

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
EIXO DA TECNOLOGIA**

Rosivania Ferreira da Silva

Avaliação da viabilidade de reúso da água cinza tratada em filtro biológico

Delmiro Gouveia-AL

2017

ROSIVANIA FERREIRA DA SILVA

Avaliação da viabilidade de reúso da água cinza tratada em filtro biológico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Campus do Sertão da Universidade Federal de Alagoas como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

Delmiro Gouveia-AL

2017

S586a Silva, Rosivania Ferreira da
Avaliação da viabilidade de reúso da água cinza tratada em
filtro biológico / Rosivania Ferreira da Silva. - 2017.
67f .: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.

1. Avaliação. 2. Filtro Biológico. 3. Reuso de Água.

CDU 628

ROSIVANIA FERREIRA DA SILVA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação da viabilidade de reúso da água cinza tratada em filtro biológico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Campus do Sertão da Universidade Federal de Alagoas como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

Banca Examinadora

Antonio Netto

Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto (Orientador)

Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (CTEC/UFAL)

Israel Silva Lemos

Eng. Civil Israel Silva Lemos

Delmiro Gouveia-AL

2017

*Dedico este trabalho a Deus por
estar sempre me guardando e
proporcionando momentos de intensa
felicidade como a conclusão deste trabalho.
Aos meus familiares: meu pai
José Alfredo, minha mãe
Divanete Ferreira e aos meus irmãos, por todo
amor e carinho oferecidos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder forças e permitir viver para alcançar conquistas como esta. A minha família, pelo apoio incondicional a todo momento e me ensinarem o valor da educação.

Ao Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto, por me orientar com tanta paciência, competência e dedicação ao longo desse processo de aprendizagem.

Com muito amor, agradeço ao meu namorado Alex Oliveira por estar sempre presente durante essa trajetória, sendo minha fonte coragem e inspiração.

Agradeço de forma muito sincera aos meus colegas do projeto FOSSA VERDE, Luciana Melo, Mário Rodrigues e Jean Hilder por terem me acompanhado nessa jornada acadêmica dividindo as dificuldades, as alegrias e os aprendizados.

Agradeço também a lanchonete do Bigode pela disposição em abrir as portas para que as coletas de água cinza pudessem ser realizadas.

Aos meus colegas graduandos, pelas conversas, brincadeiras e troca de experiências que tornaram esta conquista ainda mais prazerosa.

Aos professores pelas aulas ministradas durante o curso de graduação, indispensáveis à minha formação como Bacharel em Engenharia Civil.

Ao Campus do Sertão da Universidade Federal de Alagoas, pela minha formação.

RESUMO

As práticas sustentáveis como a reutilização de águas servidas preservam os recursos hídricos. Assim, o uso de tecnologias apropriadas, seja advinda de sistemas centralizados ou descentralizados, para o tratamento de águas residuárias, se constitui hoje, uma estratégia básica para a solução dos problemas da falta universal de água. Dentro desta perspectiva, este trabalho visa confeccionar uma tecnologia, em escala laboratorial, para tratamento de águas residuárias, sendo esta, um filtro biológico de fluxo descendente contando com meio suporte em 4 camadas distintas, compreendendo, pó de serragem, areia, carvão ativado e pedra britada. O trabalho foi realizado no laboratório de saneamento da Universidade Federal de Alagoas, UFAL-Campus Sertão e a água cinza tratada foi proveniente do próprio campus, coletada a partir da pia de cozinha da cantina. O sistema foi monitorado por 45 dias, e após os primeiros 15 dias foi feita a inoculação. Adicionalmente, foi determinada a viabilidade da água cinza tratada para reúso não potável em algumas atividades, tendo em vista as recomendações normativas. As atividades em que o reúso de água se aplica foram divididas em classes e os parâmetros em análise foram DBO, DQO e E. coli. A água cinza bruta apresentou elevadas concentrações de matéria orgânica, chegando a 210 mg/L de DQO e 117 mg/L de DBO, já a presença do indicador fecal, E. coli, foi de 3357 NMP/100mL, evidenciando a necessidade de tratamento antes do reúso. Quanto a redução média dos parâmetros analisados, verificou-se um decréscimo na DQO de 126 mg/L \pm 56 para 55 mg/L \pm 24, DBO de 70 mg/L \pm 31 para 30 mg/L \pm 13 e E. coli de 936 NMP/100mL para 45 NMP/100mL no efluente final, perfazendo uma eficiência média de remoção de 56%, 56%, 95,0%, respectivamente. Nestes termos, constatou-se que essa água cinza pode ser usada, em termos de DQO para a classe 4 e quanto ao parâmetro de DBO, para classe 2. O parâmetro E. coli atende as várias atividades destinadas ao reúso de água que estão nas normas em análise, exceto para a classe 1 do manual da FIESP, pois o mesmo exige a não detecção de E. coli.

Palavras-chave: Água Residuária, Água Cinza, Filtração Biológica, Reúso de Água.

ABSTRACT

Sustainable practices such as water reuse preserve water resources. Thus, the use of appropriate technologies, derived from centralized or decentralized systems for the treatment of wastewater, is a basic strategy for solving the problems of universal water shortage. In this perspective, this work aims to make a technology, in laboratory scale, for wastewater treatment, being a downflow biological filter having medium in four different layers, comprising sawdust, sand, activated carbon and crushed stone. The work was carried out in the Sanitation Laboratory of the Federal University of Alagoas, UFAL-Campus Sertão and treated gray water came from the campus itself, collected from the kitchen sink of the canteen. The system was monitored for 45 days, and after the first 15 days the inoculation was done. In addition, the viability of treated gray water for non-potable reuse was determined in some activities, in view of normative recommendations. The activities in which water reuse was applied were divided into classes and the parameters under analysis were BOD, COD and E. coli. The raw gray water presented high concentrations of organic matter, reaching 210 mg/L of COD and 117 mg/L of BOD, and the presence of fecal indicator, E. coli, was 3357 NMP/100 mL, evidencing the need for treatment before reuse. As for the average reduction in the parameters analyzed, there was a decrease in COD from 126 mg/L \pm 56 to 55 mg/L \pm 24, BOD from 70 mg/L \pm 31 to 30 mg/L \pm 13 and E. coli from 936 NMP/100mL for 45 NMP/ 100mL in the final effluent, achieving an average removal efficiency of 56%, 56%, 95.0%, respectively. In these terms, it was found that this gray water can be used, in terms of COD for class 4 and for the BOD parameter, for class 2. The E. coli parameter serves the various activities for the reuse of water that are in the standards, except for class 1 of the FIESP manual, as it requires no detection of E. coli.

Keywords: Wastewater, Grey Water, Biological Filter, Water Reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade anual de água usada para agricultura e percentual quanto a toda água retirada do país.	25
Figura 2 – Os cinco maiores componentes do sistema de recarga de aquíferos.	33
Figura 3 – Corte transversal de uma “Fossa verde”.	36
Figura 4 – Exemplo de filtro de areia para tratamento de águas residuárias.	38
Figura 5 – Local escolhido para coleta de água cinza.	41
Figura 6 – Reservatório de alimentação do sistema.	42
Figura 7 – Bomba hidráulica instalada no sistema.	43
Figura 8 – Filtro de sucção posicionado no interior de reservatório.	44
Figura 9 – Tubulação de mangueiras plásticas usadas (a) na sucção e (b) no recalque.	44
Figura 10 – Filtro biológico usado para tratamento da água cinza.	45
Figura 11 – Sistema de distribuição usado para aplicar uniformemente o efluente. .	46
Figura 12 – Recipiente de material plástico usado para montagem do filtro biológico.	47
Figura 13 – Esquema ilustrativo do funcionamento do sistema de tratamento.	47
Figura 14 – Processo de peneiramento, lavagem e secagem da areia a ser usada no filtro.	48
Figura 15 – Procedimento de montagem das camadas filtrantes do filtro biológico (a) Camada de pó de serragem; (b) Camada de areia; (c) Camada de carvão ativado; (d) Camada de brita.	49
Figura 16 – Esquema ilustrativo do filtro biológico.	49
Figura 17 – (a) Lodo coletado para (b) inserção no filtro biológico em frações.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Saneamento de acordo com a SNSA (2016).	19
Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros químicos e microbiológicos das águas cinzas produzidas em pia de cozinha para alguns países.	21
Tabela 3 - Efeitos negativos dos parâmetros de qualidade da água em instalações.	24
Tabela 4 – Comparativo das vantagens e desvantagens da recarga de água subterrânea sobre o armazenamento superficial.	32
Tabela 5 - Detalhes construtivos do filtro biológico.	47
Tabela 6 – Parâmetros e metodologia usada para avalia-los.	51
Tabela 7 - Histórico das coletas realizadas para posterior análise laboratorial.	51
Tabela 8 - Resultados experimentais obtidos para amostras coletadas antes da inoculação.	53
Tabela 9 - Resultados experimentais obtidos para amostras coletadas depois da inoculação.	54
Tabela 10 - Estimativa de DBO em função de DQO, utilizando a relação de 1,8.....	56
Tabela 11 - Classificação dos parâmetros de qualidade da água segundo os reúsos previstos e normas.....	58
Tabela 12 - Resultados dos parâmetros analisados na água cinza de pia de cozinha da cantina e os limites para reúso.....	58

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
EUA – Estados Unidos da América
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
OMS – Organização Mundial da Saúde
PDHC – Projeto Dom Helder Camara
RPD – Reúso Potável Direto
RPI – Reúso Potável Indireto
SBF – Sistema Bioágua Familiar
UFAL – Universidade Federal de Alagoas
UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
WC – Wetlands Construídas
WN – Wetlands Naturais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	16
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Panorama do Tratamento de Esgoto	18
2.2 Águas cinzas.....	20
2.2 Possibilidades de Reúso do Esgoto Tratado	22
2.2.1 Reúso na Indústria.....	22
2.2.2 Reúso na Agricultura	25
2.2.3 Reúso Municipal	28
2.2.4 Reúso para recarga de Aquíferos.....	30
2.3 Modelos de Gestão de Águas Residuárias.....	34
2.4 Soluções Alternativas para Comunidades Rurais	35
2.4.1 Tanque de Evapotranspiração com Bananeiras	36
2.4.2 Filtro de areia.....	37
2.4.3 Wetlands.....	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 Local escolhido para coleta de água cinza	41
3.2 Sistema de Tratamento	42
3.3 Material Suporte.....	48
3.4 Inoculação	50
3.5 Relação DQO/ DBO	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1 Desempenho do filtro antes da inoculação.....	53
4.2 Desempenho do filtro depois da inoculação.....	54
4.3 Viabilidade do Reúso de Água Cinza	57
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento demográfico, com aumento da demanda, seja pela redução da oferta, provocada especialmente pela poluição dos mananciais. Além disso, nas regiões onde essa escassez constitui uma realidade natural e naquelas em que as alterações climáticas incidem fortemente, há uma necessidade de se desenvolver práticas sustentáveis que preservem os recursos hídricos.

Para Lima (2005), o problema da escassez de água no planeta pode ser justificado por dois fatores: a gestão deficiente e a má distribuição dos recursos hídricos, sendo o primeiro fator devido ao homem e o segundo à natureza.

O Relatório Mundial de Desenvolvimento das Águas das Nações Unidas expõe que até 2030, o planeta enfrentará um déficit de água de 40%, a menos que seja melhorada dramaticamente a gestão desse recurso precioso (WWAP, 2015).

A má distribuição da água entre as regiões tem tornado o recurso hídrico mundial um fator limitante para o desenvolvimento industrial e agrícola, afetando o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Com isso os impactos econômicos, sociais e ambientais podem ser graves, sendo necessário a adoção de boas práticas quanto ao uso da água doce como forma de garantir a sua disponibilidade, hoje e sempre.

Adicionalmente, o desenvolvimento urbano e sua demanda excessiva por água doce tem provocado um impacto significativo no ciclo natural da água, pois a água extraída para o abastecimento urbano reduz as vazões nos rios, ao mesmo tempo, o escoamento de águas pluviais e descargas de águas residuárias muitas vezes carregam altos níveis de poluição que causam a diminuição da qualidade das águas dos rios.

Os Indicadores de Desenvolvimento Mundial (WORLD BANK, 2016) mostram que os setores agrícola, industrial e doméstico, com quantidade média de água usada de 70%, 18% e 11% respectivamente, são os setores que mais retiram água do meio ambiente. Os países de renda baixa e média baixa usam quase toda sua disponibilidade hídrica no setor agrícola, ao contrário dos países de renda alta, estes apresentam um equilíbrio entre o uso agrícola e industrial (WORLD BANK, 2016).

Sabendo que o maior uso de água no mundo é feito na agricultura, com média de 70% de todo o aporte hídrico, é necessária ser dada uma atenção maior a este

setor, sobretudo, como estes grandes volumes de água doce retirados do meio ambiente estão sendo usados.

Em muitos países, os recursos de água doce disponíveis já estão fortemente comprometidos e para evitar uma crise hídrica, os países devem usar a água de forma mais eficiente, gerir, de forma inteligente, a oferta e a demanda, poluir menos e reduzir os impactos ambientais da população em crescimento, preservando os recursos hídricos tanto em quantidade quanto em qualidade (ANDERSON, 2008).

Como forma de potencializar a renovação das águas podem ser adotadas práticas sustentáveis a serem realizadas pelo homem, dentre estas, evitar a contaminação dos corpos hídricos desenvolvendo tecnologias que tratam as águas servidas e devolva-as aos sistemas aquáticos com menor carga poluidora possível.

Além disso, outra maneira de se conservar as águas do planeta é submeter as águas residuárias à técnicas de tratamento, com o intuito de reutilizá-las para consumos potáveis e/ou não potáveis. Segundo Hespanhol (2002), o conceito de substituição de fontes hídricas é uma solução ímpar no que diz respeito à ameaça a carência de água evidenciada em algumas regiões do mundo e se mostra como uma alternativa para atender demandas menos restritivas, deixando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres como abastecimento doméstico.

Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico, pois nem todas as atividades desenvolvidas entre os setores necessitam de água potável, podendo ser realizada com água não potável. Desta forma, grandes volumes de água doce podem ser poupados pelo reúso quando se utiliza água de qualidade inferior.

Assim, o reúso de água tem sido praticado com sucesso em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Philippi (2003) afirma que uma das alternativas que tem demonstrado bastante eficácia na conservação de água potável é o reúso de águas servidas que é um importante instrumento de gestão ambiental da disponibilidade hídrica e detentor de tecnologias já consagradas para a sua aplicação.

Tais tecnologias podem ser implantadas tanto nos grandes centros como nas pequenas regiões, diferenciando-se apenas em alguns aspectos, como por exemplo: escala, custos de implantação, manutenção, entre outros. Assim sendo, diferentemente das zonas urbanas contempladas com onerosos e robustos sistemas de tratamento centralizado, as comunidades isoladas ou rurais, num cenário de

disponibilidade hídrica mais reduzido e com problemas mais graves ocasionados pela deficiência ou inexistência do tratamento e disposição de águas residuárias, a implantação de tecnologias inovadoras para o tratamento descentralizado, podem viabilizar o reúso de água permitindo mitigar os problemas gerados pela disposição inadequada desses efluentes, promovendo a produção sustentada de alimentos e o desenvolvimento rural.

