

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS**

**SISTEMA SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
Associação de Filtro Anaeróbio e *Wetlands* para Tratamento de esgotos
em localidades de baixa renda sem acesso a rede coletora**

Ana Paula Almeida Costa

Orientador: Édson Nucci

**Ouro Branco
Junho/2016**

SISTEMA SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
Associação de Filtro Anaeróbio e *Wetlands* para Tratamento de esgotos
em localidades de baixa renda sem acesso a rede coletora

Ana Paula Almeida Costa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
em cumprimento às exigências do Curso de
Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos
da Universidade Federal de São João delRei.

Orientador: Édson Nucci

Ouro Branco

Junho/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

SISTEMA SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
Associação de Filtro Anaeróbio e *Wetlands* para Tratamento de esgotos
em localidades de baixa renda sem acesso a rede coletora

Ana Paula Almeida Costa

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Édson Romano Nucci

Alessandra Costa Vilaça

Maria Rita Meyer

Ouro Branco, ____/____/____

DEDICATÓRIA

“Quando o homem compreende a sua realidade, pode levantar hipóteses para o desafio dessa realidade e procurar soluções. Assim, pode transformá-la e seu trabalho pode criar um mundo próprio, seu eu e as suas circunstâncias.”

(Paulo Freire)

Dedico esse trabalho a todos os brasileiros que com seus impostos financiaram o meu estudo desde o princípio, principalmente aqueles que como meus pais não tiveram a oportunidade de evoluir nos estudos, mas sabem o valor da educação e prezam pelo aprendizado de seus filhos. Espero com os conhecimentos adquiridos contribuir para a construção de uma sociedade mais justa, devolvendo aquilo que foi em mim investido.

Dedico também ao meu querido amigo Willer Ferreira, exemplo de cidadania, sabedoria e conhecimento, inspiração e exemplo de luta para todos os jovens que não aceitam o pré destino imposto por suas origens de nascimento.

AGRADECIMENTOS

Especialmente aos meus pais Eduardo e Neide, com todo o meu amor, obrigada por tudo. Sabemos da nossa luta, que por vezes consideramos mais difícil e sofrida do que o necessário. Bobagem nossa! Nossos caminhos bem como as nossas conquistas fazem parte dessa passagem. Então aqui estamos com mais esta nossa vitória, que certamente colheremos os frutos.

Aos meus irmãos Bruno e Juliana, em especial a minha querida irmã que segue ao meu lado. Obrigada por dividirmos nossos sonhos e lutas.

A minha querida Tia Maria, generosa mãe de todos, por todas as ajudas em todos esses anos.

Ao meu amado companheiro Gabriel, seguimos juntos e felizes: na ciência, na arte, na educação, na política, nas inseguranças e certezas e principalmente no amor. Obrigada pelo apoio, paciência, compreensão, e força que me completa.

Ao meu querido orientador, Édson Nucci pelo seu empenho como coordenador e professor, pelos conselhos, pelo carisma, pela compreensão e respeito ao próximo, pela generosidade e por toda a sua grandeza humana. Sempre me lembrarei de você com todo o carinho, querido amigo mestre.

A professora Alessandra, pelo seu carisma, leveza e por sua maravilhosa compreensão da engenheira.

Ao professor Antônio Helvécio Tótola, pela oportunidade de iniciação científica e por todo conhecimento adquirido.

A professora Isabel Braga, por suas maravilhosas aulas que despertaram o meu interesse no tema.

Ao professor Juliano Bicas por todas as disciplinas que tive o prazer imenso de cursar, lecionadas por esse mestre.

Ao professor Jackson e a professora Eliane, que gentilmente possibilitaram as análises do presente trabalho.

Aos alunos Gabriel Oliveira e Vítor Condé, pelo auxílio nas análises.

A todos os amigos, que tive o imenso prazer de conhecer, conviver, ensinar e aprender. Todas as vidas compartilhadas, que tornaram essa jornada mais divertida e leve. E toda a sabedoria que me proporcionaram, tão importante quanto o conhecimento de minha graduação.

A Toda Comunidade Acadêmica, que fizeram de Meninas do Bolo um sucesso que auxiliou a minha permanência no CAP por todos esses anos.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma alternativa para o tratamento de esgoto doméstico de residências de ocupação irregulares como favelas, tendo como base: simplicidade de implantação e operação, bem como baixo custo. Para tanto foi realizado o estudo de um filtro biológico anaeróbio em escala laboratorial, construído a partir de materiais descartáveis e de baixo custo, como tecnologia de tratamento de esgoto bruto, utilizando dois diferentes meios suporte (tampas de embalagem longa vida e anéis de bambu). Os resultados foram analisados em função da concentração de matéria orgânica dos efluentes tratados em relação ao esgoto bruto, pelos parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV), segundo suas concentrações médias finais. A possibilidade de uso do filtro de bambu foi rejeitada uma vez que houve aumento da concentração de matéria orgânica em virtude da degradação do meio, já o filtro de tampas apresentou ótima eficiência na redução da matéria orgânica, com redução de cerca 70% de DQO e 60% de SSV. Para a aplicação prática do filtro de tampas, foi realizado o dimensionamento em escala real para e apresentado como alternativa para a destinação dos efluentes dos filtros o sistema de *wetlands*.

Palavra-chave: Filtro anaeróbio, esgoto bruto, tampas de embalagem longa vida, *wetlands*.

ABREVIATURAS E SIGLAS

CH₄ - Metano

CO₂ - Gás Carbônico

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CV- Carga Orgânica Volumétrica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

DSAE - Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto

EEEB - Estação Elevatória de Esgoto Bruto

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de MG

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FBP - Filtro Biológico Percolador

K₂Cr₂O₇ - Dicromato de Potássio

KMnO₄ - Permanganato de Potássio

H₂S - Ácido Sulfídrico

HCL - Ácido clorídrico

HF Ácido Fluorídrico

NBR - Norma Brasileira

N - Nitrogênio

NO₃ - Nitrato

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PET - Polietileno

pH - potencial Hidrogeniônico

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PVC - Poli-cloreto de Vinila

SISCOTE - Sistema Compacto de Tratamento de Esgoto

SNIS - Sistema Nacional De Informações de Saneamento

STF – Sólidos Totais Fixos

SFV – Sólidos Totais Voláteis

TAS - Taxa de Aplicação Superficial

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica

TEvap - Tanque de Evapotranspiração

UASB - Up-flow Anaerobic Sludge Blank - *Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 - Objetivo Geral	3
2.2 - Objetivos Específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 - Esgotamento Sanitário.....	4
3.1.1 - Esgotamento Sanitário Coletivo ou Sistema Dinâmico.....	4
3.1.2 - Esgotamento Sanitário Estático ou Individual.....	6
3.1.2.1 - Fossas rudimentares	7
3.1.2.2 - Lançamento direto no solo	8
3.1.2.3 - Lançamento em cursos d'água.....	8
3.1.2.4 - Fossa Séptica.....	9
3.1.2.5 - Fossa séptica Biodigestora.....	9
3.1.2.6 - Tanque de Evapotranspiração.....	10
3.2 - Sistemas de Esgotamento no Brasil.....	11
3.3 - Algumas operações no processo de tratamento de Esgotos.....	12
3.3.1 - Wetlands	15
3.3.2 - Filtros Biológicos.....	17
3.3.2.1 - Filtros Biológicos Percoladores - FBP	17
3.3.2.2 - Biofiltros Aerados Submersos.....	18
3.3.2.3 - Filtro Anaeróbio	18
3.3.2.4 - Reatores híbridos.....	19
3.3.3 - Meio Suporte.....	20
3.3.3.1 - Tampinhas de embalagem longa vida	21
3.3.3.2 - Anéis de Bambu.....	22
3.4 – Parâmetros de Qualidade dos Efluentes.....	22
3.4.1 – Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	23
3.4.2 – Sólidos.....	23
4. METODOLOGIA.....	25
4.1 - Confecção do Filtro	25
4.1.1 - Meio Suporte anéis de bambu.....	25
4.1.2 - Meio Suporte de Tampas de PEAD	26
4.1.3 - Filtro.....	26
4.2 - Crescimento do Biofilme.....	27
4.3 - Operação do filtro.....	27
4.4 - Análises.....	28
5. RESULTADOS e DISCUSSÕES.....	30

5.1 - Características do Filtro.....	30
5.1.1 - Suporte Bambu.....	30
5.1.2 - Suporte Tampas de PEAD	30
5.1.3 - Desenvolvimento do biofilme.....	31
5.1.4 - Eficiência e Dimensionamento do Filtro	32
5.2 - Análises dos efluentes	32
5.2.1 - pH.....	32
5.2.2 - DQO.....	33
5.2.3 Sólidos Totais.....	34
5.3 - Dimensionamento em escala real	35
5.3.1 - Possibilidades de uso	36
6. CONCLUSÃO.....	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXO A.....	44
ANEXO B.....	46
ANEXO C.....	47

1. INTRODUÇÃO

Embora o Brasil figure entre as dez maiores economias do mundo, metade de sua população não tem acesso à rede coletora de esgoto, considerando apenas a população urbana cerca de quarenta e três por cento dos habitantes não possui coleta de esgotos (DSAE, 2014).

A gestão dos efluentes no Brasil reflete a sua desigualdade, enquanto parte da população experimenta ações corretivas que implicam na coleta e tratamento parcial do esgoto, a outra metade da população ainda está na fase pré-higienista convivendo em contato com seu próprio rejeito (TUCCI 2008).

Em regiões rurais não atendidas pela rede de coleta de esgoto a solução de esgotamento individual mais utilizada é a fossa rudimentar, solução inadequada pelo risco de contaminação de solos e águas. Embora os centros urbanos sejam a prioridade das obras de saneamento dos Planos Nacionais de Saneamento, ainda existe uma boa parcela dessa população desprovida do acesso a rede de coleta, geralmente comunidades de ocupações irregulares como favelas. Nestas localidades geralmente o esgoto corre em valas a céu aberto, pois diferente das localidades rurais não há espaço para a construção de fossas. O esgoto a céu aberto vitima a população com doenças de rota fecal-oral, além das geradas pelo aumento de pragas. Essas populações não possuem recursos técnicos e ou financeiros que as possibilite solucionar os seus problemas sanitários (DSAE, 2014).

O foco do presente trabalho é o desenvolvimento de tecnologia capaz de superar as limitações técnicas e financeiras apresentando aos moradores de comunidades urbanas desprovidas de saneamento, uma alternativa viável e independente para a destinação do seu esgoto.

Para tanto foi projetado e construído um sistema anaeróbio de tratamento de efluentes em escala laboratorial a partir de materiais descartáveis e de baixo custo. Foi proposto um dimensionamento em escala real, bem como uma alternativa para os efluentes gerados pelo filtro, seguindo ainda a linha de simplicidade operacional e baixo custo.

O sistema em escala laboratorial visa testar dois filtros anaeróbios construídos com garrafas PET, com dois diferentes suportes: Tampas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), obtidos de embalagem de leite longa vida e outro com anéis de

bambu. Foi escolhido o sistema de filtro anaeróbio por aliar eficiência com facilidade de operação.

Os sistemas anaeróbios são de simples operação, pois não necessitam de sistema de aeração e embora o filtro aeróbio percolador também dispense sistema de aeração este é mais complexo de ser operado que os filtros anaeróbios, pois necessita de um sistema de dispersão constante de efluentes, bem como um sistema de drenagem.

O filtro anaeróbio proposto foi construído e testado em relação aos Sólidos Totais Fixos (STF) e Voláteis (STV) e quanto a Demanda Química de Oxigênio (DQO), foi também extrapolado para a escala real de uso individual, de modo que sua construção e operação possam ser efetuadas pelos próprios moradores das comunidades. Como alternativa para o efluente do uso dos filtros em escala real foi proposto a construção do sistema de *Wetlands*.

O trabalho em questão visa solucionar o problema do esgoto de comunidades como favelas, com a implantação de um sistema simples, eficiente e de baixo custo de implantação, de modo que os moradores sejam capazes de compreender e praticar a tecnologia. Além de solucionar os problemas sanitários, a implantação do sistema preconiza a independência dos moradores como agentes ativos na melhoria do espaço em que ocupam.

2. OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

Propor um sistema simplificado e de baixo custo para o tratamento de efluentes domésticos, que possa ser instalado e operado por moradores de comunidades carentes, que não possuem coleta de esgoto. Gerando melhoria da qualidade de vida dessas populações e reduzindo o impacto ambiental dos rejeitos gerados.

2.2 - Objetivos Específicos

Avaliar o desempenho de um filtro anaeróbio em escala laboratorial, construído com materiais descartáveis ou de baixo custo, utilizando dois diferentes meios suporte: Anéis de bambu e tampas plásticas de embalagem longa vida.

Dimensionar em escala real, seguindo a linha de utilização de materiais descartáveis ou de baixo custo e propor como alternativa para o tratamento subsequente do efluente o sistema de *wetlands*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Esgotamento Sanitário

Existem basicamente dois tipos de esgotamento sanitário: o individual, onde há uma destinação local para o efluente e o sistema coletivo no qual o esgoto é canalizado e afastado da área de origem até a destinação final (VON SPERLING, 2009).

