetlands in Water Pollution Control**. Advances in Water Pollution Control.** Oxford: Pergamon Press, 1990, 53 p.

FINDLATER, B. C., HORSON, J. A., COOPER, P. F. Reed bed treatment systems: performmance evaluation. In: **Constructed Wetlands in Water Pollution control**,

Cooper, P. F., Findlater, B. C. Advances in water pollution control. Oxford: Pergamon Press, 1990. p. 193.

FOSTER, S. D. GALE, I. N., HESPANHOL, I**. Impacts of waste water use and disposal on grounwater technical**. British geological survey, Nottingham, 1994. Technical report WD/94/95.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ; J. E. MEDEIROS, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande, Paraíba. **Anais...** Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997.

GLASS, D. J. The United States Market for Phytoremediation. Needham, 1998, p.139.

GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M. T; COSTA, R.H. R.; AISSE, M. M.; ZAIAT, M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In: Chernicharo, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: 2001. cap. 4, p.171-278.

GONÇALVES, R. F. Plano de integração – Rede 4. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico,** Edital 4 (PROSABE 4), 2004. 12P.

GREGORY, J. D.; LUGG, R.; SANDERS, B. Revision of the national reclaimed water guidelines. **Desanalination.** V. 106, n. 1-6, p. 263-268, 1996.

GREINER, R. W. and JONG, J. de. The use of marsh plants for the treatment of wastewater in areas designated for recreation and tourism, RIJP Report no. 225, Lelystad. The Netherlands, 1984.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, industria, município e recarga de aqüíferos. IN: Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. **Reuso de água.** Barueri-SP: Manole, 2003, 579 p.

HILL, D. E.; SAWHNEY, D. D. JR. The uses of duckweed. ***Am Sci***. 66:442, 1978.

HINRICHESEN, D.; RONEY, B.; UPADHYAY, U. D. **Solution for a Water-Short World.** Population Reports, Series M, No. 14. Baltimore, Johns Hopkins School of Public Health, Population Information Program, 1997. Disponivel em: http://www.infoforhealth.org/pr/m14/m14chap2_2.shtml; Acessado em: 18 de março de 2009.

IWA – INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Constructed wetlands for Pllution Control: Process, Performance, Design and Operation**. Scientific and Technical Report. n. 8. London, England: IWA Publishing, 2000, 156 p.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water.** v,1, n. 4, p.285-292, 1999.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgoto Doméstico. 4 ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.

KOIDE, S. **Alto consumo e retirada irregular de água estão esgotando a capacidade de abastecimento no DF**. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=41566Fonte: Raphael Veleda / Correio Braziliense. Acesso em: 18 abril 2009.

LANGERGRABER, G.; MUELLEGGER, E. Ecological Sanitation a way to solve global sanitation problems? **Environment International**. V. 31, n. 3, p. 433-444, 2005.

LEVLIN, E.; LÖWEN, M.; STARK, K.; HULTMAN, B. Effects of phosphorus recovery requirements on Swedish sludge management. **Water Science & Technology** v. 46 n. 4-5, p. 435–440, 2002.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimeto do reuso planejado da água e algumas consideraçõe sobre suas possibilidades no Brasil.** Dissertação de mestrado – Escola polotecnica de são Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, **Science of The Total Environment.** v.407, n. 11, p. 3439-3449, 2009.

LONDE, L., R. **Eficiência da filtração lenta no tratamento de efluentes de leitos cultivados.** Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, São Paulo, 2002.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água.** Barueri-SP: Manole, 2003.

MANIOS T, STENTIFORD E.; MILLNER, P. Water Environment Research."The removal of chemical oxygen demand from primary-treated domestic wastewater in subsurface-flow reed beds using different substrates" **Water Environment Research**.vol. 75 number 4, pp 336-341, 2003.

MARSHALL, M. M; NAUMOVITZ, D.; ORTEGA, Y.; STERLING, C. H. Waterborne protozoan pathogens. **Clinical Microbiology Reviews** 10: 67-85, 1997.

METCALF, B.; EDDY, I. N. C. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. 3. ed. New York: **McGraw-Hill**, 1991.

MOREL, A.; DIENER, S. **Grey water Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods**. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland, 2006.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet fkushung in multi-sotrey buildings – over ten years experience in Berlin. **Urban Water.** v.1, n. 4, p. 275-284, 1999.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2002. Disponível em: http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf> Acesso em 20 abril, 2009.

NGO, V. Boosting pond performance with aquaculture. Operations **Forum**, 4:20, 1987.

OLDENBURG, M., HOLLENBERG N. J., BASTIAN, A., SCHIRMER, G**.** Nutrient utilization by urine separation - experiences from the Lambertsmühle**.** In: 2nd INTERNATIONAL SYMPOSIUM. 2003. Lubeck, Germany. **Ecosan - Closing the LooP.**

OLSON, E. et al. "Residential Wastewater". The Swedish Nation Institute for Building Research [1968]. Disponivel em: <http://www.greywater.com/pollution.htm#character>. Acesso em: 27 mar 2009.