Dentre as tecnologias que podem proporcionar a reutilização de águas servidas está o filtro biológico. Basicamente, o filtro biológico pode ser definido como um reator biológico onde o esgoto é depurado através de microorganismos anaeróbios presentes nos espaços vazios e na superfície do material inerte que constitui o material filtrante (ABNT, 1997).

Material filtrante corresponde ao material utilizado na tecnologia de tratamento, através deste o esgoto escoar e tem a finalidade de suporte para o crescimento da biomassa, retendo sólidos e fixando microorganismos na sua superfície para depuração de esgotos. O material filtrante utilizado depende especialmente da disponibilidade local de material adequado e de seu custo de fabricação e transporte. É bastante comum o uso de pedras britadas, elementos cerâmicos, elementos em madeira, blocos modulares de plástico, cilindros vazados de plástico, esferas perfuradas de plástico entre outros materiais inertes (ABNT, 1997). O importante é atender ao objetivo destinado.

Batista et al, (2011) trabalharam com filtros biológicos preenchidos com lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, em um dos trabalhos verificou-se que a serragem de madeira foi o tipo de material orgânico filtrante com melhor desempenho no tratamento de esgoto doméstico, constatando remoções de 71 e 80%, na Demanda Química de Oxigênio (DQO) e na Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), respectivamente.

Outro material bastante usado para o meio filtrante desse tipo de tecnologia é o carvão ativado. Ele é o adsorvente mais utilizado para a remoção de poluente orgânicos das águas residuárias, entretanto seu custo elevado é uma limitação. Chandra e Pandey (2000), avaliaram a eficiência de remoção de cor, DQO e DBO de um efluente tratado anaerobicamente associado a uma coluna de carvão ativado com área superficial de 1400 m²/g. O tratamento com o carvão resultou em 99% de eficiência de remoção de cor e mais de 90% de eficiência de remoção de DQO e DBO.

Devido a sua porosidade, área de superfície e rugosidade, o carvão granular pode ser utilizado como suporte para muitos microrganismos, assim, o carvão granular tem sido muito utilizado em biofiltros para ajudar na remoção de material orgânico (COELHO, 2002).

De acordo com Couto; Figueiredo (1992), Camargo; Nour (2001) e Tonetti et al. (2011), o tratamento esgoto doméstico por filtros anaeróbios é uma opção de baixo custo que remove aproximadamente 70% da matéria orgânica e produz uma quantidade reduzida de lodo, apresentando, de maneira geral, bons resultados na remoção de matéria orgânica.

Em experimentos realizados por Alem Sobrinho (1983), utilizando filtros biológicos para o tratamento de esgotos domésticos, foram obtidas eficiências de remoção de DBO e DQO de 82% e 65%. Em conformidade, um estudo desenvolvido pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em parceria com o Projeto Dom Helder Camara (PDHC), cujo intuito foi a implantação do Sistema Bioágua Familiar (SBF) junto a famílias agricultoras do território do Sertão do Apodi/RN, sistema também conhecido como filtro biológico, dotado de duas camadas de material orgânico (húmus e serragem de madeira) e duas camadas de material inorgânico (cascalho e seixo rolado), visando reúso de água cinza para produção de alimentos. Ao realizar o monitoramento dos parâmetros de qualidade dessa água, foi constatado uma eficiência média em termos de DQO e DBO de 81% para ambos, confirmando os bons resultados do uso dessa tecnologia no que tange a remoção de matéria orgânica, mostrando-se como uma boa alternativa para o tratamento de água cinzas (DOMBROSKI et al., 2013).

A partir disso, o intuito deste trabalho foi a confecção de uma tecnologia voltada para tratamento de águas residuárias, águas cinzas, produzida a partir de pia de cozinha. Analisou-se a viabilidade do reúso desse efluente, em algumas atividades descritas em normas nacionais e internacionais, a saber: lavagem de veículos, de pisos, de agregados na construção civil, em descargas de vasos sanitários, pomares, entre outros.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade de reúso de água cinza, tratada em filtro biológico de fluxo descendente e proveniente de pia de cozinha, em algumas atividades.

1.2 Objetivos Específicos

- Construir um filtro biológico em escala de bancada para tratamento da água cinza proveniente de pia de cozinha;
- Realizar a caracterização dos parâmetros químicos e biológicos do efluente nas fases de pré-tratamento e pós-tratamento;
- Avaliar o efeito do inóculo no tratamento de águas residuárias do filtro biológico;
- Avaliar a viabilidade de reúso de água cinza tratada em filtro biológico e proveniente de pia de cozinha;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama do Tratamento de Esgoto

De acordo com a definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos domésticos e industriais, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. Definido que:

- Esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- Esgoto industrial é o despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitando os padrões de lançamento estabelecidos;
- Água de infiltração é toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- Contribuição pluvial parasitária é a parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

O esgoto sanitário é constituído por 99,9% de água e uma parcela mínima de 0,1% de impurezas nocivas ao meio ambiente e a saúde humana (NUVOLARI; COSTA, 2007). Por esta razão é muito importante que, antes de o dispor à natureza, submeta-o a um processo de coleta e tratamento adequado com o intuito deste não contaminar ou poluir o ambiente.

Desde os tempos antigos, quando os homens começaram a povoar as cidades, a disposição de águas servidas era motivo de preocupação. Em 3.750 a.C., eram construídas galerias de esgoto em Nipur na Índia, e na Babilônia. Em 3.100 a.C. eram usadas manilhas de cerâmica para a canalização dos esgotos (AZEVEDO NETTO, 1984). Como não havia incidências de grandes obras de engenharia voltadas para o tratamento de esgoto, alguns moradores da Roma Imperial, por iniciativas próprias, faziam ligações diretas das casas até os canais (METCALF and EDDY, 1972).

Na Idade Média, não se tem histórico de grandes realizações, no que concerne aos serviços de saneamento. Entendendo que a ausência desses serviços nas cidades pode ocasionar veiculação de doenças, possivelmente essa foi a causa de uma terrível pandemia de peste bubônica na Europa no período entre os séculos XVI e XIX (SAWYER; MCCARTY, 1978).

De acordo com METCALF and EDDY (1972), o grande desenvolvimento das cidades, ocorreu a partir do século XIX e início do século XX. Em Londres, por exemplo, somente no ano 1815 os esgotos começaram a ser lançados em redes coletoras, 45 anos depois, em 1860, surgiu o dispositivo de Mouras para tratar lodos de esgotos por processo anaeróbio. O mesmo autor expõe que somente em 1887, foi construída a Estação Experimental Lawrence, em Massachussetts, nos Estados Unidos da América (EUA). Após isso, alguns países, hoje desenvolvidos, como EUA, Japão e Canadá, começaram a tratar os seus esgotos.

No Brasil, a história do tratamento de esgoto tem início no período colonial. Mais tarde, com a chegada da família real em 1808, a população duplicou rapidamente em 1822, fazendo com que as demandas por abastecimento de água e eliminação de dejetos aumentassem. Em 1889, com o fim do Brasil Império e início da República, o Rio de Janeiro foi a quinta cidade no mundo a adotar um sistema de coleta de esgoto. Apesar disso, as redes de esgoto sanitário cobriam apenas as áreas urbanas, atendendo uma parcela mínima da população. Esta situação se prolongou até as primeiras décadas do século XX.

Segundo Jordão (2015), foi através do Rio de Janeiro e de São Paulo que o Brasil ganhou os primeiros processos de tratamento de esgoto. Técnica já difundida na Inglaterra, os processos usando filtros biológicos são bastante simples, com baixo custo energético e razoável eficiência, e teve na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Penha, no Rio de Janeiro, sua primeira unidade de maior porte implantada, em 1940.

Como pode ser constatado na Tabela 1, atualmente no Brasil, em pleno século XXI, os avanços nos serviços de água e esgoto ainda continuam tímidos.

Tabela 1 – Saneamento de acordo com a SNSA (2016).

BRASIL	
83,3% da população é abastecida com água tratada	Corresponde a mais de 33 milhões de brasileiros sem água tratada
50,26% dos brasileiros tem o serviço de coleta de esgoto	Representa 100 milhões de brasileiros sem coleta
42,67% de todo o esgoto gerado é tratado	Totalizando 6 mil piscinas olímpicas de esgotos jogadas por dia
População atendida com esgotamento sanitário na região Norte, Nordeste e Sudeste	8,66%, 24,68% e 77,23% respectivamente

ALAGOAS - Maceió
Cerca de 96,62% dos alagoanos recebem água tratada
De todo o esgoto gerado somente 35,6% é coletado e tratado
Assim, 64,4% do esgoto gerado não é coletado

Fonte: A Autora (2017)

Sabendo que o saneamento é um direito essencial garantido constitucionalmente no Brasil e que este reconhecimento legal é reflexo das implicações desses serviços à saúde pública e ao meio ambiente à medida que sua carência pode influenciar de forma negativa campos como educação, economia, disponibilidade hídrica e outros. Assim, diante deste quadro deficitário em que se apresenta o tratamento de esgoto no Brasil, apurado em 2015 e explanado na Tabela Tabela 3, revela o atraso da agenda nacional em saneamento, sendo, portanto, necessário que mudanças devam acontecer, partindo do governo e do envolvimento de todos.

2.2 Águas cinzas

As águas residuárias têm em sua composição as águas cinzas, as quais são oriundas de fontes como banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas, cozinha e máquina de lavar pratos e as águas negras, cuja origem se dá em vasos sanitários (OTTOSON; STENSTRÖM, 2003).

As diversas águas cinzas produzidas em uma residência e provenientes das fontes citadas acima possuem composições distintas: a água cinza proveniente de cozinha apresenta partículas de comida, óleo, gordura e alta concentração de poluentes, apresentando risco à saúde e ambiental de semelhante a água negra e esgoto bruto. Apresentam altas concentrações de coliformes e alta concentração de detergentes que podem torná-la alcalina. As águas cinzas provenientes da lavagem de roupas podem apresentar concentrações que variam de 107 UFC/100ml (primeira lavagem), até apenas 25 UFC/100ml (no caso de segunda lavagem de máquina de lavar) de coliforme termotolerante. A concentração de produtos químicos é alta devido aos sabões empregados que contém Sódio, Fosfato, Boro, Surfactantes, Amônia e Nitrogênio. Apresentam sólidos em suspensão e turbidez elevada e a demanda por oxigênio por ser alta, pode causar danos ambientais e a saúde se for lançada no solo sem tratamento. As águas cinzas provenientes de chuveiros e pias de banheiros são

consideradas aparentemente como as menos contaminadas. A concentração de coliforme tolerante pode variar de 10^4 a 10^6 UFC/100 ml, também apresentam produtos químicos que podem afetar o solo, porém, estes produtos encontram-se mais diluídos (NWS HEALTH, 2000).

Em alguns países as águas cinzas não tratadas são geralmente descarregadas nas ruas, em canais de drenagem, em campos abertos ou em sistemas aquáticos naturais. As áreas rurais e periféricas dos países de baixa e média renda usam água cinza não tratada principalmente para fins agrícolas, prática não recomendada, pois leva à degradação do meio ambiente e expõe a população a riscos à saúde (MOREL; DIENER, 2006). Embora as águas cinzas possuam menor potencial poluidor do que as águas residuárias, ainda podem conter altos níveis de microrganismos patogênicos, sólidos em suspensão e substâncias como óleo, gordura, sabões, detergentes e outros produtos químicos domésticos. Para alguns países como os Estados Unidos, Arábia Saudita, Egito, Israel, a reutilização apropriada de águas cinzas não só reduz o uso agrícola de água potável e os custos da água, mas também aumenta a segurança alimentar e melhora a saúde pública, sendo cada vez mais identificada como um recurso valioso (NRC, 2012).

Desta forma as águas cinzas provenientes de pia de cozinha foram escolhidas para serem o objeto deste estudo, sendo submetidas ao tratamento biológico visando o reuso não potável em atividades previstas em documentos normativos.

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros químicos e microbiológicos das águas cinzas produzidas em pia de cozinha para alguns países.

Referência	Local	Características Químicas e Microbiológicas		
		DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
Butler et al. (1995)	Inglaterra	756	-	-
	Malta	669	-	-
Almeida et al. (1999)	Inglaterra	-	644	-
Eriksson et al. (2002)	EUA	1460	-	-
Jamrah et al. (2008)	Al-Hail	77,5	156	-
	Al-Khodh	28,2	35,5	-
Bazzarella (2005)	Brasil	633	1712	$6,47 \times 10^2$

Fonte: A Autora (2017)

As concentrações de DBO e DQO nas águas cinzas, de modo geral, são elevadas nos efluentes provindos da pia da cozinha. No Brasil, Bazzarella (2005) em

suas pesquisas encontrou o valor da DBO para a pia de cozinha de 633 mg/L e DQO de 1712 mg/L, como visto na Tabela 2. Eriksson et al. (2002) expõem em seus estudos que a DBO encontrada em águas cinzas provenientes de pia de cozinha nos EUA foi de 1460 mg/L. Na pesquisa realizada por Butler et al (1995), a DBO para a pia da cozinha foi de 756 mg/L, na Inglaterra e 669 mg/L em Malta. Essa variação entre os parâmetros se dá em função das diferenças de hábitos e cultura das pessoas no mundo.

2.2 Possibilidades de Reúso do Esgoto Tratado

As possibilidades de utilização de água de reúso podem ser divididas em duas grandes categorias: potável e não-potável. O reúso potável é geralmente dividido em duas categorias: Reúso Potável Indireto (RPI) e Reúso Potável Direto (RPD), sendo RPI mais comum do que o RPD (NRC, 2012).

RPI consiste na inserção da água recuperada em sistemas aquáticos, necessariamente não poluídos, como aquíferos, rios ou lagoas, com o intuito de conectar a água a sua fonte natural e conseqüentemente, reduzir a carga poluidora a níveis aceitáveis, através de diluição adequada antes da sua distribuição.

RPD refere-se à introdução de água tratada quer diretamente para o sistema de distribuição de água potável a jusante de uma estação de tratamento de água, ou para o fornecimento de água bruta, imediatamente a montante de uma estação de tratamento de água.

O reúso não-potável representa todas as aplicações que não envolvem o reúso potável, tendo como exemplo: reúso industrial, agrícola e municipal (ASANO, 2007).

2.2.1 Reúso na Indústria

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (WWAP, 2003), o uso de água global anual industrial deverá aumentar de 752 km³ em 1995 para 1170 km³ em 2025, quando o uso de água industrial representará 24% de toda água doce retirada do mundo. Estimativa que indica o quanto é necessário o desenvolvimento e implantação de tecnologias de reúso que tratem eficientemente os efluentes produzidos por essas indústrias, afim de que parte dessa demanda por uma fonte de água potável seja substituída por água

de reúso. Os Indicadores de Desenvolvimento Mundial (WORLD BANK, 2016) afirmam que a porcentagem de água usada pela indústria está relacionada com a renda do país: 3% para países de baixa renda (usam 90% na agricultura), em oposição, países de alta renda apresentam a porcentagem de 42% (42% para a agricultura).

O alto aporte de água potável necessário para abastecer uma indústria e os altos custos associados a esta demanda tem estimulado a utilização de água de reúso para o desenvolvimento de algumas atividades industriais, o que permite as indústrias economizarem com esta prática, reduzindo os custos associados ao uso de água potável. O efluente tratado e ofertado pelas companhias de abastecimento de água, por um preço relativamente inferior ao da água potável tem potencializado a utilização de água de reúso. Dentre os fatores que influenciam o fornecimento, à baixo custo, está a proximidade que o polo industrial está da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), pois essa proximidade contribuirá para a viabilização de programas de reúso industrial, tendo em vista o custo e a eficiência (HESPANHOL, 2002).