3.1.1 - Esgotamento Sanitário Coletivo ou Sistema Dinâmico

São indicados para locais com elevada densidade populacional, como no meio urbano. O esgoto é canalizado e transportado ao destino final. A rede de esgoto pode ser em sistema unitário ou combinado, onde os esgotos e as águas pluviais são conduzidos na mesma canalização exigindo tubulações de diâmetro bem elevado. Outra alternativa é a rede de sistema separador, onde esgotos sanitários e águas pluviais são conduzidos em canalização separada (VON SPERLING, 2009).

Segundo o Módulo de Licenciamento de ETEs do Ministério do Meio Ambiente (2009), o esgoto escoar dentro das tubulações implantadas nas vias públicas em profundidades e declividades que permitam encaminhá-lo por gravidade para as partes mais baixas de uma sub-bacia. Como demonstrado na Figura 3.1, o Sistema de Esgotamento Sanitário é composto pelas seguintes partes principais:

- *Rede Coletora*: conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir o esgoto. O sistema de esgoto predial se liga diretamente à rede coletora por uma tubulação chamada coletor predial ou ramal. Os ramais, por sua vez, são ligados ao coletor tronco, que é o coletor principal de uma bacia de drenagem. O Interceptor é a canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas.
- *A Estação Elevatória de Esgoto Bruto - EEEB*: Conjunto de instalações destinadas a transferir o esgoto de uma cota mais baixa para outra mais alta. O Emissário é a canalização destinada a conduzir o esgoto a uma Estação de Tratamento de Esgoto, sem receber contribuições em marcha.
- *Estação de Tratamento de Esgoto - ETE*: conjunto de instalações destinadas ao tratamento do esgoto antes de seu lançamento no corpo receptor, que é corpo de água onde é lançado o esgoto tratado.

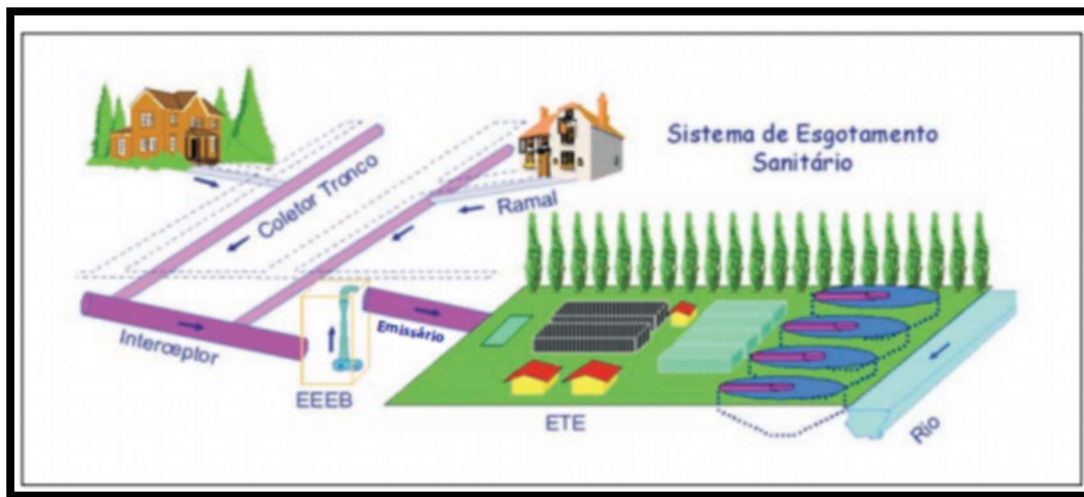


Figura 3.1. Esquema representado as principais partes do Sistema de Esgotamento Sanitário. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Segundo Von Sperling (2009), na ETE, o processo consiste em separar a parte líquida da parte sólida e tratar cada uma delas, reduzindo ao máximo a carga poluidora, para que estas possam ser dispostas no meio ambiente sem prejudicá-lo. Como esquematizado na Figura 3.2, o sistema de tratamento nas ETEs é basicamente dividido em:

- *Tratamento Preliminar:* são retirados dos esgotos os sólidos grosseiros (por meio de grades manuais ou mecanizadas) e a areia, (por meio de desarenadores).
- *Tratamento Primário:* reduz parte significativa da matéria orgânica presente nos esgotos pela remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, principalmente óleos e graxas. Os sólidos sedimentáveis depositam-se no fundo dos decantadores, formando o lodo primário bruto. Esse lodo é retirado do fundo do decantador, por meio de raspadores mecanizados, tubulações ou bombas, e pode ser encaminhado para digestores anaeróbios.
- *Tratamento Secundário:* é o processo que remove a matéria orgânica e os sólidos dissolvidos na massa líquida dos esgotos. Ocorre utilizando-se reações bioquímicas, realizadas por microrganismos: bactérias, protozoários e fungos.
- *Tratamento Terciário:* remove poluentes específicos (micronutrientes), além de outros poluentes que não são retidos nos tratamentos: primário e secundário. É utilizado quando se deseja obter um tratamento de qualidade superior para os esgotos. Nesse tratamento, removem-se compostos como nitrogênio e fósforo.

Também poderá ser utilizada a desinfecção do efluente por ultravioleta ou ozônio, eliminando os microrganismos ainda presentes.

- *Subprodutos do esgoto tratado*

Todos os processos de tratamento de esgoto resultam em subprodutos: o material gradeado, areia, espuma, lodo primário e lodo secundário, que devem ser tratados antes de lançados no meio ambiente.

Exemplos de formas de tratamento:

- ✓ Disposição do lodo e do material sólido em aterros sanitários.
- ✓ Aplicação do lodo como fertilizante na agricultura, após tratamento adequado.

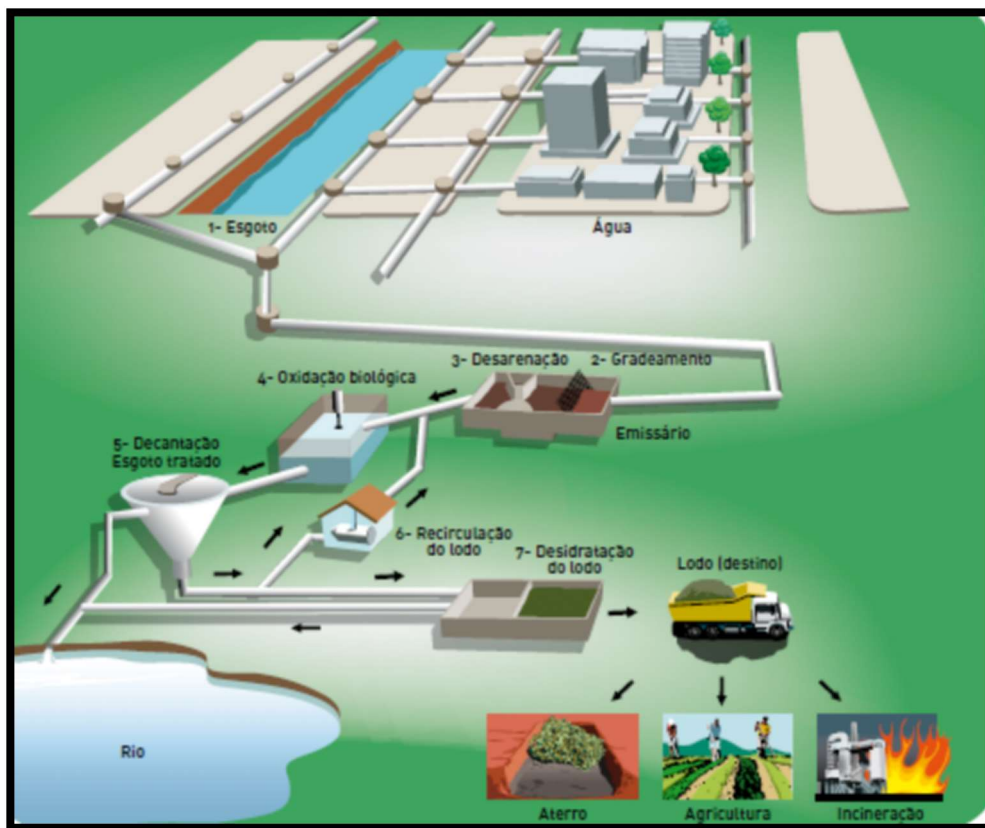


Figura 3.2. Esquema representando o funcionamento de uma ETE (COPASA, 2014).

3.1.2 - Esgotamento Sanitário Estático ou Individual

Segundo o DSAE (2014) para esgotamento sanitário as soluções individuais contemplam as seguintes alternativas: fossas sépticas/sumidouros, fossas rudimentares,

valas a céu aberto, lançamento de esgotos em curso d'água, galerias de águas pluviais e outros.

3.1.2.1 - Fossas rudimentares

Segundo o glossário do SNIS (2014) as fossas rudimentares são poços escavados em terra, destinado a receber e acumular o esgoto. As fossas rudimentares não são consideradas um método adequado de disposição de dejetos, por riscos de contaminação do solo e da água, como demonstrado na Figura 3.5. Quanto ao despejo recebido as fossas podem ser:

- *Fossa Negra ou Poço Absorvente.*

A fossa negra é uma escavação cilíndrica semelhante a um poço, sem revestimento interno no qual se dispõe os esgotos. Os dejetos caem parte se infiltrando e parte sendo decomposta na superfície de fundo (DSAE, 2014).

- *Fossas Secas*

Fossa seca é basicamente uma escavação com ou sem revestimento com abertura circular de 90 cm de diâmetro e 80 cm quando quadrada. Para a proteção da fossa e principalmente a comodidade do usuário é feito um cômodo. A fossa seca é destinada a receber somente as fezes, ou seja, não dispõe de veiculação hídrica. As fezes retidas no interior se decompõem ao longo do tempo pelo processo de digestão anaeróbia. As fossas secas são convenientes para regiões rurais com população difusa e com habitações desprovidas de instalações hidráulicas e sanitárias e com escassez de água. (DSAE, 2014)

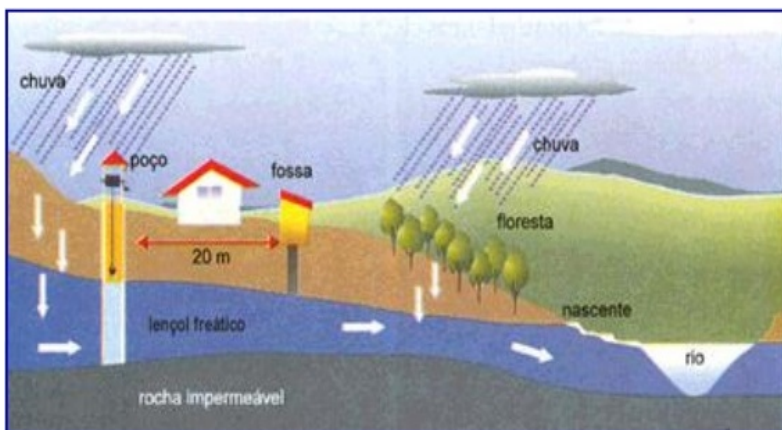


Figura 3.5. Esquema representando o risco de contaminação do lençol freático por fossas sem impermeabilização.

3.1.2.2 - Lançamento direto no solo.

Neste método o esgoto sanitário é lançado diretamente sobre o solo, visando utilizar o sistema solo planta microrganismos e a radiação solar como uma combinação de fatores para depuração dos resíduos, com baixo custo e a possibilidade de ganhos econômicos pela utilização da água residuária também como fertilizante orgânico (DE SOUZA, 2011).

3.1.2.3 - Lançamento em cursos d'água

Segundo o DSAE (2014), lançamentos em cursos d'água são lançamentos do esgoto sem tratamento, diretamente em rios, lagos e mar. O lançamento pode ser por meio de tubulações, ou de maneira mais precária por valas ou valetas por onde escorre o esgoto a céu aberto em direção a cursos d'água, atravessando os terrenos das casas ou as vias públicas.

O problema das fossas rústicas, bem como dos lançamentos de esgoto diretamente em solo ou corpos d'água advém principalmente da contaminação do solo e das águas. O PLANSAB (2014) considera essas soluções individuais como inadequadas. Uma vez que as doenças de veiculação hídrica são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, transmitida basicamente pela rota fecal-oral, ou seja, são excretados nas fezes de indivíduos infectados e ingeridos na forma de água ou alimento contaminado por água poluída com fezes. O risco de ocorrência de surtos de doenças de veiculação hídrica quando adotado destinação inadequada para o esgoto é alto, principalmente em função da possibilidade de contaminação bacteriana de águas (DO AMARAL, 2003).

Além da contaminação por patógenos outra contaminação importante gerada por esgotos domésticos é relativa a constituintes inorgânicos nocivos à saúde como o nitrato, que apresenta ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas. Nitrato em concentração superior a 10mg/L causa a meta-hemoglobinemia, podendo trazer graves consequências para a saúde, inclusive morte, principalmente em lactantes (DA SILVA, 2003).