OTTERPOHL, R.; GROTTKER, M.; LANGE, J. Sutainable water and waste management in urban areas. **Water Science Technologies.** V. 35, N. 9, p. 121-133, 1997.

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

OTTERPOHL, R; RRAUN, U; OLDENBURG, M.; Innovative technologies for decentralised water-, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas. **Water Science & Technology.** V. 48, N. 11, p. 23-32, 2003.

OTTOSSON, J.; STRENSTRÖM, T. A. Feacal contamination of greywater and microbial risk. **Water Research.** v. 37, n.3, p. 645-655, 2002.

PAMPLONA, Sérgio. **Tratamento de água cinza. Brejos construídos:** curso de biorremediação, 20 e 21 de set. de 2008. Material impresso.

RAVEN, P. H.; EVERT R. F.; EICHORN S. E. **Biologia Vegetal**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p. 830.

REBOUÇAS, A. C. Águas no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados.** Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 342-345, 2003.

REED, S. C.; MIDDLEBROOKS, E. J.;CRITIES, R. W. Natural Systems for waste Management and Treatment. **McGraw-Hill,** New York, 1998.

REDDY, K. R.,D'ANGELO, E. M. and DEBUSK, T. A. Oxygen transport through aquatic macrophytes: the role in wastewater treatment. **Jornal of Environment Quality.** 19:261, 1989.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água.** Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana, 38 p. (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Documento Técnico de Apoio; E1), 1998.

ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. Microbial and persistence of enteric pathogens in greywater from various household source. **Water Research.** v. 25, n. 1, p. 37-42,1991.

SALATI, E. Edaphic-phytodepuration: a new approach to wastewater treatment. In: Reddy, k. r., Smith. W. H. **Aquatic plants for water treatment and resource recovery**. Orlando, Flórida: 1987.

SALATI, E. FILHO; MANFRINATO, E. S.; SALATI, E. Seondary and Tertiary Treatment of Urban Sewage Utilizing the HDS System With Upflow Transport" In*:* INTERNATION

CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 1996. Vienna, Austria. **Proceeding**. v. I, p. VI/3-1-VI/3-6.

SEZERINO, P., HELENO, P., PHILIPPI, L., S. Tratamento de esgotos utilizando o potencial solo – planta. In: GESTÃO AMBIENTAL EN EL SIGLO, 21. 1998, Lima, Perú. **Anais... Asociación Peruana de IngenierÝa Sanitaria y Ambiental; AIDIS.**

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. 171 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SHENDE, G. B. "Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience and research and develoment needs". In: PESCOD, M. B.; ARAR, A. **Proceedings of the FAO Seminar on the treatment and use of Swage effluents for irrigation**. Nicosia, Cyprus: 2002.

SOUSA, J. T. de, van HAANDEL, A.C. GUIMARÃES, A.V.A . Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents**. Water Science and Technology,** v.48, n.6, p. 295-299, 2003.

TOMAZ, P. **Previsão de consumo de água**. São Paulo: Navergar, 2000.

TOMAZ, P. **Poluição difusa**. São Paulo, Navegar, p.21-9, 2006.

UNICA (Brasília, Distrito Federal). União Dos Condomínios Horizontais e Associação de Moradores No Distrito Federal. **Diagnóstico Preliminar dos Parcelamentos Urbanos Informais no Distrito Federal.** Disponível em: <http://www.unica-df.org.br/>. Acesso em: 8 out. 2008.

VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes**: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. **Pure Appl. Chem**., v. 73, n. 7, p. 1163–1172, 2001.

VON SPERLING, M. **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização.** V. 3. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 134 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. V. 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**. 13 p. 2005.

VYMAZAL, J. Algae and element cycling in wetlands. Boca Raton, Florida: CRC Press / Lewis Publisher. In: IWA. **Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation**. England: IWA Publishing, 1995. p. 156.

WESTERHOFF, G. P. Um update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SIMPOSIUM, 3, 1984. San Diego, California. **Proceedings**, p.1731-42.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (**WHO-EM/CEH/125/E, 2006**). Overview of greywater management. Health considerations. Amman, Jordan, 2006.

World Health Organization, Reuse of effluentes: methods of wastewater treatment and safeguards. Of a WHO meeting of experts. Technical report series n. 517. Genebra, 1973.

Guadarrama RO, 2000. Human urine used as a source of nitrogen in the production of organic crops, in Cuernavaca, Morelos, Mexico: a case study.

Jönsson, H. 1997. Assessment of sanitation systems and re-use of urine. In: Drangert J-O, Bew J, and Winblad W,Ecological Alternatives in Sanitation, Proceedings from SIDA Sanitation Workshop, Balingsholm, Sweden.