Por outro lado, com o desenvolvimento de tecnologias de reúso de água, muitas indústrias estão implantando sistemas de reúso em suas próprias instalações, o que permite a redução dos gastos associados a taxa de coleta e tratamento de esgoto pago às companhias de abastecimento de água. Elas tentam reusar águas residuárias industriais bem como águas residuárias urbanas (KIM; VIGNESWARAN; JANG, 2008). Fazendo com que os custos associados a compra de água potável sejam reduzidos por conta do reúso de água em algumas atividades industriais.

Essa redução de custos ocorre, pois trata-se de grandes vazões de água e quase todas as indústrias são grandes consumidoras de água potável e conseqüentemente grandes geradoras de águas residuárias (KIM; VIGNESWARAN; JANG, 2008). Assim sendo, nota-se um potencial para reúso da água residuária gerada, tanto na própria indústria quanto nas comunidades vizinhas, isso depois de um tratamento apropriado.

Depois de passar por um sistema de tratamento apropriado, segundo Hespanhol (2002), as formas potenciais de reúso de água na indústria são: torres de resfriamento com maior aplicação dessa água, caldeiras; preparação e cura de concreto, compactação do solo, irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e alguns tipos de peças, principalmente na indústria mecânica e nos processos industriais. Asano (1998) também traz aplicações da água de reúso

como em lavanderias comerciais, estabelecimentos de lavagens de automóveis e caminhões, indústrias de papel e celulose, produção de aço, indústrias têxteis, indústrias de galvanoplastia e de semicondutores.

À luz disso, todo esse potencial de reúso só evidencia a necessidade dessa fonte alternativa de água.

Com o intuito de minimizar os efeitos negativos sobre o desempenho dos processos industriais, alguns parâmetros de qualidade das águas de reúso devem ser considerados. A Tabela 3 apresenta os efeitos negativos dos parâmetros de qualidade de água nos processos (ASANO, 1998).

Tabela 3 - Efeitos negativos dos parâmetros de qualidade da água em instalações.

Parâmetro de qualidade da água	Efeito negativo do processo
Resíduos Orgânicos	O crescimento bacteriano, incrustações microbianas em superfícies e formação de espuma em águas de processos.
Amônia	Formas de cloro combinado com menor eficácia de desinfecção, provoca corrosão e promove o crescimento microbiano.
Fósforo	Formação de incrustações, o crescimento de algas e a incrustação biológica de equipamentos do processo.
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Deposição em materiais e o crescimento microbiano.
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Corrosão e formação de incrustações.
Minerais dissolvidos: cálcio, magnésio, ferro e sílica.	Formação de incrustações

Fonte: Adaptado de Asano et al. (2007).

É necessário controle e monitoramento desses parâmetros para reduzir as obstruções em termos de operações de longo prazo, estes estão diretamente relacionados com as exigências de qualidade para indústria específica e a tecnologia para o reúso da água.

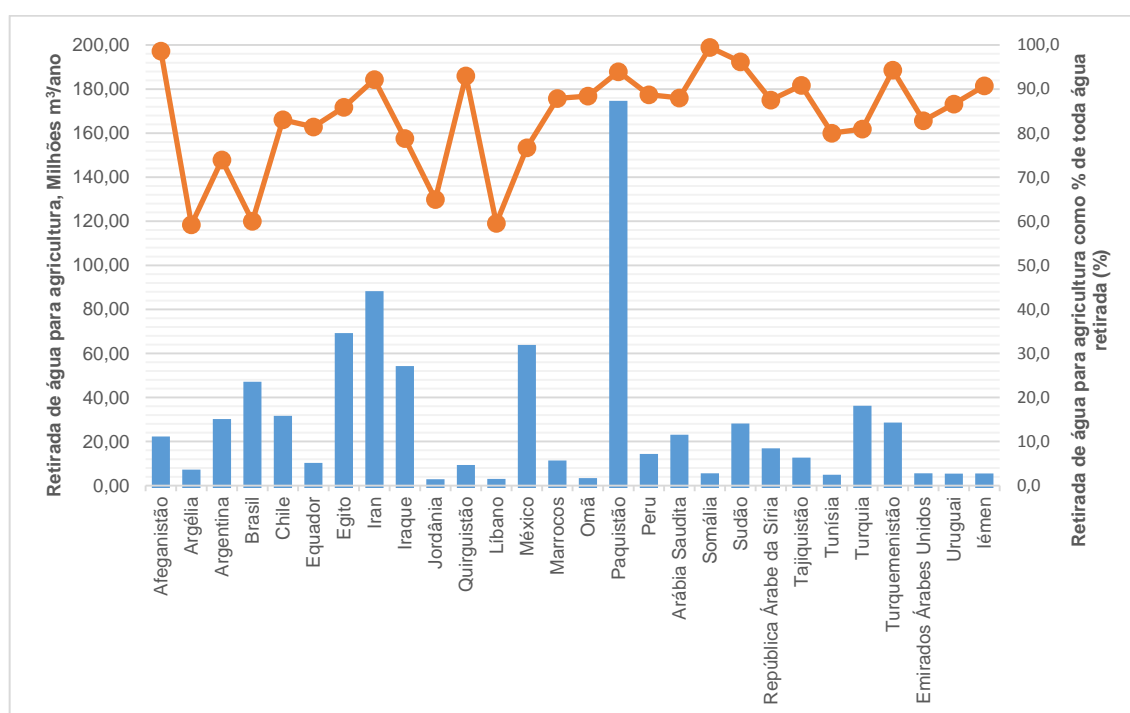
Apesar de uma série de estudos de caso indicarem os benefícios econômicos e ambientais do reúso da água, a relutância do topo da gestão das indústrias continua a ser um grande obstáculo. Uma melhor cooperação entre as autoridades ambientais e as indústrias, através de um esforço no sentido de realizar auditorias de resíduos pode promover o reúso de água industrial (KIM; VIGNESWARAN; JANG, 2008).

2.2.2 Reúso na Agricultura

A maioria dos projetos de reúso de água, no mundo todo, são voltados para a irrigação agrícola, impulsionados por séculos por conta do aumento da escassez e da demanda de água na agricultura.

Destaca-se que a água para agricultura é um fator crítico da segurança alimentar, sendo assim, por esta razão, a agricultura foi e continua sendo o setor econômico que mais utiliza água, com cerca de 70% de água doce do mundo. Em países em desenvolvimento, o uso da água doce chega a ser maior que 80% para a prática de irrigação agrícola, como visto na Figura 1.

Figura 1 – Quantidade anual de água usada para agricultura e percentual quanto a toda água retirada do país.



Fonte: Adaptado de FAO (2012).

Analisando a imagem acima, é possível ver que a maioria dos países representados destinam 80% ou mais de água dos seus sistemas aquáticos para atividades agrícolas. O Paquistão retira grandes volumes de água se comparado com os demais países.

Atualmente, a proporção de terras agrícolas irrigadas é de apenas 17% de toda a terra cultivada, que representa o fornecimento de 30% a 40% da produção de

alimentos do mundo, devendo aumentar para 47% até 2030 (FAO, 2003). No futuro, a demanda de água para irrigação aumentará, mas a disponibilidade de água para a agricultura será ameaçada pela crescente demanda doméstica e industrial. Por essas razões, a taxa de crescimento esperado da demanda de água na agricultura é menor, cerca de 0,8% ao ano (MERRETT, 2002).

A necessidade de uma fonte de água alternativa tem sido enfatizada durante os últimos anos pelas piores secas. Por exemplo, foi estimado que a seca de 1999 no Oriente Médio resultou numa queda relativa na produção de alimentos de 51% (FAO, 1999). Os impactos econômicos dessa seca na Europa foram estimados em mais de 15 bilhões de dólares e estimou-se que a seca de 2005 foi a pior dos últimos 30 anos para algumas regiões da Espanha, França e Inglaterra.

Nesse contexto, o reúso de água é cada vez mais valorizado, e alguns países já estão utilizando uma grande parte de suas águas residuárias tratadas para irrigação, uma vez que, com essa prática, contribuem para o aumento da disponibilidade hídrica e ao mesmo tempo se beneficiam nos aspectos econômica, ambiental e de saúde pública, como é o caso da Argentina, China, Chipre, Egito, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbia, México, Arábia Saudita, Espanha, Síria, Tunísia e Emirados Árabes Unidos.

Por se tratar de um método antigo de reúso de água, nos EUA e em outros países como Israel existem normas bem estabelecidas para reúso em irrigação. Essas normas definem o método de irrigação, qualidade que a água deve atingir e tipos de culturas que podem ser irrigadas (NRC, 2012).

Em contraste, o uso de esgoto bruto ou água residuária parcialmente diluída, cometido sem base normativa alguma, é comum em países em desenvolvimento como Índia, México, Marrocos e Paquistão, causando sérios problemas de saúde, conseqüentemente, tem sido bastante relatado casos de doenças entéricas, causadas por bactérias ou protozoários presentes nas fezes, como por exemplo a diarreia, e doenças gastrointestinais, ou seja, as que acometem órgãos do sistema digestivo e órgãos acessórios da digestão (LAZAROVA; BAHRI, 2008)

Dentre os benefícios econômicos associados a utilização de água de reúso na agricultura está a concentração de nutrientes como o nitrogênio e fósforo encontrados no efluente e que reduzem substancialmente a necessidade do emprego de fertilizantes comerciais. Os benefícios ambientais e à saúde pública são

consequências de um sistema de reúso consciente, onde a adequação, o planejamento e a boa administração norteiam as atividades. (HESPANHOL, 2006).

Outros fatores importantes que favorecem o reúso da água na agricultura são os inúmeros benefícios da irrigação com água de reúso em conjunto com os requisitos de qualidade da água relativamente menos rigorosos em comparação com outras aplicações de reúso, tais como urbano e industrial (LAZAROVA; ASANO, 2005).

O reúso de água para fins de irrigação vem se tornando uma fonte vital para o aumento da produção agrícola, proporcionando maior rendimento das culturas e diminuindo a dependência de fertilizantes químicos. Consequentemente, em alguns países áridos, como Israel e Jordânia, o reúso de água fornece uma grande parte da água de irrigação.

O princípio básico do benefício do reúso de água na agricultura é que as águas residuárias urbanas podem ser usadas para todos os tipos de irrigação desde que tenham sido tratadas previamente ao nível adequado para atender os requisitos específicos de qualidade da água (AYERS et al., 1985 e LAZAROVA; BAHRI, 2005). Essa prática é bastante usada em fazendas para os fins descritos abaixo:

- cereais, tais como trigo e milho;
- culturas industriais, tais como grãos de soja, beterraba-sacarina e cana-de-açúcar, coco, óleo de palma, algodão, girassol e outras culturas utilizadas em várias indústrias para a produção de lubrificantes, combustíveis, álcool, plásticos, papel de jornal e papéis outras, aromas, fragrâncias;
- produtos farmacêuticos e cosméticos;
- culturas forrageiras, de fibras e de sementes, tais como alfafa, trevo, pasto, cevada e outras culturas para alimentação animal;
- pomares de frutas que crescem acima do solo, tais como citros, pêssego, ameixa, nozes e uvas;
- legumes e produtos de jardinagem que, ou são cozidos ou processados de forma que organismos patogênicos são destruídos antes do consumo humano, ou comidas cruas;
- plantas cultivadas em viveiros e estufas;
- florestas, barreiras vegetais contra o vento, e bosques comerciais;

- irrigação paisagística, por exemplo, irrigação de áreas verdes e campos de golfe.

Por sua grande extensão territorial, a irrigação no Brasil se diferencia de região para região. No Nordeste, por exemplo, a aridez exige a irrigação, sendo o único recurso para viabilizar a agricultura, por outro lado, na região Sul, a abundância de reservas hídricas favorece as opções dos agricultores e, em outras regiões, a economia facilita a implantação de sistemas sofisticados (NUVOLARI; COSTA, 2007).

É de fundamental importância para o Brasil haver o desenvolvimento de ações em prol do reúso de água, principalmente para as regiões áridas e semiáridas onde os problemas de saneamento são ainda maiores. De acordo com Hespanhol (2002), há uma necessidade e tendência geral de um maior desenvolvimento e extensão das práticas de irrigação não só nas regiões áridas e semiáridas, mas também em clima temperado como uma medida eficiente de proteção para o meio ambiente e uma fonte de água alternativa contra a seca.

A implementação segura e benéfica do sistema de reúso de água poderia ser melhor garantida pelo desenvolvimento de normas de boas práticas, que são tão importantes para os agricultores e operadores como os requisitos de qualidade de reúso da água.

2.2.3 Reúso Municipal

O uso público e municipal da água representa muitas vezes uma componente significativa do uso da água urbana. No entanto, algumas atividades demandadas pelo município não precisam de água potável de alta qualidade. A utilização de água reciclada para algumas necessidades municipais certamente coopera para a redução da demanda por fontes de água doce de alta qualidade, o que contribui com o desenvolvimento sustentável do município.

Nos últimos anos, as autoridades locais de água, em muitos países, implementaram projetos de reúso de água municipal com sucesso. Esta experiência demonstrou a viabilidade do reúso de água em grande escala e seu papel na realização do uso da água urbana.

Esta prática de reúso de água é bem extensa e notadamente variada, assim segue algumas aplicações de reúso da água municipal que tem sido implementadas (ANDERSON, 2008 e HESPANHOL, 2002).

Aplicações em instalações públicas:

- irrigação do paisagismo municipal e áreas públicas de espaço aberto;
- irrigação de campos esportivos e de golfe;
- vasos sanitários em edifícios públicos, instalações desportivas, parques de campismo e etc.;
- sistemas decorativos aquáticos tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água;
- torres de resfriamento make up de água.

Aplicações de serviços municipais:

- limpeza de ruas;
- construção de estradas;
- controle de poeira;
- lavagens de trens municipais e ônibus;
- água de processos em sistemas de coleta e tratamento de águas residuárias;
- sistemas de recuperação de calor e aquecimento urbano;
- combate e reserva contra incêndios.

Aplicações ambientais:

- recursos hídricos urbanos;
- característica da água em jardins zoológicos;
- restauração de córregos urbanos;
- produção de neve.

A água residuária deve ser tratada e distribuída de modo que seja seguro para a utilização pretendida. No caso de aplicações do reúso de água municipal, existem níveis médios e altos de exposição humana à água tratada, sendo assim, é necessário um gerenciamento e operação de sistemas de reúso municipal, semelhante aos cuidados utilizados para sistema de reúso de água residencial. O reúso de água requer medidas eficazes para proteger a saúde pública e o meio ambiente. A utilização de água de reúso tratada e desinfetada é desejável para sistemas de reúso municipal para garantir baixo risco à saúde pública e ambiental. Apropriadamente desinfetada e

tratada, a água residuária pode ser adequada para outras aplicações municipais onde os sistemas são fechados e o acesso ao público é controlado.

Vale destacar que o cuidado é necessário para garantir que a água de reúso utilizada em aplicações municipais para fins mais nobre e produção de culturas alimentares tenha baixos níveis de metais pesados e pesticidas. Se possível, a água de reúso para essas aplicações deve ser proveniente de fluxos de águas residuárias que não contenham resíduos industriais pesados.