3.1.2.4 - Fossa Séptica

Segundo o glossário do SNIS (2014), fossas sépticas/sumidouros são dispositivos tipo câmara, enterrado, destinado a receber o esgoto para separação e sedimentação do material orgânico e mineral, transformando-o em material inerte, seguido de unidade para a disposição da parte líquida no solo. Essa forma de esgotamento sanitário é a única solução individual considerada pelo PLANSAB como solução adequada.

3.1.2.5 - Fossa séptica Biodigestora

O sistema denominado fossa séptica biodigestora foi desenvolvido pela EMBRAPA, com o objetivo de promover tratamento de esgoto em áreas rurais. O sistema é composto por duas caixas de fibrocimento de 1000 litros, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário e a uma terceira caixa de 1000 litros que serve como coleta de efluente que pode ser utilizada como adubo, Figura 3.6. Esterco ovino e ou suíno é adicionado ao biodigestor como inoculante de bactérias para a digestão fermentativa (DE NOVAIS 2002).

Faustino, (2007) analisou a composição do efluente e sua ação fertilizante no solo de uma fossa biodigestora em um sistema dimensionado para uma família de no máximo cinco pessoas, onde o material depositado nas caixas fermenta por aproximadamente trinta dias. Concluindo que a reutilização do efluente além de ambientalmente correta é uma fonte de micro e macro nutrientes, portanto muito útil do ponto de vista agrícola.

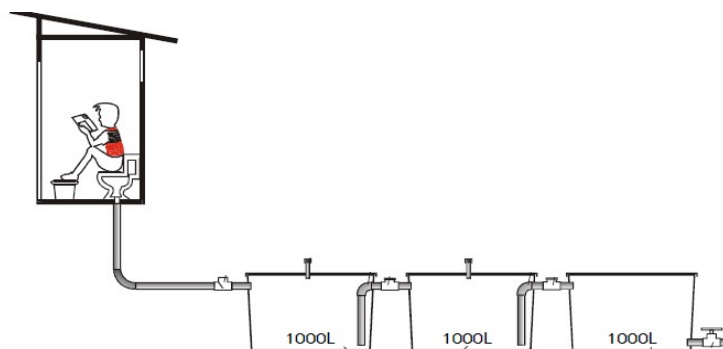


Figura 3.6. Esquema representado uma fossa biodigestora, dimensionada para uma família de no máximo cinco pessoas (DE NOVAIS, 2002).

3.1.2.6 - Tanque de Evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração (Tevap) ou popularmente conhecido como fossa das bananeiras é uma técnica desenvolvida e difundida por permacultores de diversas nacionalidades, com potencial para aplicação no tratamento domiciliar de águas negras em zonas urbanas. Bem como a fossa séptica consiste em um tanque impermeabilizado, no entanto este é preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água, como demonstra-se na Figura 3.7. O sistema recebe somente o efluente dos vasos sanitários, que passa por processos naturais de degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção e evapotranspiração pelas plantas. Como a única forma de saída da água do sistema é por Evapotranspiração, não há riscos de liberação de água contaminada (EMATER, 2011).

Galbiate (2009) realizou estudos para determinar critérios para o dimensionamento e construção de Tevap, concluindo que cada módulo dimensionado para uma unidade familiar, com média de 4 a 5 pessoas, pode ser de 12 a 16 m².

A vantagem do uso do Tevap é que ao mesmo tempo em que trata de efluentes, permite o seu aproveitamento como adubo para plantas de grande demanda hídrica que podem servir como alimento ou ornamentação. A desvantagem é que o volume de funcionamento do tanque não permite grandes variações, além da necessidade de área para a sua construção, o que limita a sua implantação a áreas de menor adensamento populacional.

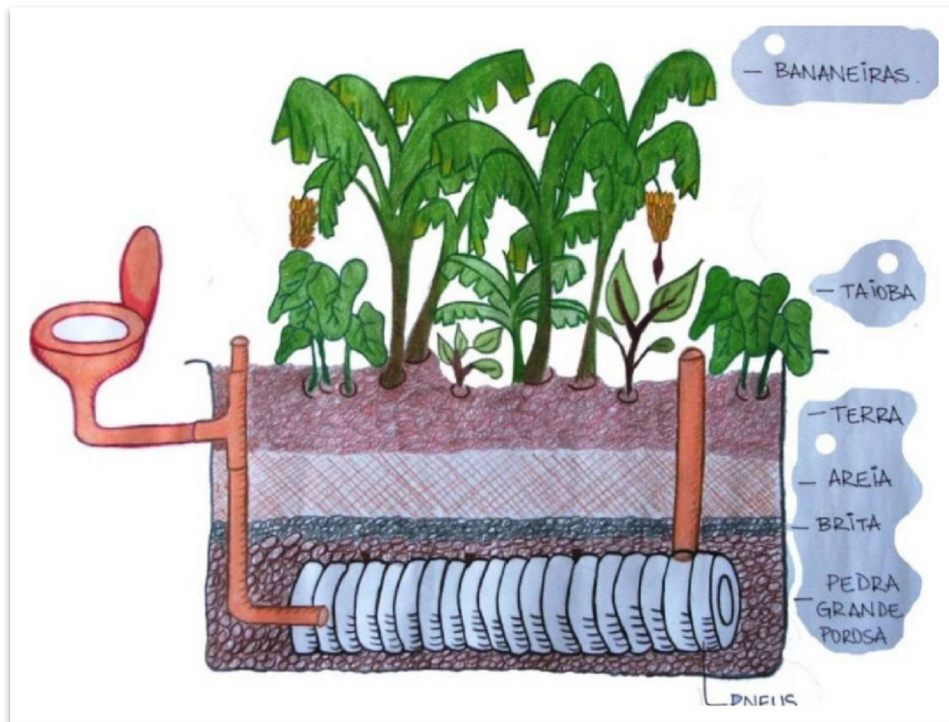


Figura 3.7 Esquema representando um tanque de evapotranspiração.

3.1.2.7 - Tanque Séptico

Segundo Chernicharo (2008), o tanque séptico é uma unidade pré-moldada ou moldada *in loco*, que desempenha as funções múltiplas de sedimentação e de remoção de materiais flutuantes, além de comporta-se como digestor de baixa carga, sem mistura e sem aquecimento. No tanque séptico:

- ✓ *Os sólidos sedimentáveis:* vão para o fundo do tanque passando a constituir uma camada de lodo. O material orgânico retido no fundo do tanque sofre decomposição facultativa e anaeróbia, sendo convertidos em compostos mais estáveis como CO_2 , CH_4 , e H_2S que se combina com metais acumulados no lodo, formando sulfetos metálicos insolúveis, minimizando problemas de odor;
- ✓ *Óleos, graxas e materiais mais leves:* flutuam até a superfície do tanque formando a camada de espuma;
- ✓ *O esgoto livre dos materiais sedimentáveis e flutuantes:* flui entre as camadas de lodo e espuma, deixando o tanque séptico em sua extremidade oposta;

Ainda segundo Chernicharo (2008), embora a decomposição anaeróbia promova a contínua diminuição do lodo no fundo do tanque, ao longo do tempo há acumulação do mesmo, bem como da espuma e diminuem o volume útil, o que demanda a remoção periódica dos materiais, como apresenta-se na Figura 3.8.

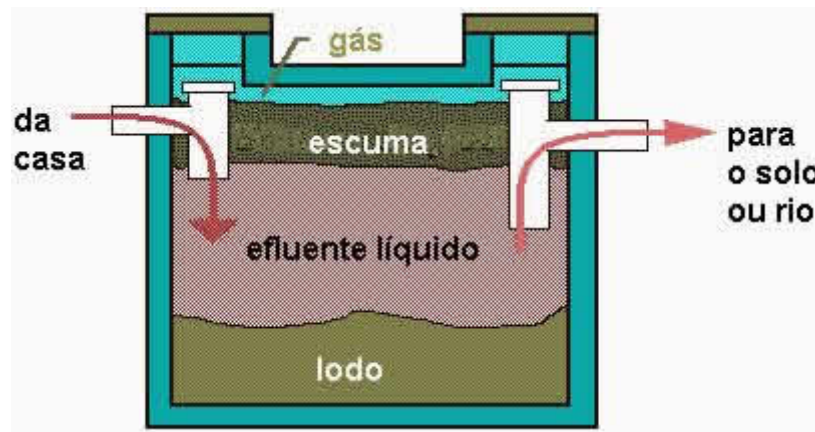


Figura 3.8. Esquema representado o funcionamento de um tanque séptico.

3.2 - Sistemas de Esgotamento no Brasil

Os investimentos necessários para a construção de redes de esgoto são altos, de modo que a implantação desse sistema privilegia áreas de maior adensamento populacionais como as áreas urbanas. Visto que em áreas rurais há maior possibilidade de adoção de outros métodos de esgotamento sanitário.

Segundo dados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - DSAE (2014), metade da população brasileira não tem acesso a rede de esgotamento sanitário. Considerando apenas áreas urbanas, onde é prioridade o acesso a rede coletora de esgoto, esse índice é de cerca de 60%. A região Norte é a menos atendida seguida pela região Nordeste e Sul. Ao todo cerca de metade das residências brasileiras não possui coleta de esgoto, considerando apenas as áreas urbanas cerca de 60% das residências brasileiras tem acesso a rede de coletora. Quanto ao tratamento do esgoto gerado, considerando apenas o que foi coletado esse índice é relativamente alto, sendo que a região Sul é a que mais trata o esgoto coletado. A região sudeste que possui o melhor índice de coleta é a que menos trata. Entretanto quando se analisa o percentual de tratamento com base no esgoto gerado pelo consumo de água, os índices são bem menos

expressivos, indicando que o problema do esgoto no Brasil é principalmente devido à carência no acesso a rede coletora, como evidenciado nas Figuras: 3.3 e 3.4.

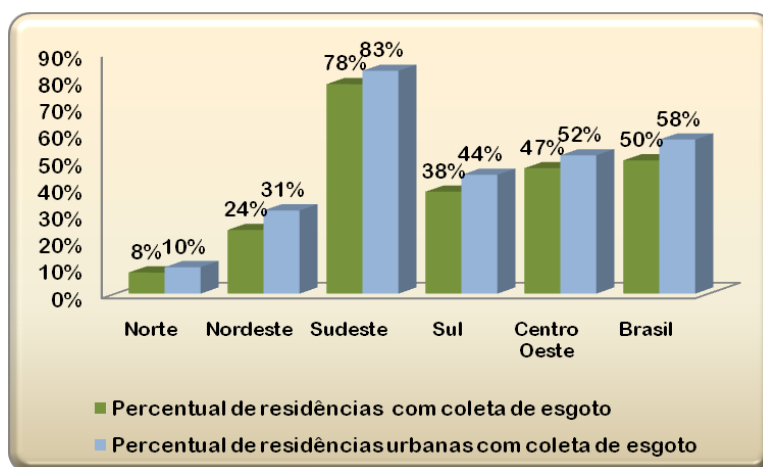


Figura 3.3. Gráfico demonstrando o índice geral e urbano do atendimento da rede de coleta de esgoto por regiões e no Brasil (SNIS, 2014).

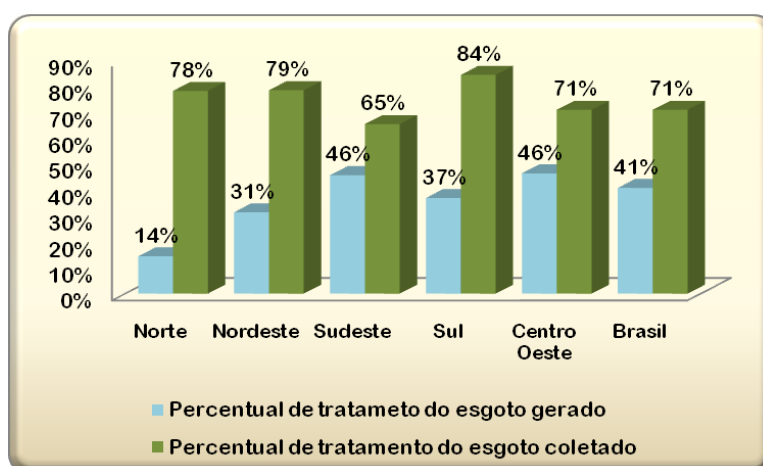


Figura 3.4. Gráfico demonstrando o índice de tratamento do esgoto gerado, de acordo com o consumo de água, e o índice de tratamento do esgoto coletado, por regiões e no Brasil (SNIS, 2014).

A carência de coleta de esgoto no Brasil está atrelada a vários fatores, no caso da coleta urbana, um dos fatores é o aumento desordenado das grandes cidades, que gerou um processo de desconcentração urbana em direção à periferia. Para Tucci (2008), no Brasil o crescimento da população carente tem sido significativo e o seu adensamento é preocupante. O que gera grandes problemas relacionados com a infra-estrutura e a urbanização, como a falta de saneamento básico, como visto na Figura 3.5. O planejamento urbano é realizado para a cidade ocupada pela população de renda média

e alta. Para áreas ilegais e públicas, existe invasão e parte importante da população vive em algum tipo de favela. Portanto, existe a cidade formal, onde ocorre a ocupação urbana de forma regular, e a cidade informal, onde a ocupação urbana é irregular. A gestão urbana geralmente atinge somente a primeira.



