



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**ELDER SANDRO PORTO DOS SANTOS**

**PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS POR FILTROS DE AREIA  
INTERMITENTES**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2011**

**ELDER SANDRO PORTO DOS SANTOS**

**PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS POR FILTROS DE AREIA  
INTERMITENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientador: Prof. Dr. HOWARD WILLIAM PEARSON**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

S596p

Santos, Elder Sandro Porto dos.

Pós-tratamento de reatores anaeróbios por filtros de areia intermitentes [manuscrito] / Elder Sandro Porto dos Santos. – 2011.

41 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologias, 2011.

“Orientação: Prof. Dr. Howard William Pearson, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.”

1. Tratamento de Esgoto Sanitário. 2. Digestão Anaeróbia. 3. Filtros de Areia Intermitentes. I. Título.

21. ed. CDD 628.3

**ELDER SANDRO PORTO DOS SANTOS**

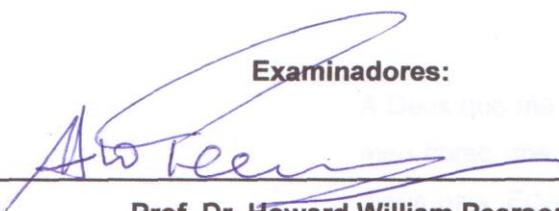
**PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS POR FILTROS DE AREIA  
INTERMITENTES**

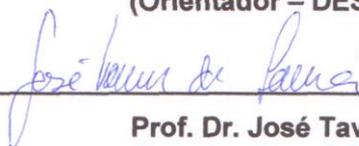
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 18 / 11 / 2011

Nota: 9,2 (Nove virgula dois)

**Examinadores:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Howard William Pearson**  
(Orientador – DESA/CCT/UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Tavares de Sousa**  
(Examinador – DESA/CCT/UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Ms. Ruth Silveira do Nascimento**  
(Examinadora – DESA/CCT/UEPB)

A Deus que me concedeu a conclusão do meu curso, me capacitando para tal, aos meus pais, Edvaldo Pereira dos Santos e Maria Salete Porto dos Santos, e também ao meu Tio Silvano Porto Pereira por terem me apoiado todo esse tempo e me incentivado, acreditando que eu seria capaz de alcançar mais esta vitória em minha vida.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Howard William Pearson, pela disposição em me orientar na elaboração deste trabalho, pela oportunidade de trabalhar com o tema, pela consideração, confiança e cooperação durante todo o período de desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários e professores do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, principalmente àqueles que fazem parte do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, pelo apoio, orientação, amizade, paciência e conhecimentos transmitidos durante minha trajetória universitária, que certamente contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual e formação profissional.

A presença, o carinho e a cooperação de cada um foram essenciais para esta conquista. Obrigada a todos!

*“Podemos acreditar no futuro e trabalhar para atingi-lo e preservá-lo ou podemos andar cegamente em círculos, comportando-nos como se um dia não fossem mais existir crianças para herdar nosso legado. A escolha é nossa; a Terra está em jogo.”*

Al Gore

SANTOS, Elder Sandro Porto. **Pós-Tratamento de Reatores Anaeróbios por Filtros de Areia Intermitentes**. Campina Grande, UEPB, 2011, 41 p. (Monografia para Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

## RESUMO

Com o grande aumento da população há também o aumento do consumo dos recursos naturais, o que nos levar a dizer que a necessidade de água tende a crescer cada vez mais, para atender ao desenvolvimento industrial e outras atividades humanas. Segundo o Sistema Nacional de Informação Sobre o Saneamento (SNIS) de 2009 apenas 44,5% do esgoto gerado no Brasil é coletado e apenas 37,9% do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento. Uma das formas para se melhorar esses dados é o tratamento descentralizado do esgoto e o tratamento anaeróbio é uma delas, essa forma de cuidar da estabilização da matéria orgânica presente no esgoto seguido de filtros de areia se mostrou uma ótima alternativa. A filtração intermitente surgiu em 1870, na Inglaterra, como a primeira tentativa exitosa de converter o tratamento de esgoto com uso do solo em um processo controlado. Porém, há poucas informações ou experiências sobre o funcionamento desses filtros em condições tropicais, e como o efluente tratado pode ser utilizado em agricultura familiar ou em comunidades difusas. O funcionamento deste sistema baseia-se na aplicação de afluente intermitente sobre a superfície de um leito de areia. Durante a infiltração, ocorre a purificação por mecanismos físicos, químicos e biológicos. O experimento realizado na EXTRABES de reatores anaeróbios seguido de filtros de areia intermitente teve uma eficiência de remoção da DQO de 81%, SST de 97% e uma turbidez de 96%. Enquanto que a nitrificação, no mesmo sistema, apresentou uma eficiência de aproximadamente 70%, o que portanto, o efluente gerado pode ser usado para a irrigação com algumas restrições, isto segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) (2005).