Para o reúso no paisagismo municipal, é também necessário limitar a salinidade e metais pesados, e garantir que as cargas de nitrogênio e fósforo não excedam a capacidade sustentável a longo prazo dos solos. Algumas plantas são sensíveis e sofrem atraso no crescimento em níveis bastante baixos de sal, se os níveis de sal excederem 1000 mg/L, muito cuidado é necessário para gerir a irrigação de forma que não resulte na lixiviação do solo (ANDERSON, 2008).

Cuidados também são necessários para evitar o excesso de irrigação, pois o aumento do nível das águas subterrâneas pode ter consequências muito graves se essas águas são salinas e provocar a salinização dos solos. Pode haver também consequências adversas se os lenções freáticos já são altos, a irrigação com água de reúso leva a excessiva carga de DBO, condições de encharcamento no solo (ANDERSON, 2008), portanto, em projetos de paisagismo municipais, o planejamento cuidadoso deve ser realizado para garantir que estes serão sustentáveis.

Há experiências consideráveis em todo o mundo no reúso de água para fins municipais e afins, no entanto, há surpreendentemente poucos estudos de caso relatado na literatura, possivelmente porque muitas das aplicações individuais são relativamente pequenas e “monótonas” em comparação com os projetos de reúso urbano, industrial e na agricultura.

2.2.4 Reúso para recarga de Aquíferos

A reposição natural de água subterrânea ocorre de forma muito lenta, e ainda assim, a contínua exploração excessiva das águas subterrâneas a uma taxa maior do que essa reposição acaba provocando o declínio dos níveis de águas subterrâneas, em longo prazo e, se não for corrigido, pode resultar no esgotamento dos recursos hídricos subterrâneos. Para aumentar a disponibilidade de água subterrâneas, a recarga artificial de bacias de água subterrâneas é um mecanismo que permite esse

aumento, entretanto, é cada vez mais importante realizar a gestão de águas subterrâneas e particularmente em situações em que a utilização conjunta de água superficial e águas subterrâneas está sendo considerada.

A recarga de águas subterrâneas com água recuperada é uma abordagem para o reúso da água que resulta no aumento planejado das águas subterrâneas para diversos usos benéficos. Os principais usos benéficos incluem abastecimento municipal de água, irrigação agrícola, e abastecimento industrial de água. Os efeitos da recarga artificial de águas subterrâneas identificados por Bouwer (1978), Todd (1980) e Asano (1985) foram:

- reduzir, parar, ou até mesmo reverter o declínio dos níveis de águas subterrâneas;
- proteger a água doce subterrânea em aquíferos costeiros contra entrada de água salgada;
- armazenar água advindo de enchentes ou outro excesso de água recuperada, para uso futuro;
- evitar potenciais problemas de deslizamento de terras.

A recarga de águas subterrâneas não planejada com águas residuárias ocorre em uma série de situações. Por exemplo, a recarga ocorre em terras com tratamento de esgoto e em sistemas de irrigação, onde a água é aplicada em velocidades superiores a demanda de evapotranspiração. Outros exemplos de recarga não planejada com águas residuárias incluem vazamentos dos sistemas de coleta de esgoto e bacias de armazenamento sem revestimento. Em algumas áreas, a eliminação de águas residuárias municipais e industriais através de percolação e infiltração é usada onde a descarga de superfície não é aceitável, ou para eliminar é necessário a autorização do órgão ambiental responsável. Infelizmente, essas formas de recarga não planejada podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas e não refletem necessariamente as melhores práticas.

Todavia, há também efeitos benéficos ao realizar uma recarga de águas subterrâneas planejada, um dos principais efeitos associados a recarga de água subterrânea é o de proporcionar o armazenamento em longo prazo; melhoria na qualidade da água é uma parte essencial dos sistemas de recarga de água subterrânea com água recuperada onde a água retirada é utilizada para fins potáveis.

De grande relevância é o fato de que esses sistemas proporcionam elevado nível de tratamento, no tocante a campos orgânicos (Remoção de DBO, DQO, CODT),

organismos patogênicos (Coliformes fecais, criptosporídeos) a custos bastante inferiores aos associados à tratamentos avançados convencionais, construídos na superfície terrestre (HESPANHOL, 2006).

Quando comparado com o armazenamento de água da superfície, a recarga de água subterrânea tem várias vantagens importantes, como na Tabela 4. A principal vantagem é a melhoria na qualidade da água que ocorre durante o processo de recarga do aquífero. A transformação de esgoto em água com qualidade para o atendimento de usos benéficos, tais como a irrigação, se constitui, também, em benefício ambiental, evitando a descarga de efluentes em corpos d' água. O armazenamento de superfície com água recuperada pode resultar em uma significativa deterioração da qualidade da água e proliferação de algas. As perdas por evaporação também podem resultar em aumento da salinidade, aumentando ainda mais os problemas de salinidade em zonas áridas, o que torna inadequado o uso como fonte de água potável ou para outros fins que não tolerem salinidade elevada.

Tabela 4 – Comparativo das vantagens e desvantagens da recarga de água subterrânea sobre o armazenamento superficial.

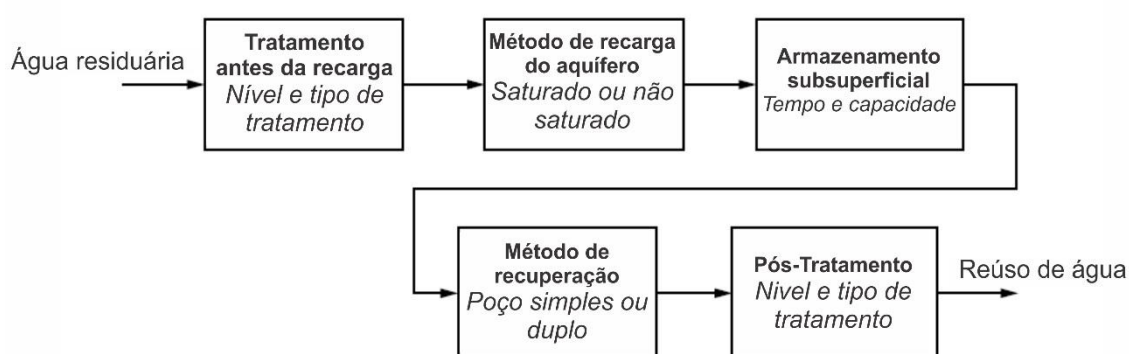
Vantagens
Reposição de aquíferos esgotados
Prevenir deslizamento de terras
Reduzir os custos de energia para o bombeamento de aquíferos mais profundos
Evitar perdas por evaporação
Reduzir os riscos de contaminação secundária
Não há proliferação de algas
Tratamento solo-aquífero pode melhorar a qualidade da água, dependendo da qualidade da água recuperada
Prevenir os impactos ambientais negativos da construção de uma superfície de armazenamento
Locais adequados para reservatórios de águas superficiais podem não estar disponíveis ou não serem ambientalmente aceitáveis.
O armazenamento subterrâneo de água pode evitar os impactos ambientais adversos da construção de barragens
A construção, operação e custos de manutenção da recarga artificial pode ser menor do que o custo equivalente ao reservatório de água superficial
O aquífero serve como um sistema de distribuição eventual e pode eliminar a necessidade de dutos de transmissão ou canais de água de superfície

Desvantagens
Reações geoquímicas complexas podem ocorrer
Efluentes de osmose reversa podem ter que ser estabilizados quimicamente

Fonte: Adaptado de Asano (2007).

Um sistema de recarga de aquíferos pode ser visto como um sistema de componentes múltiplos, contendo componentes acima e abaixo do solo, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Os cinco maiores componentes do sistema de recarga de aquíferos.



Fonte: Adaptado de Asano (2007).

Os componentes acima do solo consistem na fonte de água residuária e os processos de tratamento antes da recarga de águas subterrâneas e subsequente extração para uso. A água recuperada é entregue num local de recarga de água subterrânea, onde o método de recarga depende se o aquífero receptor estar confinado (Saturado) ou não confinado (Com zonas saturadas e não saturadas). Na sequência da infiltração ou injeção, a água recuperada é então armazenada no solo e as melhorias de qualidade da água são muitas vezes uma função do tempo de armazenamento e como a água se move através do subsolo. A água injetada é retirada mais tarde para uso ou armazenagem no subsolo para recuperação futura.

A prática de recarga artificial de aquíferos com efluentes tratados, embora já esteja consolidada internacionalmente é, ainda, pouco conhecida no Brasil. Entretanto, a medida em que ela for sendo regulamentada e devidamente acionada, beneficiará esta modalidade de tratamento e trará para o Brasil uma nova dimensão para a disposição de efluentes domésticos e todos os benefícios que os países já adeptos tem (HESPANHOL, 2006).

2.3 Modelos de Gestão de Águas Residuárias.

Segundo o IBGE (2010), cerca de 15,63% da população brasileira vive na área rural, correspondendo a 29.830.007 habitantes que, em sua quase totalidade, lançam os esgotos diretamente nos rios, lagos ou mesmo no solo localizado nas proximidades das moradias. Esta prática acaba piorando a contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, suscitando sérios problemas à saúde pública e ao próprio ambiente em que vivem.

Como formas de solucionar os problemas relacionados a destinação inadequada dos esgotos, há pelo menos dois modelos de gestão de águas residuárias, que buscam condicionar os dejetos de maneira apropriada: os sistemas centralizados e descentralizados. O sistema centralizado de tratamento é constituído por um conjunto de equipamentos destinados a coletar, transportar, reunir, tratar e dispor, no ambiente, os efluentes residenciais, comerciais e industriais (NUVOLARI et al., 2003). A coleta dos esgotos se dá através de tubulações que recebem contribuições divididas por sub-bacias convergindo a pontos de reunião de cotas altimétricas baixas, a partir das quais, estações elevatórias as recalcam até a área de tratamento, costumeiramente mais afastada do centro urbano. Assim, esse sistema é caracterizado pela sua complexidade, robustez estrutural e operacional.

Essas características do sistema centralizado podem ser notadas ao propor a interligação dos dejetos gerados na zona rural com os grandes sistemas de tratamento dos centros urbanos, que contém obras de engenharia sofisticadas para atender a demanda quanto às condições de tratamento. Contudo, essa interligação, das comunidades rurais aos grandes centros, em alguns casos, torna-se inviável, em decorrência das grandes distâncias entre esses locais, o que pode acarretar em um projeto de engenharia complexo para essa conexão, tendo em vista a possível existência de um relevo acidentado entre esses dois locais, dificultando a viabilidade técnica e econômica.

Ao passo que um sistema descentralizado abrange uma gama de sistemas processadores de esgotos domésticos e comerciais, que possuem inúmeros benefícios, dentre os quais se destacam:

- Proteção de valor da propriedade: pode prover tratamento equivalente ao de sistemas centralizados, frequentemente a um custo mais baixo (USEPA, 2005).

- Conservação de água: pode colaborar direta e indiretamente na recarga de aquíferos mantendo, no período de estiagem, o fluxo de riachos e rios dentro da microbacia hidrográfica. (NHAPI, 2004; USEPA, 2005; ICHINARI et al., 2008; WEISS et al., 2008);
- Minimização de custos no ciclo de vida: o gerenciamento adequado resulta em menores custos de reposição e reparo, valoração da propriedade, desenvolvimento econômico e melhoria da qualidade de vida da população (USEPA, 2005).
- Planejamento efetivo: promove flexibilidade no gerenciamento.

De acordo com os autores revisados nota-se uma defesa quanto ao modelo descentralizado de gerenciamento de águas residuárias domésticas e comerciais (OTTERPOHL et al., 2003; NHAPI, 2004; ROELEVELD; ZEEMAN, 2006; MAURER et al., 2006; MASSOUD et al., 2009; MOUSSAVI et al., 2010).

Nesse sentido, no final do século XX e início do século XXI, o tratamento descentralizado de esgotos é visto como a alternativa mais sustentável, especialmente, para países em desenvolvimento (PARASKEVAS et al., 2002) e em pequenas vilas isoladas ou assentamentos rurais com baixa densidade populacional em virtude de sua simplicidade e efetividade de custos (BUTLER; MACCORMICK, 1996; OTTERPOHL et al., 1997; HEDBERG, 1999; WILDERER; SCHREFF, 2000; PARASKEVAS et al., 2002 e USEPA, 2005).

Assim, a gestão de águas residuárias descentralizada é progressivamente considerada nas decisões de implantação de estruturas sanitárias urbanas e rurais pelo menor aporte de recursos, além da sustentabilidade ecológica (LENS et al., 2001 e MASSOUD et al., 2009). Sendo assim, o tratamento, na zona rural, mostra-se factível e viável em sistemas descentralizados, onde o reúso é fortemente encorajado (OTTERPOHL et al., 2002; USEPA, 2005 e LENS et al., 2001).

2.4 Soluções Alternativas para Comunidades Rurais

O desenvolvimento de tecnologias simples, econômicas e de fácil construção e manutenção, que permitem o acesso para o tratamento de efluentes, são de grande importância para melhoria da qualidade de vida de comunidades rurais. Nesta perspectiva, é possível citar o tanque de evapotranspiração com bananeiras, filtro de areia, wetlands, entre outros.

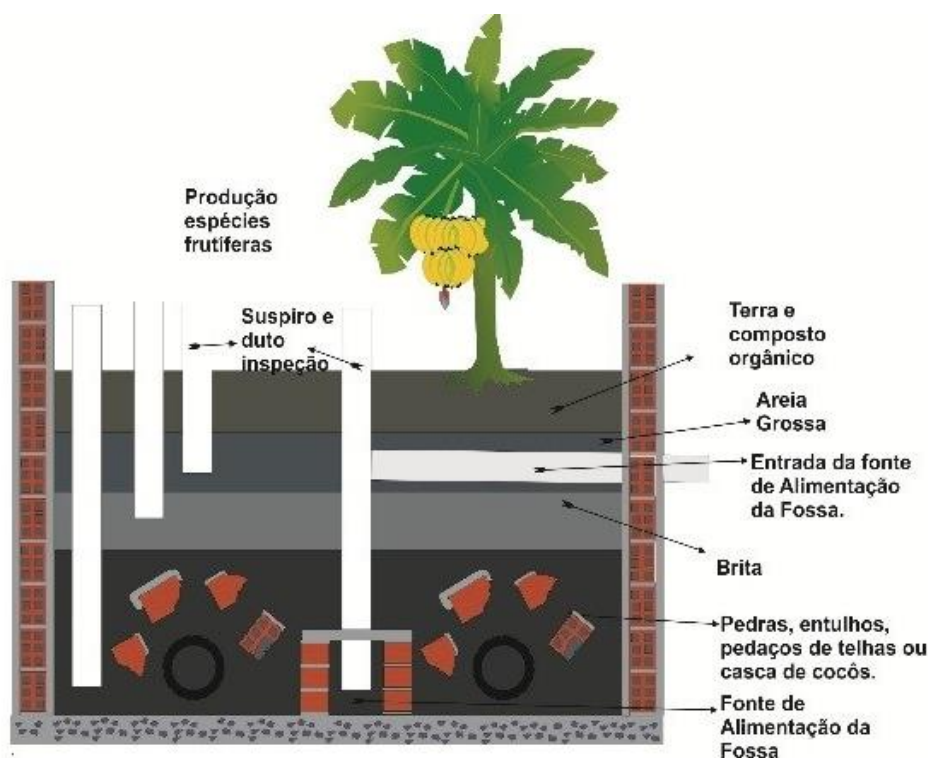
2.4.1 Tanque de Evapotranspiração com Bananeiras

Conhecido também como “Fossa Verde”, essa tecnologia recebe o efluente doméstico gerado em uma residência e trata-o por meio de um processo de biorremediação. De acordo com Araújo (2012), na biorremediação vegetal as águas e os compostos nutricionais provindos do esgoto são reaproveitados pelas plantas que são cultivadas na parte superior do tanque, sobre o solo, e funcionam como zona de raízes, tais como bananeira e mamoeiro, podendo ser consumidas sem prejudicar à saúde humana. A água é evapotranspirada e usada de modo consuntivo pela vegetação. Em adição, Funasa (2014) discorre que o efluente tratado pode ser destinado à irrigação de pomares nos quintais, por meio de tubulação sob o solo.