Figura 3.5 Falta de coleta de esgoto em favela (JORNAL DIGITAL BRASIL 247, 16/03/2016)

Quanto ao tratamento de esgoto no Brasil, privilegia-se principalmente a construção de grandes ETEs, que além do alto custo de implantação, geram maior impacto ambiental e custos operacionais, principalmente porque o esgoto necessita ser bombeado para as estações. Para Dezzoti; Sant’Anna e Bassin (2011) no futuro próximo será dada ênfase à construção de plantas de tratamento que privilegiam instalações compactas, ocupando um menor espaço físico possível e um impacto ambiental reduzido. Afinal o espaço para a instalação de grandes estações de tratamento de efluentes em centros urbanos é uma das dificuldades da implantação de ETEs. Embora pouco implantado é crescente no Brasil os estudos na área sanitária visando este propósito.

O saneamento individual não entra nos Planos Nacionais de Saneamento. Para Philippi (1997), este fato à medida que isola ou circunda uma responsabilidade não reconhecida, cria uma forma de acordo tácito entre os responsáveis pela prestação de serviços e a população, contribuindo para manter a passividade dos cidadãos quanto aos esforços necessários à solução dos problemas cotidianos de saneamento que os afetam.

Outro aspecto importante da deficiência do saneamento básico no Brasil é a visão centralizadora tanto em nível da administração quanto tecnológico. O PLANSAB, Plano Nacional de Saneamento Básico é gerido pela Secretaria Nacional de Desenvolvimento Ambiental, ou seja, é de gestão Federal, para Philippi (1997) o sistema centralizado:

- ✓ Privilegia grandes projetos;
- ✓ Gera baixo atendimento às populações carentes e/ou periféricas;
- ✓ Baixo atendimento às populações rurais;
- ✓ Baixo nível de participação comunitária ou de controle social sobre os programas;
- ✓ Falta de integração das funções do saneamento, resultando numa postura de pouca interatividade, interinstitucionalidade e interdisciplinaridade;
- ✓ Baixo nível de adesão a programas de educação sanitária e ambiental.

De acordo com Otterpohl *apud* EMATER (2011), a introdução do conceito de separação na fonte da gestão dos esgotos municipais permite o adequado tratamento de diferentes tipos de efluentes de acordo com suas características. Esta é a chave de soluções técnicas para o reuso eficiente da água, energia e fertilizantes. A baixa diluição do efluente e separação na fonte é necessária para a obtenção de sistemas econômicos, assim como já feito em tratamento de esgotos industriais.

Segundo Tucci (2008), outro questionamento importante envolvendo a carência nos serviços de coleta de esgoto é referente a ampliação da cobertura por parte das prestadoras do serviço. Uma vez que parte importante das empresas cobra pelo serviço de coleta e tratamento, mesmo sem que o tratamento seja realizado, dificilmente as empresas irão completar a cobertura de coleta e tratamento do esgoto. Outro cenário freqüente é o de aumentar a coleta sem tratamento, agravando o problema à medida que concentra a poluição nos rios.

3.3 - Algumas operações no processo de tratamento de Esgotos

3.3.1 - *Wetlands*

A disposição de águas residuárias no solo, juntamente com a presença de microrganismos, macrófitas aquáticas e energia solar, resulta na produção de biomassa e energia química, removendo, portanto, carga poluidora e mantendo a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Wetlands constituído é um sistema artificialmente projetado para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos (como areia, solo ou

cascalho), onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos que, através de processos biológicos, químicos e físicos, tratam águas residuárias (DE SOUSA, 2000)

Os alagados artificiais são constituídos de lagos ou canais rasos, que abrigam plantas aquáticas, usualmente com profundidade inferior a um metro e argila como camada impermeabilizante. Podem conter meio poroso inerte como cascalho e areia. As principais vantagens desses sistemas são:

- ✓ Baixo custo de implantação;
- ✓ Alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos;
- ✓ Alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes (SALATI; SALATI FILHO e SALATI ENEIDA, 2003).

No entanto elas não funcionam bem no tratamento de esgotos brutos, sendo, portanto ideais para pós tratamento de um sistema primário ou secundário (VON SPERLING, 2009)

De acordo com Salati; Salati filho e Salati Eneida (2003), as *Wetlands* são classificadas:

- Quanto à exposição do fluxo de efluente a ser tratado:
 - Fluxo Superficial: Uma lâmina de água de 10-40 cm é mantida sobre a superfície do solo. A purificação da água ocorre por diversos mecanismos de ação de microrganismos que ficam fixados no leito, na superfície do solo e na parte submersa do caule das plantas. Dependendo da legislação do país ou estado, o sistema deve ser implantado sobre camadas de argila e/ou mantas plásticas especiais.
 - Fluxo Subsuperficial: O efluente a ser purificado é induzido a um fluxo horizontal, em um lençol de pedras ou pedriscos, no qual estão cultivadas as plantas escolhidas para o sistema.
- Quanto à direção do fluxo:

- Fluxo Vertical: O efluente penetra de cima para baixo, sendo recolhido por um sistema de drenagem.
- Fluxo Horizontal; O efluente escoar tangencialmente a área alagada. (SALATI; SALATI FILHO e SALATI, 2003).

A Figura 3.6 demonstra alguns exemplos de *Wetlands* com combinações diferentes de exposição e direção de fluxo.

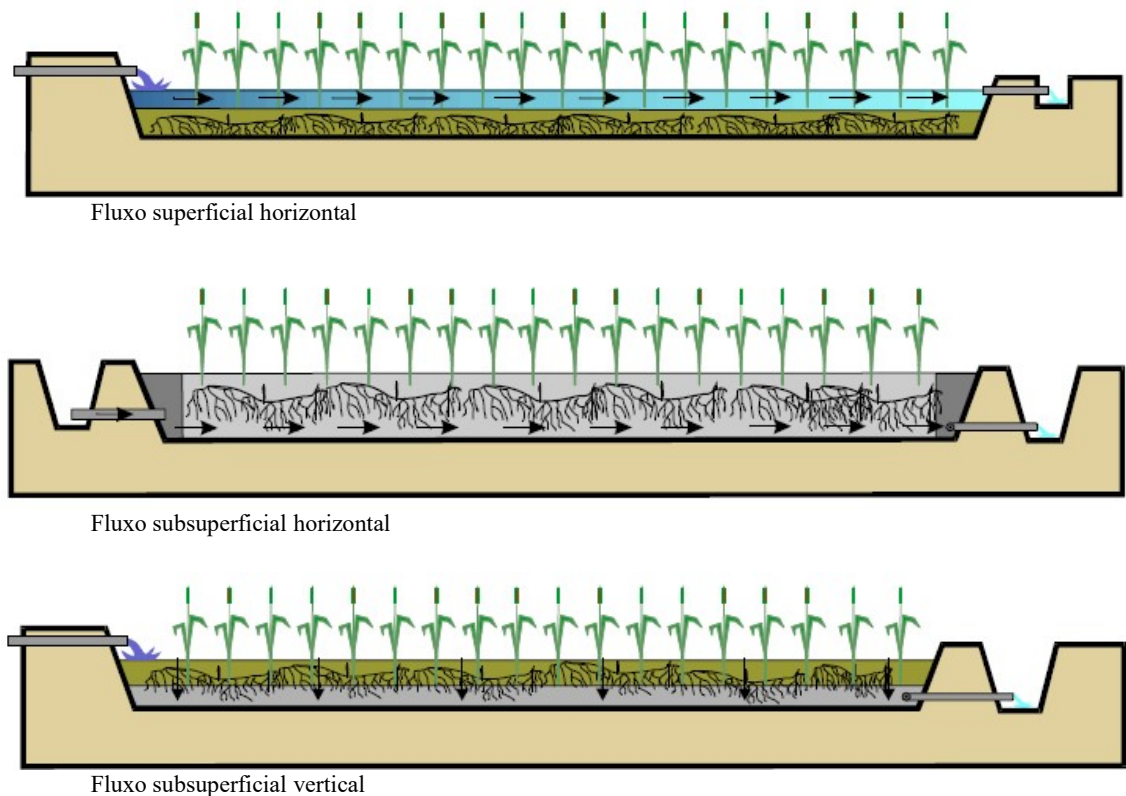


Figura 3.6 Esquemas representando tipos de *wetlands* (SALATI; SALATI FILHO e SALATI, 2003)

3.3.2 - Filtros Biológicos

Os filtros biológicos são basicamente tanques preenchidos com algum material que serve de meio suporte para o crescimento de microrganismos que irão degradar a matéria orgânica presente no efluente. (CHERNICHARO, 2008)

3.3.2.1 - Filtros biológicos percoladores - FBP

A tecnologia se baseia na aplicação contínua e uniforme dos esgotos, que percolam pelo meio suporte em direção aos drenos de fundo. O filtro biológico

percolador funciona em fluxo contínuo e sem inundação da unidade. São sistemas aeróbios, permanentemente sujeitos à renovação do ar, que naturalmente circula nos espaços vazios do meio suporte, disponibilizando o oxigênio necessário para a respiração dos microrganismos (METCALF & EDDY *apud* SANTOS, 2005).

Durante o processo, as placas de biofilme se desprendem do meio suporte devido ao grau de estabilização, à tensão de cisalhamento causada pelo gradiente de velocidade de escoamento do líquido entre os vazios e à indisponibilidade de oxigênio para os microrganismos aeróbios mais próximos ao meio suporte. O material desprendido é removido em unidade de decantação secundária, obtendo-se assim, um efluente final clarificado, com baixas concentrações de matéria orgânica e sólido em suspensão (VON SPERLING, 2008).

3.3.2.2 - Biofiltros aerados submersos

Bem como o FBP, o biofiltro aerado é um sistema aeróbio. Difere do anterior, trabalha inundado, havendo a necessidade então de um sistema de aeração.

O biofiltro aerado submerso é, portanto um reator trifásico: com a fase sólida constituída pelo meio suporte e pelas colônias de microrganismos que nele se desenvolvem, fase líquida que é o efluente em permanente escoamento e fase gasosa, formada pela aeração artificial. (VON SPERLING, 2008)

3.3.2.3 - Filtros anaeróbios

De acordo com Chernicharo (2008), os filtros anaeróbios operam submersos e sem aeração. Portanto o processo anaeróbio baseia-se na utilização de microrganismos, na ausência de oxigênio, para a degradação de matéria orgânica, gerando gases como o metano, dióxido de carbono e amônia. O filtro anaeróbico ascendente é basicamente uma unidade de contato, no qual o esgoto passa através de uma massa biológica de sólidos contida dentro do reator. A biomassa retida apresenta-se em três formas distintas: na forma de uma fina camada de biofilme aderida ao suporte; na forma de biomassa dispersa retida nos interstícios do material suporte ou na forma de flocos ou grânulos retidos o fundo falso, visto na Figura 3.9. O efluente do filtro anaeróbio geralmente é bastante clarificado e tem relativamente baixa concentração de matéria orgânica, porém

é rico em sais minerais, indicado para a disposição no solo para a produção vegetal desde que sejam guardadas as preocupações com organismos patogênicos.



Figura 3.9 Esquema representando um filtro biológico anaeróbico de fluxo ascendente.

3.3.2.4 - Reatores híbridos

É uma mistura de reatores anaeróbios de crescimento disperso, com filtro anaeróbico de crescimento aderido. A configuração do reator híbrido permite que haja acúmulo de biomassa ativa na câmara inferior que não possui suporte de aderência e uma camada preenchida com meio suporte na parte superior (PASSIG, 2005).

Segundo Chernicharo (2008), um exemplo de reator híbrido foi desenvolvido por Souza (2005), denominado Sistema Compacto de Tratamento de Esgoto (SISCOTE), composto de uma primeira câmara similar a um tanque séptico de fluxo ascendente, com um sistema de placas na parte superior para a sedimentação de sólidos no sistema. Conectada a primeira câmara há um sistema híbrido: Reator UASB- reator de manta de lodo de crescimento disperso de fluxo ascendente e Filtro anaeróbico, conforme ilustrado na Figura 3.10.