Esta tecnologia consiste na construção de uma vala de alvenaria impermeabilizada com dimensões variáveis, apresentando uma estrutura interna, em forma de câmara, onde os blocos cerâmicos são colocados deitados em camadas determinadas com os furos abertos para a superfície preenchida com material filtrante e inerte, tais como entulho e material terroso de granulometria variada, como na Figura 3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Nestes termos, os efluentes de todos os utensílios sanitários serão destinados diretamente para a “Fossa Verde”, ressaltando que a pia de cozinha deverá ser sempre equipada com caixa de gordura. Dessa forma, o efluente percola pela câmara, saindo pelos furos até atingir o material filtrante (FUNASA, 2014).

O tratamento do efluente ocorre em fluxo ascendente permitindo que os sólidos orgânicos estejam em contato máximo com o material suporte que é um dos pontos chave para a retenção da biomassa. O despejo do esgoto é feito na base da fundação, surgindo à formação do lodo em forma de massa microbiana que se estende ao longo do material suporte (GABIALTI, 2009).

Figura 3 – Corte transversal de uma “Fossa verde”.



Fonte: Adaptado de Oliveira Netto et al. (2015)

À luz de Oliveira Netto et al. (2015) é possível afirmar que o sistema de biorremediação vegetal apresentado pela “fossa verde” auxilia na redução de despejos a céu aberto, sobretudo nas comunidades rurais do Nordeste, onde costumeiramente os sistemas de coleta e tratamento de efluentes não conseguem atuar. Assim, essa tecnologia social se mostra como uma alternativa viável para o condicionamento adequado dos efluentes domésticos, pois além de constituir uma solução de baixo custo, promove saneamento ao meio rural.

2.4.2 Filtro de areia

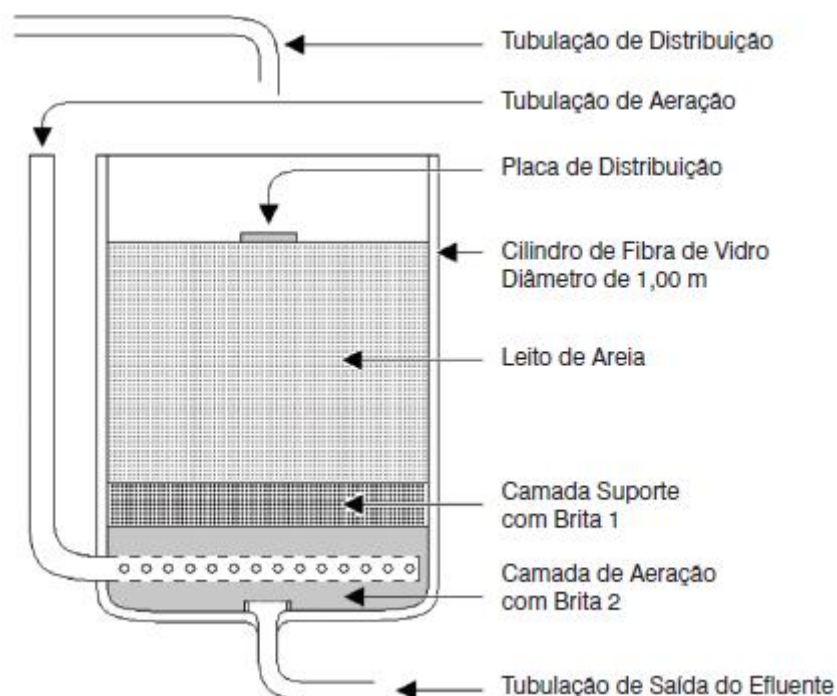
O filtro de areia é descrito na Norma Brasileira - NBR 13.969 que caracteriza esse instrumento como sendo a filtração do esgoto através da camada de areia, onde se processa a depuração por meio tanto físico (retenção), quanto bioquímico (oxidação), devido aos microrganismos fixos nas superfícies dos grãos de areia, sem necessidade de operação e manutenção complexas (ABNT, 1997).

Nestes termos, trata-se de uma excelente opção para tratamento adicional, ou seja, para águas residuais que possuem alta carga orgânica e que foram submetidas a um pré-tratamento onde o mesmo não teve uma boa eficiência. Nesses casos, é

indicado adicionar o processo de filtragem como pós-tratamento com o intuito de reduzir a carga orgânica desse efluente. Caso o efluente em questão seja produzido a partir do uso doméstico de água potável, advindo de aparelhos como pia de cozinha, chuveiro, máquina de lavar roupas, a depender das características finais do efluente tratado, é possível atingir uma qualidade que atenda a demanda para reúso em algumas atividades, como por exemplo, lavagens de pátios, rega de jardins ou até mesmo, a depender da cultura a ser cultivada, uso agrícola, apenas empregando um filtro de areia.

No que concerne a sua composição estrutural, basicamente, há camadas de materiais granulares e filtrantes acomodadas umas sobre as outras, de forma vertical, onde na parte inferior do leito do filtro é colocado uma camada de cascalho ou rocha fragmentada e logo acima dessa camada a granulometria dos demais materiais filtrantes (brita e areia) vão diminuindo gradualmente o diâmetro, ilustrado na Figura 4. As camadas ficam contidas dentro de um suporte o qual pode ser de concreto, plástico ou material impermeável (NFCS, 1997).

Figura 4 – Exemplo de filtro de areia para tratamento de águas residuárias.



Fonte: Adaptado de Tonetti et al. (2012)

Quanto ao tratamento, a NBR 13.969 discorre que ele começa com as águas residuárias sendo aplicadas na superfície do filtro e, com fluxo descendente, percola

lentamente entre as camadas, onde ocorre a remoção de poluentes, tanto por ação biológica quanto física, saindo do filtro tratada e apta a ser reutilizável. No que diz respeito ao poder de depuração, essa tecnologia é muito vantajosa e eficiente, pois consegue tratar a água residuária, deixando-a praticamente sem cor, sem cheiro e reduz consideravelmente a presença de microrganismos como bactérias, vírus, micróbios, entre outros, sem a necessidade de produtos químicos.

Este método de tratamento é bastante antigo, foi o primeiro artifício usado por muitas cidades no século XIX para tratar água de rios antes de distribuí-la. Inicialmente adotado na remoção de turbidez da água, no entanto, em decorrência da comprovada eficiência tecnológica, ao longo dos anos, na Europa e nos Estados Unidos, passou a ser aproveitado no tratamento de águas residuárias (MICHELS, 1996).

No mais, esse sistema alternativo de tratamento de águas residuárias preserva o meio ambiente e previne problemas de saúde pública advindas da destinação inadequada de efluentes domésticos. Sua confecção é relativamente simples e barata, podendo ser produzida pela própria mão-de-obra local, dessa forma, indicada às comunidades rurais (ABNT, 1997).

2.4.3 Wetlands

De acordo com Tiner (1999), wetland é um termo comum utilizado para definir um ecossistema de habitats úmidos, que são conhecidos como, banhados, pântanos, brejos, zonas alagadiças, charcos, manguezais e áreas idênticas, estando sujeitos a inundações periódicas ou permanentes, que tem um solo saturado para o estabelecimento de plantas macrófilas e o desenvolvimento de solos hidromórficos, ou seja, solos que ficam permanentemente ou periodicamente saturados por água.

Esses sistemas apresentam eficiência comprovada, no que diz respeito a tratamento de águas residuárias, como as Wetlands Construídas (WC) que se enquadram bem nos requisitos de baixo custo, fácil operação e manutenção, quando comparados com os sistemas convencionais, apresentando um grande potencial de aplicação para países em desenvolvimento, particularmente para pequenas comunidades rurais (KIVAISI, 2001).

Segundo Anjos (2003), as Wetlands Construídas são ecossistemas artificiais que reproduzem as características de Wetlands Naturais (WN), utilizando plantas aquáticas (macrófitas), e substratos como brita, areia, ou outro material inerte. Este

sistema é o tipo de tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes e são construídas de forma específica, com o objetivo de tratar efluentes, combinando processos químicos, físicos e biológicos, podendo ser utilizada, como pré-tratamento de águas para diversas finalidades e de acordo com Kaseva (2004) como pós-tratamento de águas residuárias pré-tratadas em reatores Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB.

Tundisi et al. (2002) constataram que o uso de áreas alagadas para remoção de matéria orgânica, nutrientes e sólidos suspensos de águas residuárias de pequenas comunidades é instigante. Em adição, Santiago et al. (2005) ressaltam que esta técnica é vantajosa no sentido de oferecer flexibilidade quanto à escolha do local de implantação, definição das variáveis hidráulicas e é mais fácil o manejo da vegetação. O mesmo autor constatou ainda que objetivando obter maior eficiência de remoção de matéria orgânica e de nutrientes é imprescindível obedecer às técnicas construtivas.

Van Kaick (2002) salienta que, as plantas que constituem a zona de raízes devem ser plantadas sobre um filtro físico estruturado por uma camada de brita nº 2, de 50 cm de profundidade, e sobre a rede de distribuição do efluente bruto. Logo abaixo da camada de brita encontra-se outra camada, que é constituída de areia com granulometria de média para grossa de 40 cm de profundidade. No fundo ficam as tubulações de coleta do efluente tratado.

Alguns casos de reúso de água através do tratamento de águas residuárias usando wetlands podem ser destacados, como o uso da planta *E. crassipes*, conhecida como jacintos de água, testada em WCs sob condições de região semiárida, para purificação de águas residuárias domésticas para reúso em Marrocos (MANDI et al., 1998). Nessa wetland foi obtida uma boa redução da carga orgânica (DQO, 78%, TSS, 90%) e uma carga parasitária (ovos de helmintos, 100%) com um tempo de retenção de 7 dias. O efluente satisfaz as condições de reúso da WHO (1989) para irrigar as culturas de cereais, forrageiras, pastagens e árvores. No entanto, o sistema sofreu perda de evapotranspiração de até 60% durante o verão, bem como a proliferação de mosquitos.

No caso do Brasil, há excelentes condições climáticas e ambientais para a implantação deste tipo de sistema, além de apresentar uma enorme carência de tratamento de águas residuárias, especialmente nos pequenos e médios municípios (VALENTIM, 2003). Nesta perspectiva, Sousa et al., (2003) disseram que,

especificamente no Nordeste do Brasil, em decorrência de ser uma região onde a irradiação solar é constante durante quase todo o ano, condição que favorece o processo fotossintético das macrófitas, a utilização de sistemas wetland pode ser uma tecnologia viável, sendo capaz de proporcionar o reúso de água na agricultura sem riscos sanitários.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local escolhido para coleta de água cinza

Os procedimentos metodológicos se iniciaram com a definição do local, da frequência e dos horários de coleta da água cinza. Quanto ao local, foi escolhido a lanchonete da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) no Campus do Sertão em Delmiro Gouveia. A água cinza coletada para o estudo era proveniente da pia de cozinha, como na Figura 5, visto que era o ponto onde possibilitou a captação exclusiva de água cinza produzida.

Este ponto de captação permitiu também aliar logística experimental, uma vez que a lanchonete é o local mais próximo do Laboratório de Saneamento do Campus do Sertão, com a possibilidade da variação dos parâmetros físico-químicos da água cinza, já que a pia de cozinha apresenta diversos usos diferentemente dos outros possíveis pontos.

Figura 5 – Local escolhido para coleta de água cinza.



Fonte: A Autora (2017)

No que diz respeito a frequência das coletas, foi determinado que seria feito apenas uma coleta diária. No tocante aos horários de coleta, optou-se por fazê-las no período vespertino, de grande movimento e caracterizando-se como ponto crítico de geração de efluentes.

A água residuária coletada diariamente era levada para o Laboratório de Saneamento, onde ocorreu o experimento. Com o efluente no laboratório, o processo de tratamento foi iniciado através da sua inserção no sistema de tratamento de água cinza.

3.2 Sistema de Tratamento

O sistema de tratamento teve a função de reduzir os valores dos parâmetros físicos-químicos e biológicos da água cinza coletada, sendo composto pelos seguintes elementos: reservatório, bomba hidráulica, tubulação e filtro biológico.

O Reservatório do sistema recebeu o afluente coletado e o armazenou para posteriormente ser succionado pela bomba hidráulica peristáltica tipo pulso, passando pelas tubulações de sucção e recalque, e direcionado ao filtro biológico para tratamento. Este reservatório permitiu atender as condições de autonomia de operação do sistema em até 2 dias, contando com um volume total de 54 L, constituído de material plástico, inerte, com tampa para evitar a evaporação, surgimento de algas e proliferação de insetos. As características geométricas podem ser vistas na Figura 6.

Figura 6 – Reservatório de alimentação do sistema.



Fonte: A Autora (2017)

Para o afluente chegar até a entrada do filtro biológico, o sistema contou com uma bomba hidráulica peristáltica do tipo pulso que succionava o afluente do reservatório e o encaminhava, através de mangueiras plásticas, como pode ser verificado na Figura 7.

Figura 7 – Bomba hidráulica instalada no sistema.



Fonte: A Autora (2017)

A bomba dosadora utilizada foi fabricada pela empresa Exatta Bombas, do tipo pulso de modelo Ex-I e a vazão permitida podia variar entre 0,1 a 20 L/hora, sendo que a vazão de trabalho usada foi de 0,525 L/hora, representando 12,6 L/dia.

Para conduzir o líquido foi utilizada tubulação feita de mangueira plástica. A tubulação de sucção tinha em sua extremidade de captação um dispositivo para filtrar a água residuária que seria sucçãoada, buscando reduzir os problemas associados a sedimentação de partículas na tubulação e conseqüentemente o seu entupimento, chamado filtro de sucção e posicionado dentro do reservatório, ilustrado na Figura 8, a outra extremidade segue conectada a entrada da bomba.

Figura 8 – Filtro de sucção posicionado no interior de reservatório.



Fonte: A Autora (2017)

Após a saída da bomba o sistema contou com a tubulação de recalque que direcionava o fluxo até uma garrafa plástica de retenção, cujo objetivo era manter a vazão constante do sistema, sendo controlada pela queda livre do fluido, através da gravidade, não sofrendo assim interferência do pulso magnético emitido pela bomba hidráulica, que por sua vez conduzia até o filtro biológico. O esquema com a tubulação de mangueira plástica pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Tubulação de mangueiras plásticas usadas (a) na sucção e (b) no recalque.



(a)

(b)

Fonte: A Autora (2017)

Dessa forma, o filtro biológico mostrado na Figura 10 recebia a contribuição afluyente. Este filtro operou em fluxo descendente e regime permanente realizando o tratamento anaeróbio, onde o líquido a ser tratado percolou através de camadas de material filtrante, as quais realizam a remediação do afluyente.

Salienta-se, no entanto, que este protótipo não contava com o auxílio de um sistema de tratamento primário, ocasionando que o afluyente aplicado ao filtro seja esgoto *in natura*, sem tratamento anterior algum, apenas com filtração prévia promovida pelo filtro de sucção.

Figura 10 – Filtro biológico usado para tratamento da água cinza.



Fonte: A Autora (2017)

Antes de ter contato com a primeira camada, o afluente passa pela tubulação de distribuição que tem como função distribuir uniformemente o afluente sobre a primeira camada que compõe o filtro, esta tubulação de distribuição pode ser vista na Figura 11.

Figura 11 – Sistema de distribuição usado para aplicar uniformemente o efluente.



Fonte: A Autora (2017)

O filtro biológico foi construído em escala laboratorial em um recipiente com 30 cm de diâmetro e 31cm de altura, o mesmo era feito de material plástico e inerte, como na Figura 12. Mais informações sobre os detalhes construtivos do filtro biológicos estão reunidas na Tabela 5.

Figura 12 – Recipiente de material plástico usado para montagem do filtro biológico.



Fonte: A Autora (2017)

Tabela 5 - Detalhes construtivos do filtro biológico.

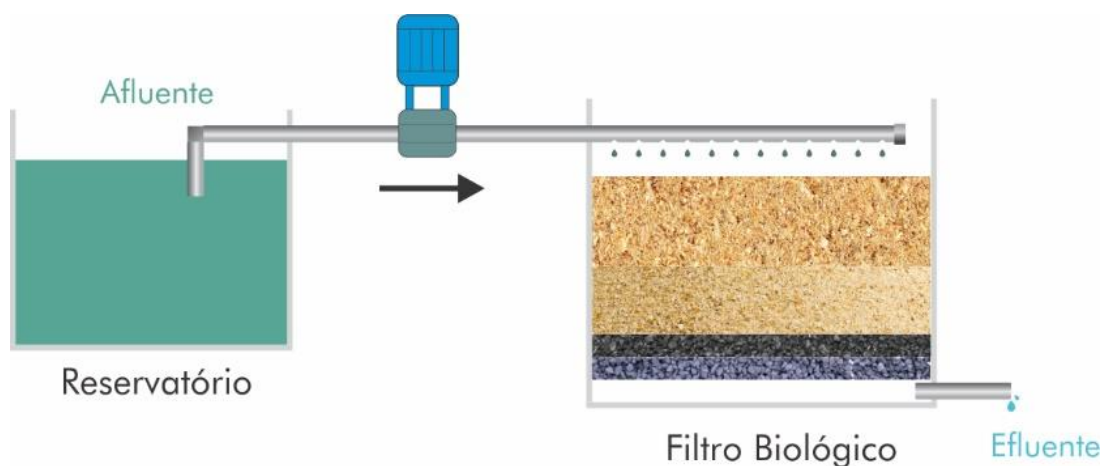
Altura Total	0,31m
Diâmetro	0,30m
Área Superficial	0,070m ²
Profundidade do Enchimento	0,18m
Volume do Enchimento	0,0126m ³
Vazão de Trabalho	0,0126 m ³ /dia
Taxa de Aplicação Hidráulica	0,178 m ³ /m ² dia

Fonte: A Autora (2017)

De acordo com a Tabela 5, a taxa de aplicação hidráulica atende a recomendação de DOMBROSKI et al. (2013), cuja recomendação é para valores menores que 0,187 m³/m²dia.

Em adição, o esquema ilustrativo do funcionamento do sistema de tratamento se encontra na Figura 13.

Figura 13 – Esquema ilustrativo do funcionamento do sistema de tratamento.

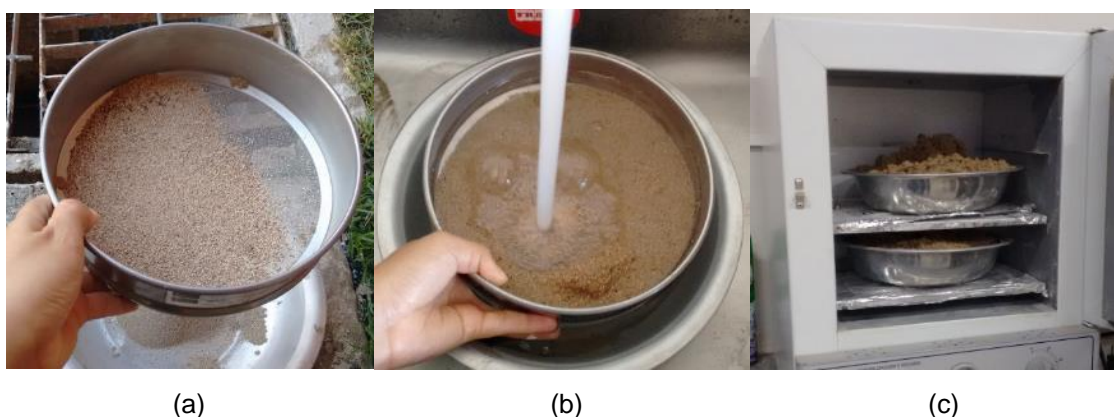


Fonte: A Autora (2017)

3.3 Material Suporte

O filtro biológico contava com 4 camadas de material filtrante, das quais seguindo o fluxo descendente, a primeira camada era composta por pó de serragem com altura de 8 cm, a segunda camada era de areia com diâmetro efetivo na faixa de 0,25 mm a 1,2 mm, como recomenda a NBR 13969 (ABNT, 1997) e espessura de 6 cm, destacando que para obter a granulometria dentro do intervalo supracitado a areia foi peneirada com o conjunto de peneiras adequado, após isso, a areia foi lavada para retirar os possíveis resíduos de matéria orgânica e submetida a secagem na estufa por um período de 24 horas, cujo registro do procedimento consta na Figura 14.

Figura 14 – Processo de peneiramento, lavagem e secagem da areia a ser usada no filtro.

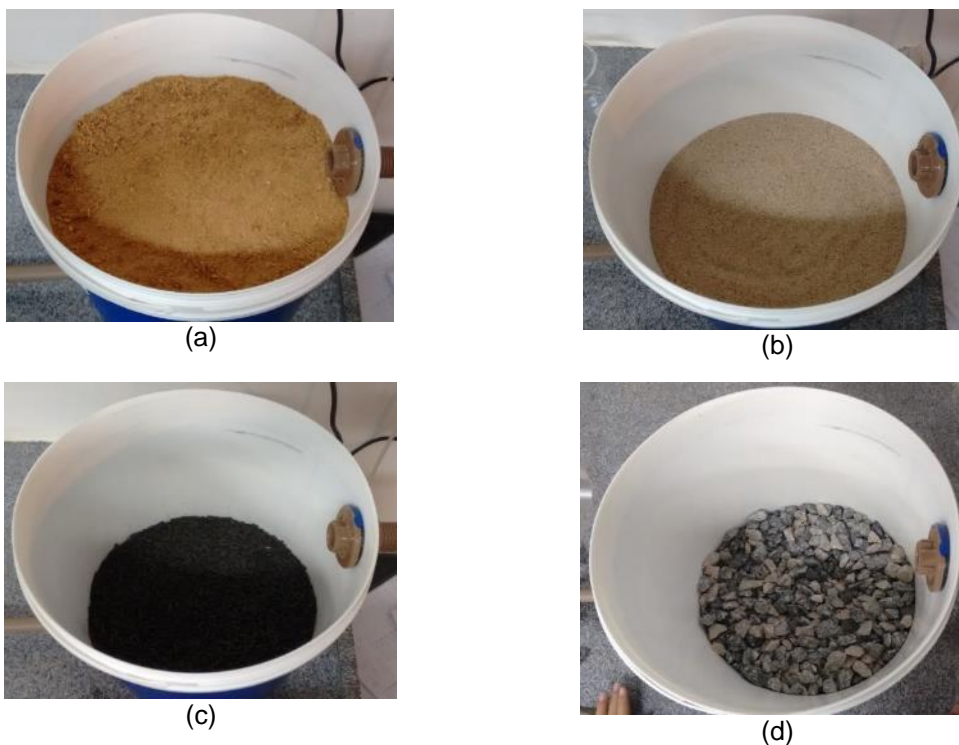


Fonte: A Autora (2017)

A terceira camada foi de carvão ativado com espessura de 2 cm, por fim, a última camada de pedra britada com 2 cm de altura também foi submetida a lavagem

e secagem. Logo abaixo pode ser visualizado na Figura 15 o material empregado na montagem das camadas.

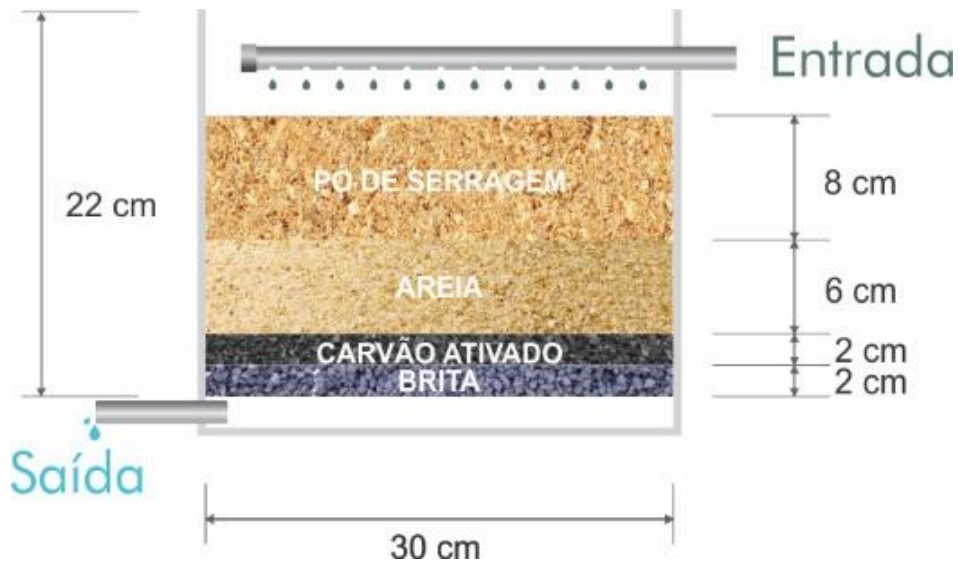
Figura 15 – Procedimento de montagem das camadas filtrantes do filtro biológico (a) Camada de pó de serragem; (b) Camada de areia; (c) Camada de carvão ativado; (d) Camada de brita.



Fonte: A Autora (2017)

Os detalhes sobre a disposição de cada camada sobre o filtro se encontram na Figura 16.

Figura 16 – Esquema ilustrativo do filtro biológico.



Fonte: A Autora (2017)

3.4 Inoculação

O lodo utilizado para inóculo foi proveniente da fossa séptica localizada no próprio Campus da UFAL a qual também alimentava um reator que se encontrava operante no mesmo laboratório onde ocorria o ensaio. Assim, foi coletado 20L desse lodo para inserir no filtro biológico e de maneira fracionada foram inseridas quantidades permitindo a infiltração total do lodo no material filtrante. A Figura 17 ilustra a inoculação sendo realizada.

Figura 17 – (a) Lodo coletado para (b) inserção no filtro biológico em frações.



(a)

(b)

Fonte: A Autora (2017)

A partir dos procedimentos descritos anteriormente foram realizadas coletas de amostra do afluente e efluente do sistema de tratamento. Assim, para cada amostra foram obtidos os valores dos parâmetros de DQO e Coliformes Fecais, essas análises laboratoriais foram feitas de acordo com a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 6 – Parâmetros e metodologia usada para avalia-los.

Parâmetro	Metodologia	Unidade	Frequência
DQO	Espectrofotometria	mg/L	2x por semana
Coliformes	Petrifilm	UFC/mL	2x por semana

Fonte: A Autora (2017)

Com o intuito de monitorar o funcionamento do filtro em termos de parâmetros de qualidade, foram realizadas coletas de amostra do afluente e do efluente durante o período de operação do sistema de tratamento que iniciou dia 04/04/2017 e finalizou dia 18/05/2017 totalizando 45 dias consecutivos de operação. Cabe salientar que destes 45 dias, os primeiros 15 se deram antes do procedimento de inoculação do sistema e os 30 dias seguintes após a inoculação. Na Tabela 7 é possível ver o histórico de coletas realizadas.

Tabela 7 - Histórico das coletas realizadas para posterior análise laboratorial.

Número da coleta	Data da coleta da amostra
1	04.04.2017
2	11.04.2017
3	13.04.2017
4	18.04.2017
5	25.04.2017
6	27.04.2017
7	02.05.2017
8	04.05.2017
9	09.05.2017
10	11.05.2017
11	16.05.2017
12	18.05.2017

Fonte: A Autora (2017)

Tendo em vista o histórico das coletas realizadas, destaca-se que no dia 20.04.2017 foi realizada a inoculação do sistema, assim sendo a partir da 5ª amostra o sistema estava inoculado. Dessa forma, será analisado o comportamento do sistema em dois momentos, sendo estes, antes e depois da inoculação.

Nesse sentido, a avaliação da viabilidade para aplicação da água de reúso em algumas atividades será feita tendo em vista algumas recomendações normativas.

As amostras coletadas foram congeladas e levadas para análise no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL-Campus A. C. Simões no qual foram determinadas as concentrações dos parâmetros de DQO e Coliformes Fecais.

3.5 Relação DQO/ DBO

De acordo com Morel e Diener (2006), a relação DQO/DBO da água cinza coletada em países em desenvolvimento se encontra na faixa de 1,6 – 2,9. Em um estudo desenvolvido por Pansonato (2010) foi encontrado uma relação DQO/DBO nas amostras de água cinza para pia de cozinha dentro do intervalo acima, sendo este de 1,8. Assim, neste trabalho será adotado a relação DQO/DBO de 1,8 para estimar o parâmetro de DBO.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.1 Desempenho do filtro antes da inoculação

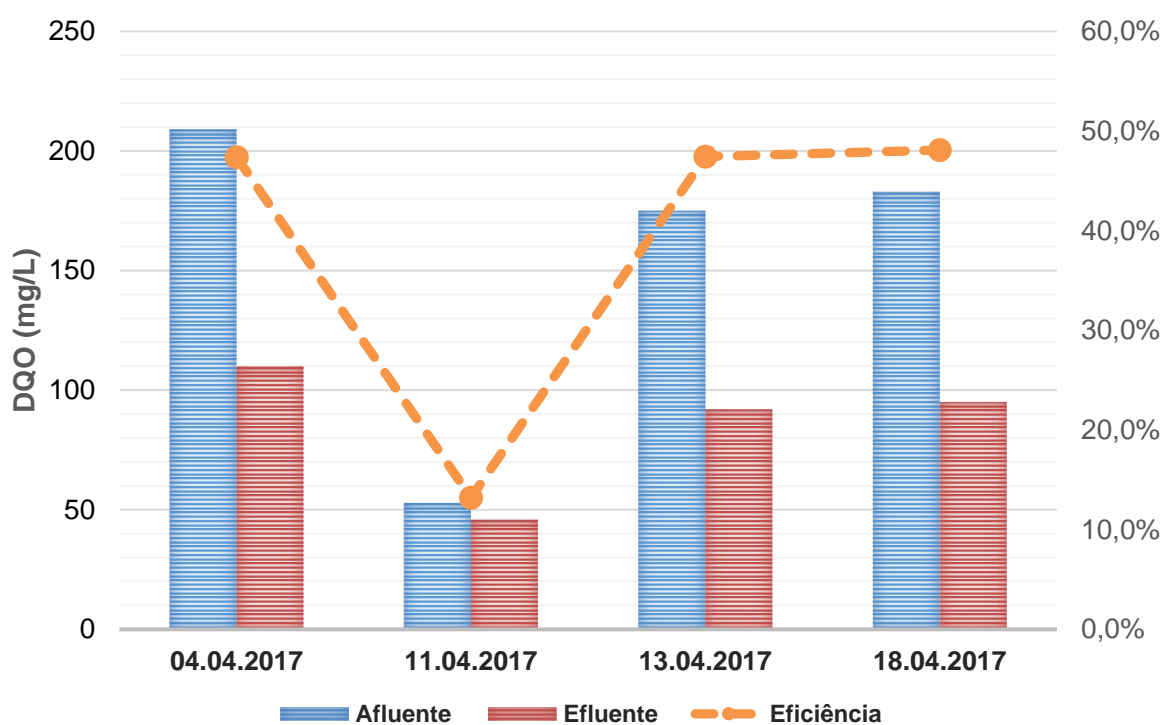
A partir dos dados coletados foram geradas tabelas e gráficos, os quais apresentam os valores para os parâmetros citados anteriormente, Assim, a Tabela 8 e o Gráfico 1 apresentam esses valores para as amostras coletadas antes da inoculação.