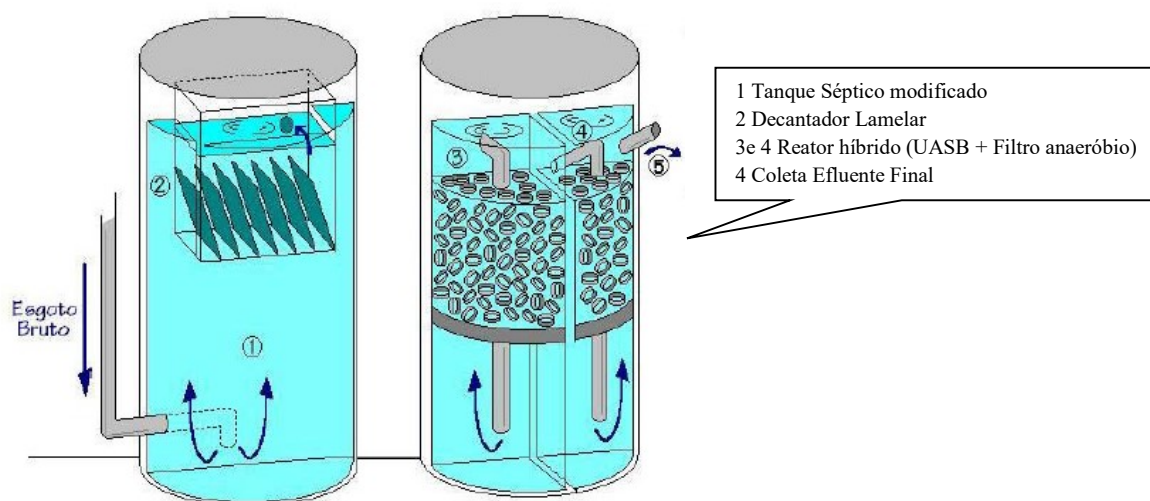


Figura 3.10. Representação esquemática do SISCOTE. (SOUSA, 2012)

Souza (2005) testou o SISCOTE em dois esquemas de alturas e diâmetros dos tanques, mas com mesmo volume total de $1,73\text{m}^3$. Os resultados obtidos demonstram excelente desempenho deste sistema para o tratamento de esgotos domiciliares de populações dispersas. Este sistema, com volume equivalente ao de um tanque séptico dimensionado de acordo com a NBR 7229:1993 foi capaz de produzir efluentes com características semelhantes ao de um tanque séptico mais filtro anaeróbio, cujo volume é aproximadamente o dobro do SISCOTE. A vantagem do sistema é a alta eficiência o que possibilita o tratamento de todo o efluente produzido por uma residência de maneira local com espaço necessário reduzido. A desvantagem do sistema é o custo de instalação que pode ser oneroso para famílias de baixa renda, bem como a necessidade da manutenção periódica com a retirada do lodo.

3.3.3 - Meio Suporte

As principais finalidades do meio suporte são: atuar como dispositivo para separar os sólidos dos gases; ajudar a promover a uniformização do escoamento do reator; melhorar o contato entre os constituintes do despejo e os sólidos biológicos contidos no reator; permitir o acúmulo de grande quantidade de biomassa, com consequente aumento do tempo de retenção celular e atuar como barreira física, evitando que os sólidos sejam carregados para fora do sistema (CHERNICHARO, 2008).

Segundo Jordão e Pessoa *apud* Santos (2005), existem diversos tipos de materiais que podem ser utilizados como meios suportes tais como: pedra britada,

escória de alto-forno, materiais sintéticos de plástico de várias formas e tamanhos como demonstrado na Figura 3.11.

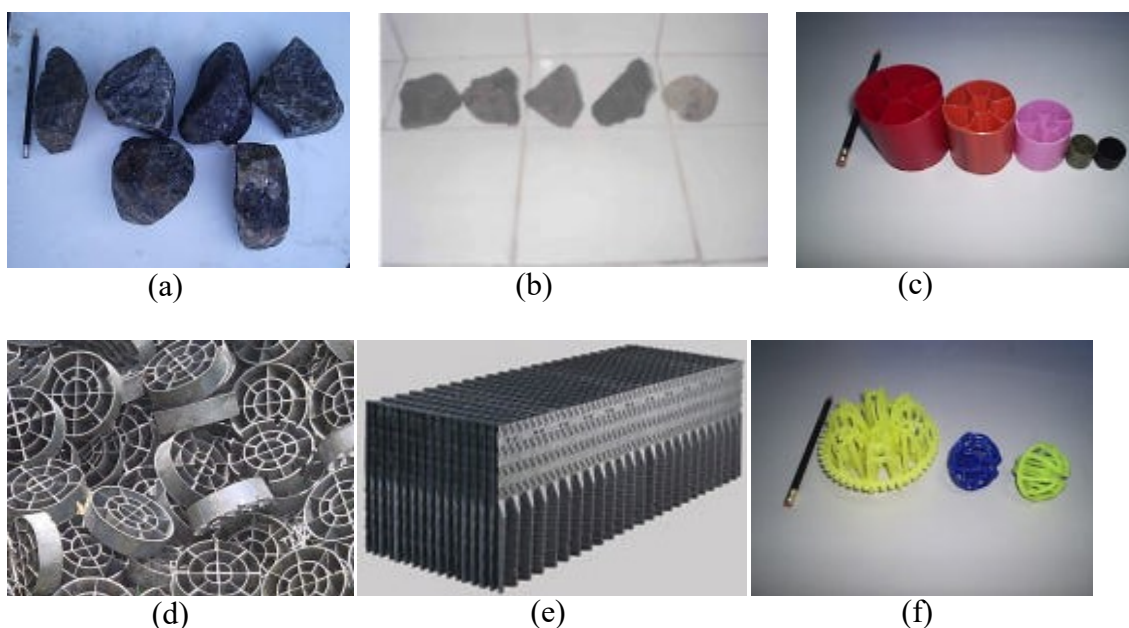


Figura 3.11 – Tipos de meio suporte utilizados em filtros biológicos: (a) Pedra britada, (b) Escória de alto forno, (c) Tocos plásticos, (d) Anéis Randômicos, (e) Bloco de fluxo vertical, (f) Esferas plásticas (SANTOS, 2005).

Os meios suportes devem apresentar as seguintes características: ser estruturalmente resistente, biológica e quimicamente inertes, ser suficientemente leve, possuir grande área específica e porosidade elevada, possibilitar a colonização acelerada de microrganismos, apresentarem formato não achatado ou liso e preço reduzido (CHERNICHARO, 2008).

3.3.3.1 - Tampinhas de embalagem longa vida

As tampas de embalagem longa vida são moldadas a partir de polietileno de alta densidade ou PEAD. Em geral, o PEAD, exibe baixa reatividade química, é estável em soluções alcalinas de qualquer concentração e em soluções salinas, independente do pH, incluindo agentes oxidantes como permanganato de potássio (KMnO_4) e dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$); não reage com ácidos orgânicos, HCl ou HF. À temperatura ambiente, PEAD não é solúvel em nenhum solvente conhecido, sua densidade varia levemente em função do nível de ramificação do polímero, podendo ser considerada em média como $0,96 \text{ g/cm}^3$ (MILES *apud* COUTINHO, 2003).

3.3.3.2 - Anéis de Bambu

Segundo Colli (2007) a *Bambusa tuldoidea* é uma planta arborecente, natural do sul da China, sendo vulgarmente chamada de bambu. Podem alcançar de 10 a 15 m de altura, formando densos agrupamentos arredondados. Frequentemente cultivados para fins industriais ou como planta ornamental, sendo muito utilizados para cercas, quebra-ventos, cortinas de jardim, no fabrico de objetos de uso doméstico, instrumentos musicais, encanamentos rústicos na área rural, cobertura em parreiras, orquidários e viveiros de plantas.

De Souza, et al (2012), testaram a eficiência de filtro anaeróbio com suporte de gomos de bambu com tamanho médio de 2 cm de altura e 3 cm de diâmetro em escala laboratorial no tratamento de esgoto doméstico e constataram eficiência de remoção de matéria orgânica de 90,30 %.

Tonetti (2011) analisou o tempo de partida (tempo necessário para crescimento da biomassa e equilíbrio de operação) de um filtro anaeróbio com recheio de bambu da espécie *Bambusa tuldoidea*, os quais tinham diâmetro de 0,03 m e eram cortados em tamanhos de aproximadamente 0,05 m de comprimento. A análise foi em escala real sem o emprego de inóculo adaptado, e a obtenção da eficiência no tratamento do esgoto doméstico ao ser empregado um Tempo de Detenção Hidráulica -TDH (tempo médio em que o efluente permanece no sistema) inferior às 12 horas sugeridas pela norma brasileira. Constatando que os filtros demandaram um período de partida de 4,4 meses. E mesmo empregando-se um TDH inferior ao sugerido pela NBR 7229 (1993) e utilizando-se um material suporte simplificado e alternativo, como é o bambu, os reatores apresentaram uma remoção de matéria orgânica que alcançou a média de $81,4 \pm 6,4\%$.

3.4 – Parâmetros de Qualidade dos Efluentes.

Os parâmetros de qualidade dos efluentes são determinados a fim de se caracterizar e classificar efluentes. Alguns desses parâmetros são: cor, pH, turbidez, dureza, sólidos e carga orgânica. Em relação a efluentes domésticos tratados, dois parâmetros são relevantes: Sólidos (sedimentáveis, solúveis, fixos e voláteis) e carga orgânica.

3.4.1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos (AQUINO, 2006).

Segundo Valente (1997), quando poluentes ricos em matéria orgânica como o esgoto doméstico são lançados nos cursos d'água, a oxidação química e principalmente bioquímica, da matéria orgânica via respiração dos microorganismos consome o oxigênio presente. Assim, a poluição orgânica de um curso d'água pode ser avaliada pelo decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido e ou pela concentração de matéria orgânica em termos de concentração de oxigênio necessário para oxidá-la.

A Demanda química de oxigênio (DQO) é um indicador de matéria orgânica baseado na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido e condições energéticas por ação de um agente químico oxidante forte. Esta técnica apenas estima a concentração de matéria orgânica em termos de oxigênio consumido já que nos corpos d'água as condições não são tão energéticas, além do fato de que algumas espécies inorgânicas, tais como nitritos, compostos reduzidos de enxofre e substâncias orgânicas - como hidrocarbonetos aromáticos, compostos alifáticos de cadeia aberta e piridinas - não são oxidadas. Embora a demanda química do oxigênio possa ser medida com vários oxidantes, o mais comum é com o dicromato (VALENTE, 2007).

3.4.2 Sólidos

Segundo Von Sperling (2008), os sólidos são compostos por substâncias dissolvidas e em suspensão, de composição orgânica e ou inorgânica. Na Figura 3.12 a seguir observa-se a mais provável composição dos sólidos nos esgotos sanitários.

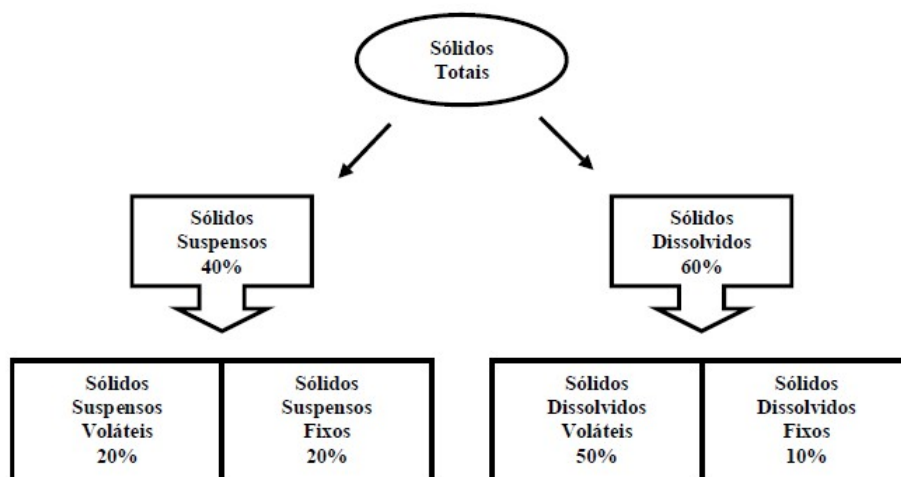


Figura 3.12. Esquema representando a composição de sólidos no esgoto doméstico (GIORDANO, 2004).

Analiticamente são considerados como sólidos dissolvidos àquelas substâncias ou partículas com diâmetros inferiores a 1,2 μm e como sólidos em suspensão as que possuírem diâmetros superiores. Além do aspecto relativo a solubilidade, os sólidos são analisados conforme a sua composição, sendo classificados como fixos e voláteis. Os primeiros de composição inorgânica e os últimos com a composição orgânica (GIORDANO, 2004).

Os sólidos voláteis se relacionam de maneira generalizada com toda a matéria orgânica presente no efluente, incluindo compostos orgânicos não degradáveis, degradáveis e biomassa. Já os sólidos fixos relacionam toda a matéria mineral, presente no efluente dentre estes os sais provenientes da degradação da matéria orgânica e de outras fontes (VON SPERLING, 2008).

4. METODOLOGIA

O experimento foi realizado na Universidade Federal de São João Del Rei, campus Alto Paraopeba, no período de 23 de maio à 10 de Junho de 2016.

4.1 - Confeção do Filtro

Para a confecção do filtro anaeróbio em escala laboratorial para testes, realizou-se o preparo dos meios suportes e da estrutura do filtro para funcionamento em fluxo ascendente.

4.1.1 - Meio Suporte anéis de bambu

Para a utilização do bambu como meio suporte, cortou-se anéis de bambu da espécie *Bambusa tuldoides* recolhidos na região da cidade de Ouro Branco, Figura 4.1, com o auxílio de uma serra elétrica tipo Makita®. A quantidade de anéis cortados foi o suficiente para preencher o volume do filtro da base até a saída, contabilizando 160 anéis. Escolheu-se uma amostra aleatória de 10% do total de pedaços de bambu (16 anéis) e com base nessa amostra determinou-se as características do suporte, Anexo B.



Figura 4.1 Anéis de Bambu para meio suporte do filtro (Arquivo Pessoal).

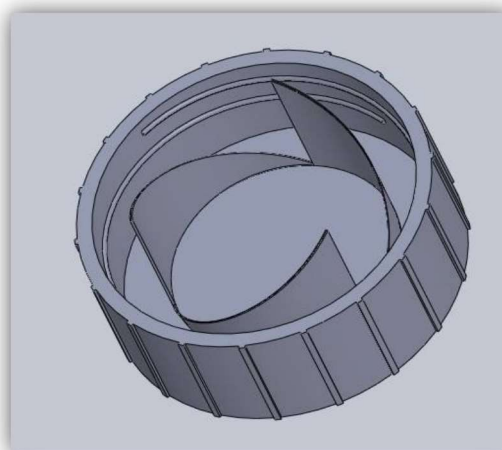
As dimensões dos elementos da amostra foram aferidas com o auxílio de um paquímetro e a massa com o auxílio de balança analítica.

4.1.2 - Meio Suporte de tampas de PEAD de embalagem longa vida.

Escolheu-se como meio suporte tampas de embalagem de leite longa vida, que foram recolhidas de embalagens usadas. Calculou-se a área superficial aproximada de cada tampinha com o auxílio do programa Solide works®, Figura 4.2. O volume foi calculado com base na massa da tampinha e da densidade média do PEAD.



Tampas de embalagem longa vida



Modelo 3D

Figura 4.2 Tampas de PEAD de embalagem longa vida para meio suporte do filtro (Arquivo Pessoal).

As dimensões da tampa foram aferidas com o auxílio de um paquímetro e a massa com o auxílio de balança analítica os dados estão dispostos na Tabela 5.2, nos resultados.

4.1.3 - Filtro

O filtro foi construído com duas garrafas PET de dois litros. Cortou-se a extremidade cônica das garrafas e fez-se a junção entre as bases das mesmas com auxílio de cola de cano PET e silicone, totalizando 35 cm de altura (H). Na base da estrutura a cerca de 8 cm foi feito um orifício onde se instalou uma conexão para interligar uma mangueira de silicone, onde será a alimentação do sistema (ha). A 5 cm do topo fez-se outro orifício onde se instalou uma torneira de onde sairá o efluente (hs), com uma distância entre entrada e saída (Δh) de 22 cm, como mostra a Figura 4.3. O volume do filtro foi determinado de acordo com o volume de água preenchido. Os dados do filtro estão dispostos na tabela 5.3, nos resultados.

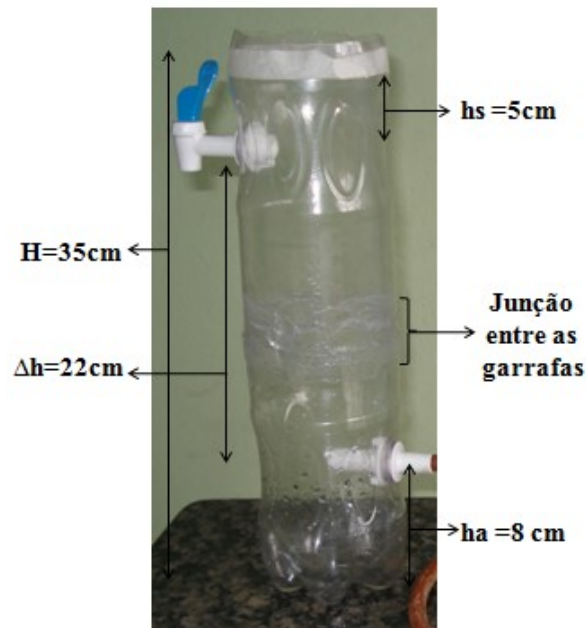


Figura 4.3 Estrutura do Filtro (Arquivo Pessoal).

4.2 - Crescimento do biofilme

Para o crescimento do biofilme os suportes foram “incubados” por 74 dias em esgoto bruto, no período de 09 de março a 23 de maio. O esgoto foi recolhido na adutora da rede de esgoto da COPASA na cidade de Ouro Branco MG, no bairro Luzia Augusta. Antes da adição do esgoto ao meio suporte o mesmo foi peneirado com o auxílio de uma peneira caseira para a remoção de sólidos grosseiros. Nesse intervalo de 74 dias de incubação o esgoto foi trocado cinco vezes a fim de se manter constante a disposição de matéria orgânica para o biofilme.

4.3 - Operação do filtro

Para a operação contínua em fluxo ascendente, foi conectado ao filtro um galão de 20 litros de água mineral, que funcionou como reservatório de esgoto. A vazão de entrada no filtro foi controlada pela abertura da torneira de saída do reservatório. O galão foi preenchido com o esgoto bruto peneirado e o sistema posto em funcionamento. O sistema operou por três dias com meio suporte de bambu e três dias com meio suporte de tampas de PEAD, sendo as amostras do afluente e do efluente recolhidas no terceiro dia de operação. A Figura 4.4 mostra o sistema antes e durante a operação.



(a)



(b)

Figura 4.4. Sistema reservatório e filtro anaeróbio: (a) antes do funcionamento, (b) durante funcionamento (Arquivo Pessoal).

4.4 - Análises

Para a determinação da eficiência do processo foram analisados os seguintes parâmetros:

- pH com o auxílio phmêtro
- DQO
- Sólidos Totais Voláteis e Fixos

Estas análises foram processadas no Laboratório de Hidráulica e Saneamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São João Del Rei, campus Alto Paraopeba, segundo o que preconiza o *Standard Methods for the Examination of Water and*

Wastewater (2005). Os materiais e procedimentos realizados estão descritos no ANEXO C. A Figura 4.5 demonstra as amostras que foram utilizadas para análise.

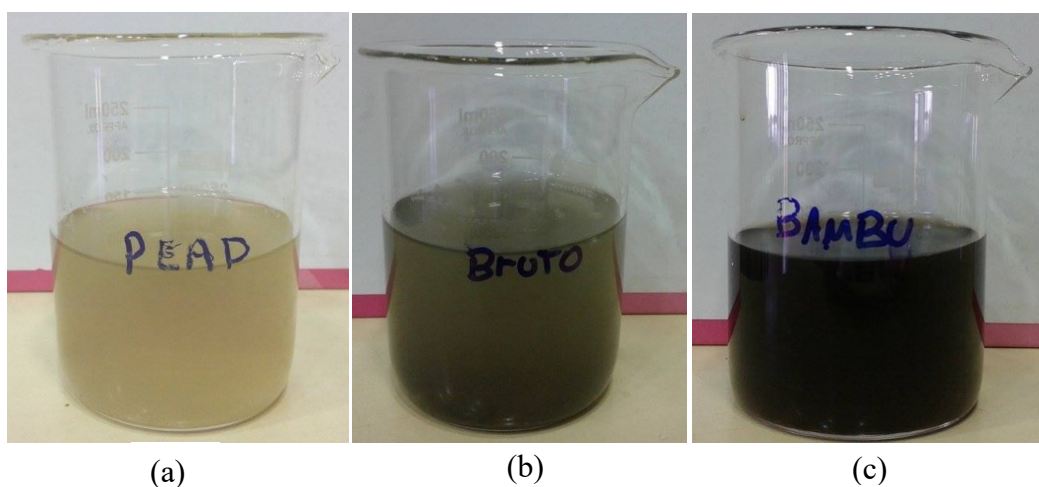


Figura 4.5. Amostras utilizadas para análises: (a) Efluente do filtro com suporte de tampas de PEAD, (b) Afluente dos filtros- esgoto bruto, (c) Efluente do filtro com suporte de anéis de bambu.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O filtro anaeróbio em escala laboratorial foi confeccionado e posto em funcionamento, uma vez que foram realizados testes com dois diferentes suportes (tampas de PEAD e anéis de bambu), foi realizada a caracterização dos meios suportes, bem como a caracterização do filtro que abrigou os meios. Foi analisado o crescimento da biomassa nos suportes “incubados” antes da operação do filtro e após a operação do mesmo foram analisados o afluente e os efluentes dos filtros com base na DQO, STF e STV.

5.1 - Características do Filtro

5.1.1 - Suporte Bambu

As características aferidas do suporte bambu, obtidas através de um paquímetro e balança analítica estão dispostas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Características do meio suporte anéis de bambu.

Parâmetro	Unidade	Total no Filtro
Área superficial média (cm ²)	26,5	4239,6
Massa média (g)	0,26	43
Volume médio (cm ³)	3,42	546,5

5.1.2 Suporte Tampas de PEAD

As características aferidas do suporte tampas de PEAD estão dispostas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Características do meio suporte tampinhas de PEAD.

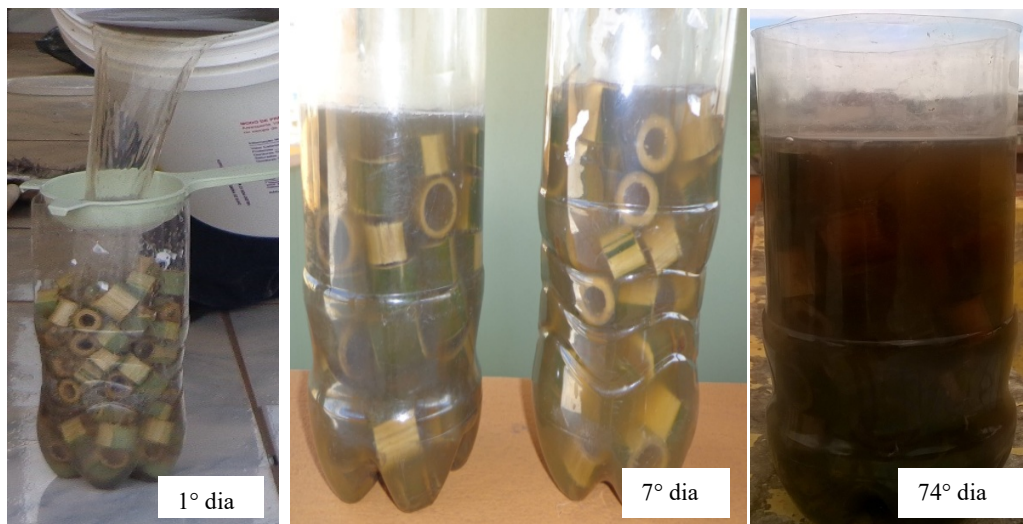
Parâmetro	Unidade	Total no Filtro
Área superficial média (cm ²)	36	4680
Massa média (g)	1,5	195
Volume médio (cm ³)	1,56	203

5.1.3 - Desenvolvimento do biofilme

A Figura 5.1, mostra a evolução no crescimento do biofilme nos suportes ao longo dos dias. É possível perceber a evolução no crescimento do biofilme e na retenção de sólidos no suporte de tampas de PEAD do 7º dia em relação ao 74º dia como demonstra a Figura 5.1(a). Já com relação ao suporte de bambu, como houve o escurecimento do meio líquido o crescimento de biofilme não é evidenciado, Figura 5.1(b). Após formação do biofilme o filtro foi operado.



(a)



(b)

Figura 5.1 Evolução do crescimento do biofilme: (a) aderido ao suporte tampas de PEAD, (b) aderido ao suporte anéis de bambu.

5.1.4 - Eficiência e Dimensionamento do Filtro

Os dados de dimensionamento do filtro confeccionado em escala laboratorial para teste estão dispostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Características do Filtro

Parâmetro	Valor
Altura total do filtro H (cm)	35
Altura entre entrada e saída h (cm)	22
Volume do filtro (L)	2,5
Diâmetro (cm)	10
Tempo de detenção hidráulica (h)	12
Vazão de operação do filtro (mL/h)	209

Usualmente os filtros anaeróbios são utilizados como pós tratamento, geralmente de reatores UASB, no entanto no presente trabalho o afluente do filtro foi esgoto bruto e ainda se observa uma eficiência de 68,86% na remoção de matéria orgânica. Como os ensaios foram realizados em um curto intervalo de tempo (três dias), mesmo havendo anteriormente o tempo de incubação para crescimento de biofilme é provável que o filtro ainda não tenha atingido o equilíbrio de operação, podendo apresentar eficiência ainda melhor operando por intervalos mais longos.

5.2 - Análises dos efluentes

5.2.1 - pH

Os resultados dos valores de pH estão dispostos na Tabela 5.4 abaixo.

Tabela 5.4. Valores de pH das amostras.