Tabela 8 - Resultados experimentais obtidos para amostras coletadas antes da inoculação.

Número da coleta	Data da coleta da amostra	DQO (mg/L)			Coliformes Fecais (NMP/100mL)		
		Afluente	Efluente	Eficiência	Afluente	Efluente	Eficiência
1	04.04.2017	209	110	47,4%	0	0	-
2	11.04.2017	53	46	13,2%	4237	183	95,7%
3	13.04.2017	175	92	47,4%	0	0	-
4	18.04.2017	183	95	48,1%	0	0	-
		Eficiência Média		39,0%	Eficiência Média		95,7%
		Desvio Padrão		17,2%	Desvio Padrão		-

Fonte: A Autora (2017)

Gráfico 1 - Concentração de DQO nas coletas realizadas antes da inoculação.



Fonte: A Autora (2017)

Verifica-se que o sistema apresentou uma eficiência média de 39% para remoção da DQO e variação de 17,2% quanto a esse parâmetro no período anterior à inoculação, ressaltando que a eficiência teve um valor mais elevado na 4ª coleta, chegando a 48,1%. Também foi encontrado um valor abaixo da eficiência média, na 2ª coleta a qual indicou uma eficiência muito baixa com valor de 13,2%.

Pelo Gráfico 1 nota-se que foram realizadas somente 4 coletas, compreendendo apenas 14 dias de operação do filtro biológico, durante esse período 3 coletas indicaram uma eficiência próxima a 50% e uma com eficiência muito baixa. Por conta do curto período de análise e da alta variação dos parâmetros, pode-se dizer que esse período não é representativo quanto ao comportamento do filtro biológico.

Espera-se que uma colônia de microrganismos cresça junto com o tempo de exposição do biofilme ao esgoto percolado, o que não aconteceu nesta primeira análise do experimento, já que houve somente 14 dias, assim, a eficiência média ser baixa se justifica pelo pouco tempo de operação do sistema.

4.2 Desempenho do filtro depois da inoculação

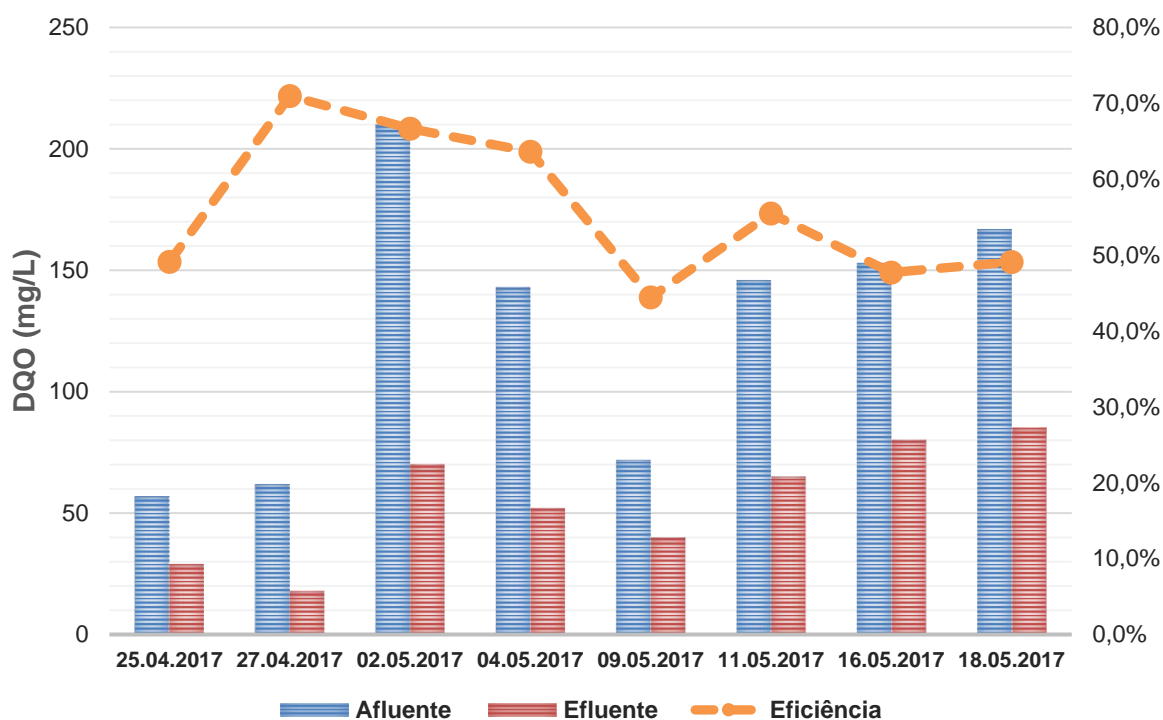
A Tabela 9 e Gráfico 2 veem representar os valores para os mesmos parâmetros, sendo que estes obtidos depois da inoculação, ou seja a partir da 5ª amostra.

Tabela 9 - Resultados experimentais obtidos para amostras coletadas depois da inoculação.

Número da coleta	Data da coleta da amostra	DQO (mg/L)			Coliformes Fecais (NMP/100mL)				
		Afluente	Efluente	Eficiência	Afluente	Efluente	Eficiência		
5	25.04.2017	57	29	49,1%	3357	152	95,5%		
6	27.04.2017	62	18	71,0%	2584	120	95,4%		
7	02.05.2017	210	70	66,7%	0	0	-		
8	04.05.2017	143	52	63,6%	0	0	-		
9	09.05.2017	72	40	44,4%	1550	91	94,1%		
10	11.05.2017	146	65	55,5%	0	0	-		
11	16.05.2017	153	80	47,7%	0	0	-		
12	18.05.2017	167	85	49,1%	0	0	-		
				Eficiência Média	55,9%			Eficiência Média	95,0%
				Desvio Padrão	10,0%			Desvio Padrão	0,7%

Fonte: A Autora (2017)

Gráfico 2 - Concentração de DQO nas coletas realizadas depois da inoculação.



Fonte: A Autora (2017)

É possível observar que com o passar do tempo de operação do sistema, após o procedimento de inoculação, houve uma redução de DQO expressiva e consequentemente um significativo aumento da eficiência, permitindo que a 6ª, 7ª, 8ª e 10ª coleta chegassem a valores maiores que 50%, destacando a 6ª coleta com eficiência máxima do sistema de 71%, ao tempo que a 9ª coleta atingiu uma eficiência abaixo da eficiência média, de 44,4%. Notadamente, um melhor comportamento do sistema pós inoculação, como pode ser constatado neste desvio padrão, com variação de 10%.

No Gráfico 2 são visualizadas 8 coletas após a inoculação compreendendo um tempo de operação de quase 1 mês. Esses dados nos indicam que o sistema se mostra mais estável, pois a entrada afluente e saída DQO apresentam pequena variação e a eficiência se mostrou acima 50%. No que concerne à eficiência de funcionamento do sistema, embora tenha oscilado muito no decorrer do experimento, em função das condições do afluente e sua caracterização, se mostrou coerente para um filtro biológico projetado em escala de bancada para tratar água cinza, demonstrando o crescimento do biofilme no meio suporte.

Ao estimar o parâmetro de DBO, foi construída a Tabela 10.

Tabela 10 - Estimativa de DBO em função de DQO, utilizando a relação de 1,8.

Data da coleta da amostra	DQO (mg/L)		DBO (mg/L)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
04.04.2017	209	110	116	61
11.04.2017	53	46	29	26
13.04.2017	175	92	97	51
18.04.2017	183	95	102	53
25.04.2017	57	29	32	16
27.04.2017	62	18	34	10
02.05.2017	210	70	117	39
04.05.2017	143	52	79	29
09.05.2017	72	40	40	22
11.05.2017	146	65	81	36
16.05.2017	153	80	85	44
18.05.2017	167	85	93	47

DQO Média	55	DBO Média	30
Desvio Padrão	24	Desvio Padrão	13

Fonte: A Autora (2017)

Na Tabela 10, destaca-se que os valores referentes a média da DQO e DBO, bem como os respectivos desvios padrão se referem ao período após a inoculação, cujos dados representam de forma mais fiel o comportamento do filtro biológico.

De acordo com as Tabelas 9 e 10 os valores de DQO de entrada estão entre o intervalo de 53 a 210 mg/L, os de DBO entre 29 a 117 mg/L já o E. coli de 0 a 3357 NMP/100mL. Tendo em vista a Tabela 2 que trata de características químicas e microbiológicas das águas cinzas produzidas em pia de cozinha para alguns países, é possível observar que a água residuária utilizada no sistema e produzida a partir de pia de cozinha pode ser classificada como água cinza em termos de DQO e DBO, no entanto, no que diz respeito aos valores de E. coli, esses foram maiores que os da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, entendendo que normalmente este arâmetro varia muito em decorrência das atividades desenvolvidas na pia de cozinha. Adicionalmente, cabe destacar a possibilidade de contaminação fecal nas águas cinzas em decorrência de diferentes motivos, como a limpeza das mãos após o uso do toalete e até mesmo pela lavagem de alimentos fecalmente contaminados.

Para ambos os resultados apresentados na Tabela 8 e Tabela 9, verifica-se que o parâmetro Coliformes Fecais apresentou uma ampla variabilidade, bem como a presença não foi detectado em 8 amostras de 12.

A provável explicação para esse comportamento é que em função da alta concentração de cloro, em algumas coletas, proveniente da limpeza da própria pia onde era extraído o efluente para o experimento, provocou o efeito denominado “Lavagem”, desinfectando uma quantidade de bactérias do biofilme e promovendo aumento na DQO do sistema. Outra provável hipótese para esta variação dos resultados refere-se à concepção da água cinza por não haver contribuição das fezes, exceto via contaminação.

Sabendo que costumeiramente a bactéria *E. coli* é usada como indicadora de contaminação fecal e presença de bactérias patogênicas. (ERIKSSON et al., 2002; BIRKS e HILLS, 2007). Destaca-se, que a ausência dessa bactéria não significa necessariamente que a água cinza está limpa de bactérias patogênicas, nem sua presença garante a presença de agentes patogênicos. Na verdade, descobriu-se que o uso da *E. coli* como representante para contaminação patogênica e risco às vezes produz uma avaliação excessiva de risco (GROSS et al., 2015).

Entretanto, a contagem de bactérias *E. coli* de origem fecal para avaliar a contaminação microbiana ainda é o método mais utilizado e aceitável no mundo. E a contaminação fecal existe até certo ponto em águas cinzas e pode representar um risco desnecessário (OTTOSON e STENSTRÖM, 2003). Uma vez que tenhamos a relação entre *E. coli* e a contaminação fecal grande e, desde que nenhum outro indicador seja comprovado mais eficaz, o uso de *E. coli* como organismo indicador é apropriado.

4.3 Viabilidade do Reúso de Água Cinza

A seguir é avaliada a viabilidade de reúso da água cinza proveniente da pia de cozinha tratada pelo filtro biológico para algumas atividades, comparando os parâmetros obtidos, DQO e *E. coli*, pelos experimentos laboratoriais com os valores permitidos para tal parâmetro de acordo com a atividade que será feita a aplicação da água e com a norma em comparação.

Na Tabela 11 foram resumidos os parâmetros de qualidade da água para reúso em determinadas atividades de acordo com a NBR 13969 (ABNT, 1997), FIESP

(SAUTCHUK et al., 2005) e OMS (WHO, 2006). As atividades as quais o reúso de água se aplica foram divididas em classes e os parâmetros em análise são somente DBO, DQO e E coli.

Tabela 11 - Classificação dos parâmetros de qualidade da água segundo os reúsos previstos e normas.

Classes	Uso previsto			Parâmetros de qualidade da água de reúso			
	NBR 13969 (ABNT, 1997)	FIESP (SAUTCHUK et al., 2005)	OMS (WHO, 2006)	Parâmetros	NBR 13969 (ABNT, 1997)	FIESP (SAUTCHUK et al., 2005)	OMS (WHO, 2006)
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem contato direto do usuário com a água com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes.	Descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.); lavagem de roupas e de veículos.	Irrigação restrita	E. Coli (NMP/100mL)	<200	Não Detectado	<10 ³
				DBO (mg/L)	-	≤10	-
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Lavagem de agregados; preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira.	Irrigação sem restrições de culturas consumidas cruas	E. Coli (NMP/100mL)	<500	≤1000/mL	<10 ⁵
				DBO (mg/L)	-	≤30	-
Classe 3	Reúso em descargas de bacias sanitárias	Irrigação de áreas verdes e rega de jardins.		E. Coli (NMP/100mL)	<500	≤200	-
				DBO (mg/L)	-	<20	-
Classe 4	Reúso nos pomares cereais, forragens, pastos para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou sistema de irrigação pontual.	Resfriamento de equipamentos de ar condicionado com recirculação (torres de resfriamento).		DQO (mg/L)	-	<75	-

Fonte: A Autora (2017)

Tabela 12 - Resultados dos parâmetros analisados na água cinza de pia de cozinha da cantina e os limites para reúso.

Parâmetros encontrados		NBR 13969 (ABNT, 1997)				FIESP (SAUTCHUK et al., 2005)				OMS (WHO, 2006)	
		C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2
DQO (mg/L)	55	-	-	-	-	-	-	-	AP	-	-
DBO (mg/L)	30	-	-	-	-	NA	AP	NA	-	-	-
E. Coli (NMP/100mL)	45	AP	AP	AP	-	-	AP	AP	-	AP	AP

AP = Aplicável, NA = Não Aplicável; C1, C2, C3 e C4 são as classes de reúso de 1 a 4.

Fonte: A Autora (2017)

Avaliando os resultados, da Tabela 11 e 12 acima, é possível concluir que a água cinza proveniente de pia de cozinha e tratada em filtro biológico pode ser usada,

em termos de DQO, de acordo com a classe 4 do manual de reúso da FIESP (SAUTCHUK et al., 2005), para resfriamento de equipamentos de ar condicionado com recirculação (torres de resfriamento). Quanto ao parâmetro de DBO, tendo em vista o manual citado acima, mas para classe 2, pode ser aplicada em lavagem de agregados; preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira.

Quanto ao parâmetro E. coli verifica-se que ele atende as várias atividades destinadas ao reúso de água que estão nas normas em análise. Contudo, a viabilidade quanto a DBO não pode ser notada para a classe 1 e 3 da FIESP (SAUTCHUK et al., 2005), que representa a aplicação em descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.), lavagem de roupas e de veículos; Irrigação de áreas verdes e rega de jardins, respectivamente.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Através deste trabalho verificou-se que o filtro biológico com fluxo descendente com 4 camadas de meio suporte, sendo elas pó de serragem, areia, carvão ativado e pedra britada, pode ser usado como tecnologia a ser aplicada para tratamento de águas residuárias, mais especificamente água cinza proveniente de pia de cozinha.

Tendo em vista o baixo custo e a facilidade de construção, esta tecnologia se mostra apropriada para uso em comunidades isoladas ou comunidades rurais, compondo um sistema de tratamento descentralizado, promovendo reúso de águas cinzas para fins não potáveis, permitindo o correto tratamento e disposição dos efluentes.

Após a realização do inóculo, constatou-se uma maior eficiência nos parâmetros analisados. Assim, foram encontrados os valores de redução média dos parâmetros, na DQO de $126 \text{ mg/L} \pm 56$ para $55 \text{ mg/L} \pm 24$, na DBO de $70 \text{ mg/L} \pm 31$ para $30 \text{ mg/L} \pm 13$ e E. coli de 936 NMP/100mL para 45 NMP/100mL, perfazendo uma eficiência média de remoção de 56%, 56%, 95,0%, respectivamente.

Foi possível notar a viabilidade do reúso da água cinza proveniente de pia de cozinha para algumas classes de reúso em função de normas nacionais e internacionais, como NBR 13969, FIESP e OMS, permitindo o reúso dessa água para algumas atividades, de forma a preservar os recursos hídricos naturais que seriam destinadas a essas atividades não nobres.

Dessa forma esta tecnologia se mostra uma alternativa para minimizar os efeitos associados ao aumento da demanda de água e redução da disponibilidade hídrica, bem como mitigar os problemas de saúde pública e impacto ambiental por conta do tratamento e disposição inadequados dos efluentes provenientes das várias atividades econômicas.

Como recomendações para trabalhos futuros, em busca de analisar a viabilidade desse sistema de tratamento com reúso de água e o funcionamento do filtro biológico para tratar águas cinzas utilizando o meio de suporte proposto, recomenda as seguintes modificações:

- Verificar o comportamento do filtro biológico, através de ensaios laboratoriais, para outras fontes de água cinza como chuveiro, máquina de lavar e lavatório;

- Realizar o procedimento de maneira a impor restrição ao uso de produtos à base de cloro, por conta dos danos prejudiciais à comunidade de microrganismos, quando em contato com essa substância;
- Implantar uma horta com espécies vegetais, que seria irrigada com o efluente tratado, procurando analisar possíveis problemas como a contaminação dos vegetais e do solo;
- Utilizar uma tecnologia mais robusta, que permita o tratamento de volumes maiores de água;
- Verificar a capacidade de tratamento dessa tecnologia ao aplicar um efluente que tenha passado pelo tratamento primário;
- Avaliar um número maior de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, de forma a permitir determinar a viabilidade de reúso da água cinza com maior completitude;
- Implantar a recirculação da biomassa no sistema, imaginando que uma maior eficiência de tratamento seria encontrada, pelo aumento do tempo médio de residência celular;
- Permitir um tempo de operação mais prolongado, acompanhado de um maior número de coletas para análises. Assim, a caracterização do funcionamento dessa tecnologia pode mais fidedigna quanto ao comportamento do filtro em escala maior.

REFERÊNCIAS

- ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgotos domésticos através de filtros biológicos de alta taxa: comparação experimental de meios suportes de biomassa. **Revista DAE**, Ano XLIV n. 135. p. 58-78. 1983.
- ALMEIDA, M. C.; BUTLER, D.; FRIEDLER, E. At-source domestic wastewater quality. **Urban Water**, v. 1, n. 1, p. 49-55, 1999.
- ANDERSON, J. Municipal water reuse. In: JIMENEZ, B. (Ed.); ASANO, T (Ed.). **Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. London: 2008.
- ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.
- ARAÚJO, J. C. **“Fossas Verdes” objetivam garantir sustentabilidade no sertão cearense**. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/qfossas-verdesq-objetivam-garantir-sustentabilidade-no-sertao-cearense>> Acesso em: 21 nov. 2016.
- ASANO, T. **Artificial recharge of groundwater**. Boston: Butterworth Publishers, 1985.
- ASANO, T. et al. **Water reuse: issues, technologies, and applications**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.
- ASANO, T. **Wastewater reclamation and reuse: water quality management library**. 1. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 13969: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 9648: Estudos de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, RJ, 1986.
- AYERS, R. S. et al. Water for Agriculture FAO Irrigation and Drainage paper 29. 1985.
- AZEVEDO NETTO, J. M. Cronologia do abastecimento de água (até 1970). **Revista DAE**, v. 44, n. 137, p.106-111, 1984.
- BATISTA, R. O.; SARTORI, M. A.; SOARES, A. A.; MOURA, F. N.; COSTA PAIVA, M. R. Potencial da remoção de poluentes bioquímicos em biofiltros operando com

esgoto doméstico. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.6, p. 152-164, 2011.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, ES, 2005.

BIRKS, R.; HILLS, S. Characterisation of indicator organisms and pathogens in domestic greywater for recycling. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 129, n. 1-3, p. 61-69, 2007.

BOUWER, H. **Groundwater hydrology**. New York: McGraw-Hill Book Co. 1978.

BUTLER, D.; FRIENDLER, E.; GATT, K. Characterising the quantity and quality of domestic wastewater inflows. **Water Science Technology**, v. 31, n. 7, p. 13-24, 1995.

BUTLER, R.; MACCORMICK, T. Opportunities for decentralized treatment, sewer mining, and effluent reuse. **Desalination**, v.106, n. 1-3, p. 273–283, 1996.

CAMARGO, S. A. R.; NOUR, E. A. A. Bamboo as an anaerobic medium: effect of filter column height. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 63-70, 2001.

CHANDRA, R.; PANDEY, P. K. Decoloritization of anaerobically treated distillery by charcoal adsorption method. **Indian Journal of Environmental Protection**, v. 21, p. 134-137, 2000.

COUTO, L. C. C.; FIGUEIREDO, R. F. Filtro anaeróbico com bambu para tratamento de esgotos domésticos. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL., 1992, La Habana-Cuba. **Anais...**, La Habana: AIDIS, p. 329-340, 1992.

DOMBROSKI, S. A. G.; SANTIAGO, F. S.; JALFIM, F. T.; DIAS, I. C. G. M. Eficiência de tratamento de água cinza pelo bioágua familiar. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DAS ÁGUAS,7., 2013, Recife. **Anais...** Recife, PE: FASA, 2013. p. 170-177.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H.; LEDIN, A. A characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Irrigation water requirement and water withdrawal by country. 2012. Disponível em < <http://www.fao.org/3/a-bc824e.pdf> >. Acesso em 20 set. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. Managing Water Scarcity for Water Security, Paper prepared by Winpenny, J.T. 2003. Disponível em <<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/webpub/scarcity.htm>>. Acesso em 20 set. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. Special report: drought causes extensive crop damage in the Near East raising concerns for food supply difficulties in some parts. 1999. Disponível em <
<http://www.fao.org/docrep/004/x2596e/x2596e00.HTM> >. Acesso em 20 set. 2016.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. Sistemas para destinação de águas residuais. In: FUNASA. **Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares**. 1º ed. Brasília/DF: Funasa, 2014.

GABIALTI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

GROSS, A. et al. **Greywater Reuse**. 1ed. Boca Raton – Florida: CRC Press, 2015.

HEDBERG, T. Attitudes to traditional and alternative sustainable sanitary systems. **Water Science and Technology**, v.39, n.5, p.9-16, 1999.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, SP: 2006.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, SP, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Recarga artificial de aquíferos. **Revista da Fundação de Apoio à Tecnologia - FAT**, v.33, n.1, p.25-29, 2006.

ICHINARI, T. et al. Wastewater treatment performance and sludge reduction properties of a household wastewater treatment system combined with an anaerobic sludge digestion unit. **Process Biochemistry**, v. 43, n. 7, p. 722-728, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em <
<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>>. Acesso em 20 nov. 2016.

JAMRAH, A. et al. Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 137, n. 1-3, p. 315-327, 2008.

JORDÃO, E. P. **O Tratamento de Esgotos e a crise Hídrica no Brasil**. São Paulo: ABES-SP, 2015.

KASEVA, M. E. Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pretreated wastewater - a tropical case study. **Water Research**, v. 38, n. 6, p. 681-687, 2004.

KIM, I. S.; VIGNESWARAN, S.; JANG, N. Current practices of water reuse in industry. In: JIMENEZ, B. (Ed.); ASANO, T (Ed.). **Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. London: 2008.

KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecological Engineering**, v. 16, n. 4, p. 545-560, 2001.

LAZAROVA, V.; ASANO, T. Challenges of sustainable irrigation with recycled water. In: **Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass**. Boca Raton: CRC Press, 2005.

LAZAROVA, V.; BAHRI, A. Water reuse practices for agriculture. In: JIMENEZ, B. (Ed.); ASANO, T (Ed.). **Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. London: 2008.

LENS, P.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. (Eds.). **Decentralized sanitation and reuse: concepts, systems and implementation**. London: IWA Publishing, 2001.

LIMA, J. G. O paradoxo da água. **Veja**, São Paulo: Editora Abril, ano 38, n. 1926, p. 88-92, 2005.

MANDI, L.; BOUHOURN, K.; OUZZANI, N. Application of constructed wetlands for domestic wastewater treatment in an arid climate. **Water Science and Technology**, v.38, n.1, p. 379–387, 1998.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NARS, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, v.90, n. 1, p.652- 659, 2009.

MAURER, N.; ROTHENBERGER, D.; LARSEN, T. A. Decentralized wastewater treatment technologies from a national perspective: at what cost are they competitive?. **Water Science and Technology: Water Supply**. v. 5, n. 6, p. 145-154. IWA Publishing: 2006.

MERRETT, S. **Water for Agriculture: Irrigation economics in international perspective**. 1. ed. London: Spon Press, 2002.

METCALF and EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Collection, Treatment, Disposal**. New York: McGraw-Hill, 1972.

MICHELS, C. J. System suited for small communities. **Water Environmental & Technology**, v. 7, n. 8, p. 45-48, 1996.

MOREL, A.; DIENER, S. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods**. Dübendorf – Switzerland: Sandec (Water and Sanitation in Developing Countries) at Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), 2006.

MOUSSAVI, G.; KAZEMBEIGI, F.; FARZADKIA, M. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 88, n. 1, p. 47-52, 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (NRC). **Water Reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater**. Washington, D.C.: The National Academy Press, 2012.

NATIONAL SMALL FLOWS CLEARINGHOUSE - NFSC. Sand Filters Provide Quality, Low- Maintenance Treatment. **Pipeline**, Morgantown, v. 3, p. 1-8, 1997.

NHAPI, I. A. Framework for the decentralized management of wastewater in Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.29, p. 1265-1273, 2004.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto Sanitário - Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2003.

NUVOLARI, A.; COSTA, R. H. P. G. Tratamento de efluentes. In: NUVOLARI, A. et al. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher. 2007.

NWS HEALTH. Greywater Reuse in Sewered Single Domestic Premises. NSW Department of Health, Sydney, 2000. Disponível em <<http://www.health.nsw.gov.au/environment/domesticwastewater/Documents/greywater-reuse-policy.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2017.

OLIVEIRA NETTO, A. P. et al. Biorremediação vegetal do esgoto domiciliar: o caso da fossa verde em comunidades rurais do alto sertão alagoano. **RPD- Revista Produção e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro - RJ, v. 1, n. 3, p. 103-113, 2015.

OTTERPOHL, R.; BRAUN, U.; OLDENBURG, M. Innovative technologies for Decentralized wastewater management in urban and peri-urban areas. **Water Science and Technology**, v.48, n.11-12, p. 23–32, 2003.

- OTTERPOHL, R.; GROTTKER, M.; LANGE, J. Sustainable water and waste management in urban areas. **Water Science and Technology**, v.35, n.9, p. 121–133, 1997.
- OTTOSON, J.; STENSTRÖM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. **Water Research**, v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.
- PANSONATO, N. **Tratamento e reúso integrado de água cinza utilizando wetlands construídos com plantas ornamentais e um sistema de desinfecção solar**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2010.
- PARASKEVAS, P.A., GIOKAS, D.L., LEKKAS, T.D., Wastewater management in coastal urban areas: the case of Greece. **Water Science and Technology**, v.46, n.8, p. 177–186, 2002.
- PHILIPPI, J. A. Introdução ao reúso de águas. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de águas**. São Paulo: Manole, 2003.
- ROELEVELD, K. K.; ZEEMAN, G. Anaerobic treatment in decentralized and source-separation-based sanitation concepts. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 5, n. 1, p.115-139, 2006.
- SANTIAGO, A. F.; CALIJURI M. L.; LUIS, P. G. Potencial para utilização de sistemas de wetlands no tratamento de águas residuárias: uma contribuição a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Natureza & Desenvolvimento**, v.1, n.1, p. 29-39, 2005.
- SAUTCHUK, C. et al. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.
- SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L. **Chemistry for Environmental Engineering**. 3 ed. New York: McGraw-Hill Book Co. 1978.
- SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Brasília, 2016.
- SOUSA, J. T.; 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.
- TINER, R. W. **Wetland Indicators: A guide to wetland identification, delineation, classification and mapping**. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- TODD, D. K. **Groundwater hydrology**. New York: John Wiley and Sons, 1980.

TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; GUIMARÃES, J. R.; CRUZ, L. M. O.; NAKAMURA, M. S. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, p. 11-16, 2011.

TONETTI, A.L. et al. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 287-294, 2012.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Eds.) **Águas doce do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, p. 195-225, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA.

Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater

Treatment Systems: An introduction to management tools and information for implementing EPA's Management Guidelines. 2005. USEPA: EPA No. 832-B-05-001. Disponível em: <www.epa.gov.owm/onsite>. Acesso em 20 set. 2016.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados para tratamento de esgoto: contribuição para concepção e operação**. 2003. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2003.

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.

WEISS, P. et al. Environmental systems analysis of four on-site wastewater treatment options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52,n. 10, p. 1153-1161. 2008.

WILDERER, P.A.; SCHREFF, D. Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers. **Water Science and Technology**. v.41, n.1, p.1–8, 2000.

WORLD BANK. World Development Indicators 2016. Washington, DC: World Bank. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**: Volume 4 Excreta and greywater use in agriculture. Geneva – Switzerland: WHO Press, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical report, Series No. 778. Geneva. 1989.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **The United Nations World Water Development Report 2015**: Water for a Sustainable World. Paris, France: UNESCO. 2015.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **The United Nations World Water Development Report 2003**: Water for people Water for life. Barcelona, Spain: UNESCO, 2003.