Amostra	pH
Esgoto Bruto	7,55
Filtro recheio Bambu	8,16
Filtro recheio tampas de PEAD	7,59

Do esgoto bruto para o efluente do filtro de PEAD há um ligeiro aumento de pH, no entanto este ainda está em uma faixa de pH ótima para as atividades enzimáticas dos microorganismos produtores de metano.

A faixa ótima para a produção é pH entre 6,6 e 7,4, mas em uma faixa de pH entre 6 e 8 ainda há viabilidade da produção de metano. (CHERNICHARO, 2008).

Já para o efluente do filtro de bambu nota-se um pH acima do recomendado, o que provavelmente está associado a uma alta quantidade de amônia evidenciada pelo odor do efluente.

Em efluentes muito ricos em proteínas ou uréia, há a formação de íon amônio em equilíbrio com amônia gasosa, em pH acima de 7,2 prevalece a amônia, que torna o meio tóxico para os microrganismos (CHERNICHARO, 2008).

Uma vez que os filtros foram alimentados com o mesmo efluente bruto com pH de 7,55 e somente o filtro com recheio de bambu apresentou elevado pH, como mostra a Tabela 5.4, a provável causa do excesso de amônia é a degradação do bambu, o que também gerou uma toxidade que prejudicou o tratamento anaeróbio. Embora existam relatos de trabalhos bem sucedidos com filtro de recheio de bambu a falha no presente trabalho pode estar associada à idade da planta ou a falta de um tratamento prévio, o que fez prevalecer no meio microrganismos degradantes do meio suporte e não do efluente.

5.2.2 - DQO

Os resultados dos valores de DQO estão dispostos na Tabela 5.5 abaixo. Os dados do experimento encontram-se no Anexo B e os cálculos no Anexo A.

Tabela 5.5 Valores de DQO das amostras

Amostra	DQO (mg/L)
Esgoto Bruto	983,53
Filtro recheio Bambu	1272,08
Filtro recheio tampas de PEAD	306,21

De acordo com a Tabela 5.5, observa-se uma redução de cerca de 70% da DQO do efluente do filtro com recheio de tampas de PEAD, já com relação ao filtro de bambu houve um aumento da DQO de cerca de 30%. A significativa redução da DQO no filtro de PEAD demonstra a eficiência do mesmo, uma vez que com apenas uma etapa de tratamento do esgoto bruto obteve-se uma redução de 70% de carga orgânica. Embora

usualmente, bem como preconiza a NBR 13.967, os filtros anaeróbios sejam utilizados como pós tratamento os resultados presentes indicam que o filtro anaeróbio é eficiente mesmo quando a alimentação é o esgoto bruto. Já com relação ao filtro com recheio de bambu o aumento no valor da DQO indica a degradação do meio suporte e sua ineficiência no tratamento de esgoto bruto.

5.2.3 - Sólidos Totais

Os resultados dos valores de sólidos estão dispostos na Tabela 5.6 abaixo. Os dados das amostras estão no Anexo B e os cálculos no Anexo A.

Tabela 5.6 Quantidade de sólidos das amostras

Amostra	Sólidos Totais mg/L	Sólidos totais fixos mg/L	Sólidos totais voláteis mg/L
Esgoto Bruto	1,084	0,431	0,653
Filtro recheio tampas de PEAD	0,623	0,391	0,232
Filtro recheio Bambu	5,444	3,842	1,602

Os sólidos totais representam todos os sólidos presentes no efluente, tanto os sedimentáveis, quanto os em suspensão ou dissolvidos. Com relação ao esgoto bruto houve uma diminuição de cerca de 30% na quantidade de sólidos totais quando este é tratado com filtro anaeróbio com recheio de tampas de PEAD, Tabela 5.6. Já com relação ao efluente do filtro de bambu houve um aumento de mais de cinco vezes na quantidade de sólidos totais, indicando a degradação do meio suporte e sua solubilização no efluente.

Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica do meio e os sólidos fixos representam a matéria inorgânica ou mineral. Houve uma redução de cerca de 60% na matéria orgânica do efluente bruto quando tratado com filtro de PEAD, no entanto a redução dos sólidos fixos foi de aproximadamente 10%. O que demonstra que o filtro se mostrou eficiente na remoção de matéria orgânica, mas a mesma não foi primordialmente degradada a gases voláteis como metano e gás carbônico, permanecendo no meio como sólidos fixos. O que era esperado uma vez que efluente de filtros anaeróbios são ricos em sais minerais.

As análises dos efluentes dos filtros em escala laboratorial demonstram um ótimo custo benefício. Uma vez que os resultados comprovam a eficiência de um filtro construído com garrafas PET e tendo tampas de PEAD como meio suporte. Para o tanque reservatório foi utilizado um galão de água mineral vencido, a mangueira de silicone conectora também foi reaproveitada do descarte de um sistema de biorreator. Os gastos para a construção do sistema foram resumidos as torneiras e a cola de PET, sendo de aproximadamente R\$:15,00. Com um baixo custo de confecção e reaproveitamento de resíduos foi possível construir um sistema eficiente na remoção de matéria orgânica.

5.3 - Dimensionamento em escala real.

Uma vez que a finalidade do presente trabalho é apresentar uma alternativa viável e de baixo custo para o tratamento individual de esgoto fez-se o dimensionamento do filtro anaeróbio com recheio de PEAD em escala real, para atendimento de uma residência. Uma vez que o filtro de bambu não apresentou resultado satisfatório nas análises, o dimensionamento real foi efetuado apenas para o filtro com recheio de tampas de PEAD. Os dados de dimensionamento foram baseados na NBR 13.969 *apud* Chernicharo (2008). Trata-se de uma aproximação à medida que a NBR em questão, bem como os parâmetros analisados foram desenvolvidos para filtro anaeróbio para pós tratamento de tanques sépticos com recheio de pedras. Os dados estão na Tabela 5.7 e os cálculos no Anexo A.

Tabela 5.7. Parâmetros de Dimensionamento para o filtro em escala real.

Parâmetro	Valor
Número de habitantes	5
Contribuição de esgoto por habitante*(L/dia)	100
Contribuição diária de esgoto (L/dia)	500
Tempo detenção hidráulica (dia)	1
Volume útil (L)	800
Eficiência esperada (%)	60

* Este valor denota o consumo de água por habitantes de residências de baixo padrão.

5.3.1 - Possibilidades de uso

O uso proposto para o sistema visa atender residências de baixo padrão, situadas em regiões de alta densidade populacional que não tem acesso a redes de coleta de esgoto, como favelas. Embora o sistema possa ser utilizado para residências rurais este não é foco do presente trabalho uma vez que já existem alternativas economicamente acessíveis para regiões que dispõe de maior espaço, como a fossa biodigestora da EMBRAPA citada no item 3.1.2.5 e a fossa de evapotranspiração citada no item 3.1.2.6. Para regiões onde não se dispõe de espaço essas alternativas tornam-se inviáveis. Para regiões com menor espaço existe a possibilidade de implantação do SISCOTE item 3.3.2.4, que ainda está em fase de testes, no entanto a restrição deste refere-se ao custo de implantação.

De acordo com o dimensionamento proposto no item 5.3, um filtro de 800 litros seria suficiente para o tratamento do efluente de uma residência. Para a construção do filtro o recipiente utilizado que atenda a esse volume poderia ser, por exemplo: bombonas ou tanques plásticos ou ainda caixas d'água, que podem ser alocadas na parte externa da residência, Figura 5.2. No entanto os tanques produzem efluentes, que embora possuam menor carga orgânica são ricos em sais minerais e ainda precisam de uma destinação.



Figura 5.2 Exemplos de reservatórios para os filtros.

Em comunidades sem atendimento de rede coletora, o esgoto escoar por valas a céu aberto, o efluente gerado nos filtros pode ser direcionado para as valas, entretanto essas podem dar lugar a *wetlands* item 3.3.1, transformando assim um canal aberto de esgoto bruto em um jardim que escoar o efluente do tratamento anterior, Figura 5.3. O fluxo subsuperficial seria o mais indicado, para evitar o contato direto de transeuntes,

principalmente crianças. O efluente das *wetlands* pode ser direcionado a corpos hídricos ou para a rede pluvial. Estas são alternativas viáveis pela simplicidade de construção e operação, o sistema não funciona com aplicação de esgoto bruto, mas para efluentes pré-tratados, principalmente de filtros anaeróbios ricos em sais minerais para as plantas.



Figura 5.3 Exemplo de Aplicação do sistema filtro anaeróbio + *wetlands*

O sistema filtro anaeróbio + *wetlands* proposto é um sistema de baixo custo de implantação e fácil operação, o que permite que os próprios moradores instalem e operem o sistema. Os tanques que abrigarão os filtros deverão ter abertura para o escape de gases e ser munidos de torneiras como a Figura 5.1, em nível ideal para que o lodo excedente possa ser removido quando necessário sem dificuldades, pelo proprietário da residência. O filtro anaeróbio deve operar de forma contínua semelhante a um tanque séptico convencional (item 3.1.2.7), sendo o efluente lançado nas *wetlands*.

A geração de lodos em sistemas anaeróbios é baixa, portanto o período para remoção é longo (CHERNICHARO, 2008).

O lodo pode ser enterrado em covas, não muito profundas, para não contaminar o lençol freático ou disposto em vasilhames e encaminhado para o lixão para o caso de comunidades atendidas pela coleta de lixo.

Obviamente o sistema proposto ainda não é o ideal e apresenta as seguintes desvantagens:

- ✓ O principal gás produzido é o metano e este será liberado sem tratamento prévio;
- ✓ Como a operação do sistema é simplificada para que os próprios moradores possam executá-la, torna-se inviável o controle dos parâmetros de qualidade do efluente;
- ✓ A manutenção do sistema em operação depende da iniciativa da comunidade, principalmente no caso da *wetlands* que é um sistema de uso coletivo;

- ✓ Uma vez que os tanques são externos as residências, pois na comunidade as casas não possuem terreno onde os mesmos possam ser implantados, estes podem obstruir o fluxo de pessoas. Além de serem esteticamente desagradáveis.

Embora o sistema possua as desvantagens citadas acima ele ainda é viável, pois:

- ✓ Evita que moradores convivam em contato direto com esgoto, o que consequentemente leva a diminuição do contágio de doenças de rota feco-oral;
- ✓ Diminuição de pragas;
- ✓ Alivia a carga orgânica do corpo receptor final do efluente;
- ✓ Como citado anteriormente pode ser instalado e operado pela comunidade;
- ✓ Baixo custo de implantação, já que os filtros são construídos com materiais descartáveis e de fácil obtenção.
- ✓ Retoma ao indivíduo a responsabilidade pelos efluentes que produz. Uma vez que são os próprios usuários os operadores do sistema os descartes indevidos nos esgotos, como de sólidos e gorduras tendem a diminuir;
- ✓ Retoma ao indivíduo a consciência do espaço por ele ocupado e o torna agente ativo na melhoria do local onde vive. Os planos de saneamento geralmente não contemplam ocupações irregulares como favelas, o que torna os moradores vítimas passivas dessas políticas. Atuar melhorando o espaço ao redor é uma maneira de trazer aos moradores a consciência e responsabilidade com o espaço em que ocupam.

Assim sendo é possível trazer qualidade de vida a moradores de comunidades sem acesso a rede coletora de esgoto, de maneira simples e barata, reaproveitando materiais descartáveis, contribuindo para a redução de resíduos sólidos e ao mesmo tempo reduzindo a carga poluidora nos corpos receptores dos afluentes.

6. CONCLUSÃO

Foi possível verificar a eficiência de um filtro anaeróbio em escala laboratorial para tratamento de esgoto bruto, tendo como meio suporte para crescimento de biomassa, tampas de PEAD de embalagem longa vida, em um sistema construído a partir de materiais descartáveis e de baixo custo. Verificou-se a redução de DQO de cerca de 70% e a redução de sólidos voláteis de cerca de 60%. Foi descartado o uso do filtro com anéis de bambu como meio suporte, uma vez que devido à degradação do material houve aumento da DQO e dos sólidos. A eficiência obtida no filtro com tampas de PEAD abre a possibilidade de um provável uso deste filtro em um sistema simplificado de baixo custo de implantação, construído a partir de materiais descartáveis, para o tratamento de esgoto de residências urbanas sem acesso a rede coletora de esgotos, tendo *wetlands* como complemento para finalizar a remoção de poluentes. Trazendo melhoria da qualidade de vida para moradores de maneira simples e barata.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, Sérgio Francisco; SILVA, Silvana de Queiroz; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios**, 2006.

BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos et al. **Reactores anaeróbios**. UFMG, 2008.

COLLI, Andréia et al. Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino, do *Bambusa tuldoidea* (Munro). **Floresta e Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 56-64, 2007.

COPASA. Programa Chuá. Saneamento Coleta e Tratamento de Esgotos, 2014

COUTINHO, Fernanda MB; MELLO, Ivana L.; DE SANTA MARIA, L. C. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

DA SILVA, Rita de Cássia Assis; DE ARAÚJO, Tânia Maria. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003.

DE NOVAES, Antonio Pereira et al. **Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica**. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2002.

DE SOUSA, José Tavares et al. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 87-91, 2000.

DE SOUZA, José Alberto Alves et al. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário-doi: 10.4025/actascitechnol. v33i1. 5350. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.

DEZOTTI, Márcia; SANT'ANNA JR, Geraldo Lippel; BASSIN, João Paulo. **Processos Biológicos Avançados Para o Tratamento de Efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana**. Editora Interciência, 2011.

DO AMARAL, Luiz Augusto et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista de Saúde Pública**, v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.

DSAE. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**, Ministério das Cidades, 2014.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. **Tanque de Evapotranspiração para o Tratamento de Efluentes do Vaso Sanitário Domiciliar**, 2011.

FAUSTINO, Adriana Soares. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 2007.

GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**, 2009.

GIORDANO, Gandhi. Tratamento e controle de efluentes industriais. **Revista ABES**, v. 4, n. 76, 2004.

JORDÃO, E.P & PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª ed. ABES-RJ, 1995.

Miles D. C. & Briston, J. H. **Polymer Technolog**, Temple Press Book, London, 1965.

MINISTÉRIO MEIO AMBIENTE. Módulo Específico: Licenciamento Ambiental De Estações De Tratamento De Esgoto e Aterros Sanitários, 2009.

OTTERPOHL RU (2002) **Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas**. Keynote presentation at IWA Small, Istanbul, 2002.

PASSIG, Fernando Hermes. **Reator anaeróbio híbrido para tratamento de esgoto sanitário**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PHILIPPI, Luiz Sérgio. **Saneamento descentralizado como instrumento para o desenvolvimento sustentável**. 1997. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico**, 2014.

RODRIGUES, Jarbas Rodrigues et al. Características Gerais Dos Sistemas Locais de Esgotamento Sanitário De Miguel Pereira, Russas-CE. In: **V CONNEPI-2010**. 2010.

SALATI, Eneas; SALATI FILHO, Eneas; SALATI, Eneida. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. **Biológico, São Paulo**, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, 2003.

SANTOS, Ana Silvia Pereira. **Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos**. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2005.

SNIS; Sistema Nacional de Informações de Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Ministério Nacional de Saneamento Ambiental, 2014.

SOUSA, Vanessa Pereira de et al. Sistema compacto de tratamento de esgotos domiciliares composto de tanque séptico modificado e reatores anaeróbios híbridos operando em série. In: **Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?**. ABES, 2005.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21^{ed}, American Public Health Association American Water Works water, 2005.

TONETTI, Adriano Luiz et al. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 11-16, 2011.

TUCCI, Carlos EM. Águas urbanas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, p. 49-66, 1997.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 2008.

ANEXO A

MEMORIAL DE CÁLCULOS

A1. Dimensionamento do filtro dos ensaios:

- Vazão Q

$$Q = \frac{\text{Volume do filtro (mL)}}{\text{tempo de detenção hidráulico (h)}} \therefore 209 \text{ mL/h}$$

A.2 Dimensionamento de filtro anaeróbio em escala real:

- Contribuição diária de esgoto Q

$$Q = N \times C \rightarrow Q = 5 \text{ habitantes} \times \frac{100L}{\text{habitantes dia}} \therefore Q = 500l/dia$$

Onde:

N= Número de habitantes por residência

C= Contribuição de esgoto, no caso de residências de baixo padrão, foco do presente trabalho, é de 100L/dia

- Tempo de detenção hidráulica: t = 1 dia

Para uma vazão inferior a 1500L/d e uma faixa de temperatura de $10 \leq t \leq 25$ °C, o tempo de detenção hidráulica é de 1 dia.

- Volume útil - V_u

$$V_u = 1,60 \times N \times C \times t \rightarrow V_u = 1,6 \times 5 \text{ habitantes} \times 100 \frac{\text{Litros}}{\text{habitante.dia}} \times 1 \text{ dia} \therefore V_u = 800L$$

Onde:

V= volume total do filtro

N= Número de pessoas

C= Contribuição de esgoto, no caso de residências de baixo padrão, foco do presente trabalho, é de 100L/dia.

t= Tempo de detenção hidráulica.

- Eficiência do Filtro – E:

$$E = \frac{(S_0 - S) \times 100}{S_0} \therefore 68,86\%$$

Onde:

S_0 = Concentração de DQO do afluente

S = Concentração de DQO do Efluente

A.3 Sólidos

- Sólidos totais- S_t

$$S_t = \frac{(A-B)*1000}{Vol.Amostra (ml)}$$

Onde:

A= massa da cápsula + Massa do sólido seco após estufa

B= massa da cápsula

- Sólidos totais Fixos – S_{TF}

$$S_{TF} = \frac{(B - C) * 1000}{Vol. Amostra (ml)}$$

Onde:

B= massa da cápsula + massa sólido após mufla

C= massa da cápsula

- Sólidos totais Voláteis – S_{TV}

Sólidos totais voláteis = (sólidos totais – sólidos fixos).

A.4 DQO

Curva gerada pela equação:

$$y = Ax + B.$$

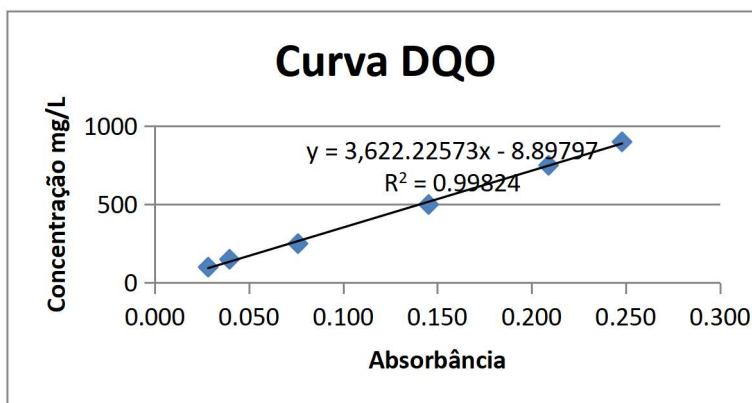


Figura A1. Gráfico curva de DQO.

$$y = 3.622,22573x - 8,89797$$

onde:

y= absorbância da amostra

x = DQO em mg/L

ANEXO B

TABELAS DE DADOS

Tabela B1. Análises dos sólidos em triplicata

Amostra	A	B	C	Sólidos totais	Sólidos totais fixos	Sólidos totais voláteis
Esgoto Bruto -1	30,3544	30,3867	30,3686	1,076666667	0,473333333	0,603333333
Esgoto Bruto -2	37,5251	37,5609	37,538	1,193333333	0,43	0,763333333
Esgoto Bruto -3	30,5301	30,5596	30,5418	0,983333333	0,39	0,593333333
Média				1,084444444	0,431111111	0,653333333
Desvio padrão				0,105215828	0,041677776	0,09539392
Tampas PEAD 1	48,56	48,5803	48,5716	0,676666667	0,386666667	0,29
Tampas PEAD 2	52,7327	52,7515	52,7473	0,626666667	0,486666667	0,14
Tampas PEAD 3	52,4828	52,4998	52,4918	0,566666667	0,3	0,266666667
Média				0,623333333	0,391111111	0,232222222
Desvio Padrão				0,055075705	0,093412665	0,080714403
Anéis Bambu 1	31,6147	31,7774	31,7322	5,423333333	3,916666667	1,506666667
Anéis Bambu 2	37,4451	37,609	37,556	5,463333333	3,696666667	1,766666667

Tabela B2. Análise da DQO em triplicata.

Amostra	Absorbância	DQO- mg/L	Média	Desvio padrão
Tampas PEAD 1	0,092	324,326	306,216	18,11
Tampas PEAD 2	0,087	306,216		
Tampas PEAD 3	0,082	288,106		
Esgoto Bruto 1	0,275	987,152	983,53	13,05931
Esgoto Bruto 2	0,27	969,042		
Esgoto Bruto 3	0,277	994,396		
Bambu 1	0,429	1544,94	1272,082667	236,4124
Bambu 2	0,318	1142,898		
Bambu 3	0,314	1128,41		

Tabela B3. Características dos elementos da amostra dos anéis de bambu.

N	Diâmetro interno cm	Diâmetro Externo cm	Altura cm	Superfície interna cm²	superfície externa cm²	Área da espessura cm²	Área Superficial total cm²	Volume diâmetro interno cm³	Volume diâmetro externo cm³	Volume total cm³
---	---------------------	---------------------	-----------	------------------------	------------------------	-----------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------

1	1,7	2,4	2	10,68141502	15,07964474	4,508185458	30,26925	4,539601	9,047787	3,415697
2	1,8	2,3	1,7	9,61327352	12,28362728	3,22013247	25,11703	4,325973	7,063086	
3	1,9	2,4	1,7	10,14734427	12,81769803	3,377212103	26,34225	4,819989	7,690619	
4	1,6	2,1	1,7	8,545132018	11,21548577	2,905973205	22,66659	3,418053	5,88813	
5	1,8	2,5	1,5	8,482300165	11,78097245	4,728096944	24,99137	3,817035	7,363108	
6	1	1,7	2	6,283185307	10,68141502	2,968805058	19,93341	1,570796	4,539601	
7	1,8	2,3	2,2	12,44070691	15,89645883	3,22013247	31,5573	5,598318	9,140464	
8	1,1	1,9	1,8	6,220353454	10,74424688	3,769911184	20,73451	1,710597	5,103517	
9	1,9	2,4	2	11,93805208	15,07964474	3,377212103	30,39491	5,670575	9,047787	
10	1,1	1,9	1,9	6,565928646	11,34114948	3,769911184	21,67699	1,80563	5,387046	
11	1,8	2,4	2	11,30973355	15,07964474	3,958406744	30,34779	5,08938	9,047787	
12	1,9	2,5	2,1	12,53495469	16,49336143	4,146902303	33,17522	5,954103	10,30835	
13	1,8	2,4	1,7	9,61327352	12,81769803	3,958406744	26,38938	4,325973	7,690619	
14	1,7	2,4	1,5	8,011061267	11,30973355	4,508185458	23,82898	3,404701	6,78584	
15	1,8	2,3	2,5	14,13716694	18,06415776	3,22013247	35,42146	6,361725	10,38689	
16	1,8	2,4	1,3	7,351326809	9,801769079	3,958406744	21,1115	3,308097	5,881061	
Média	1,65625	2,26875	1,85	9,617200511	13,15541924	-	26,49737	4,107534	7,523231	

ANEXO C

MATERIAS E PROCEDIMENTOS DAS ANÁLISES

C.1- DQO

Equipamentos, Materiais e Reagentes

Vórtex;

Reator de DQO;

Espectrofotômetro ($\lambda=600\text{nm}$);

Becker;

Tubos boro silicatos com capacidade para 10 mL, com tampa rosqueável;

Grade para tubos;

Micropipetador automático 1-5ml;

Ponteiras para micropipetador;

Solução Padrão Digestora de Dicromato de Potássio

Solução de Ácido Sulfúrico concentrado e Sulfato de Prata;

4.4.1.2 - Procedimentos

Separaram-se três amostras: esgoto bruto, efluente de filtro biológico com recheio de tampas de PEAD e efluente de filtro biológico com recheio de bambu. Em triplicata com o auxílio do micropipetador adicionou-se 2,5mL de cada amostra nos tubos de DQO, sendo adicionado em mais um tubo 2,5mL de água para o branco. A seguir adicionou-se de 1,5 mL da solução digestora e 3,5 mL do ácido concentrado em todos os tubos. Homogeneizou-se em vórtex e transferiu-se para o reator de DQO à 150°C por duas horas. Após resfriamento

realizou-se a leitura em espectrofotômetro à 600nm. Através da equação gerada pela curva de calibração para determinação de DQO da solução digestora, cedida pelo Laboratório de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de São João Del Rei campus Alto Paraopeba obteve-se os valores de DQO.

4.4.2 - Sólidos Totais Fixos e Voláteis

4.4.2.1 - Equipamentos e Materiais

Estufa 105°C;

Mufla 550°C;

Banho Maria;

Balança Analítica com Precisão de 0,1mg;

Cápsula de Porcelana;

Dessecador contendo sílica gel indicadora de umidade;

Proveta 50mL;

Cápsula de porcelana;

4.4.2.2 - Procedimentos

As cápsulas foram preparadas em mufla a 550°C por uma hora e resfriadas em dessecador por 30min, a seguir foram pesadas. Em triplicata, com o auxílio de uma proveta transferiu-se 30mL de cada amostra para cada cápsula. As amostras em cápsula foram transferidas para o banho maria até evaporação dos líquidos, em seguida as amostras foram transferidas para estufa a 105°C por uma hora e dessecador por meia hora. As cápsulas foram pesadas e os sólidos totais obtidos em mg/L. Para a obtenção dos sólidos totais fixos e voláteis, após pesagem transferiu-se as cápsulas para calcinar em mufla à 550°C por 20min. Após calcinação resfriou-se as amostras em dessecador por 30min e realizou-se nova pesagem. Obtendo-se os sólidos totais voláteis em mg/L.