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto. Digestão anaeróbia. Filtros de areia intermitentes. DQO. Nitrificação.

SANTOS, Elder Sandro Porto. **Post-treatment of anaerobic reactors for intermittent sand filters**. Campina Grande, UEPB, 2011, p. 41 (Monograph for Undergraduate Sanitary and Environmental Engineering).

### **ABSTRACT**

With the great increase in population there is also increased consumption of natural resources, which lead us to say that the need for water tends to grow more and more to meet the industrial development and other human activities. According SITEME National Information About Sanitation (NHIS) of 2009 only 44.5% of sewage generated is collected in Brazil and only 37.9% of the sewage receives any treatment. One way to improve the data is decentralized wastewater treatment and anaerobic treatment is one, this form of care for the stabilization of organic matter present in sewage followed by sand filters has shown a great alternative. The intermittent filtration appeared in 1870 in England, as the first successful attempt to convert the wastewater treatment using soil in a controlled process. However, there is little information or experiences on the operation of these filters in tropical conditions, and how the treated effluent can be used on family farms or in communities diffuse. The operation of this system is based on the application of intermittent tributary on the surface of a sand bed. During infiltration, purification occurs by physical mechanisms, chemical and biological. The experiment carried out in EXTRABES anaerobic reactors followed by intermittent sand filters have a removal efficiency of 81% of COD, TSS 97% and a turbidity of 96%. While nitrification showed an efficiency of about 70% so that the effluent can be used for irrigation with some restrictions, that according to the WHO (2005).

**KEYWORDS:** Sewer. Anaerobic digestion. Intermittent sand filters. COD. Nitrification.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balanço esquemático de DQO nos sistemas aeróbio e anaeróbio .....	19
Figura 2 – Funcionamento de uma fossa séptica.....	21
Figura 3 – Desenho esquemático de um reator UASB.....	23
Figura 4 – Filtro Intermitente Modelo PHS .....	25
Figura 5 – Perfil longitudinal do sistema experimental .....	29
Figura 6 – Esquema do reator UASB com os filtros .....	31
Figura 7 – Esquema do sistema fossa séptica e UASB .....	32
Figura 8 – Valores do nitrogênio total (NTK), amoniacal (NA), nitrito e nitrato no afluente e efluente da fossa séptica, e nos efluentes dos fitros de areia .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios .....	18
Tabela 2 – Resumo da granulometria da areia utilizada nos filtros .....	30
Tabela 3 – Carga orgânica volumétrica e TDH aplicado a fossa séptica e nos filtros de areia intermitentes .....	30
Tabela 4 – Concentrações médias dos parâmetros analisados.....	33
Tabela 5 – Percentual de remoção dos parâmetros analisados com referência de valores do afluente do sistema.....	33
Tabela 6 – Concentrações médias dos parâmetros analisados do sistema UASB e filtros.....	35
Tabela 7 – Porcentagem de remoção do sistema UASB e filtros.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

**AF** – Afluente da Fossa;

**APHA** -- American Public Health Association;

**CCT** – Centro de Ciências e Tecnologia;

**DAFA** – Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente;

**DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio;

**DQO** – Demanda química de oxigênio;

**EF** – Efluente da Fossa;

**EXTRABES** – Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários;

**FAINT** – Filtros de Areia Intermitentes

**NBR** – Norma Brasileira;

**OMS** – Organização Mundial de Saúde;

**RAFA** – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente;

**RALF** – Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado;

**SNIS** – Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento;

**SST** – Sólidos Suspensos Totais;

**TDH** – Tempo de Detenção Hidráulico;

**UASB** -- Upflow Anaerobic Sludge Blanket;

**UEPB** – Universidade Estadual da Paraíba;

## LISTA DE SÍMBOLOS

~ – Aproximadamente;

% – Percentagem;

°C – Grau Celsius;

**g** – Grama;

**L** – Litro;

**m** – Metro;

**m<sup>2</sup>** – Metro Quadrado;

**m<sup>3</sup>** – Metros Cubico;

**mm** – Milímetros;

**mg** – Miligrama;

**pH** – Potencial hidrogeniônico;

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 Objetivo Geral .....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
3.1 Digestão Anaeróbia.....	17
3.2 Reatores Anaeróbios.....	19
3.2.1 Fossas Sépticas .....	19
3.2.2 Reator UASB.....	22
3.3 Filtros de Areia .....	23
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
5.1 Sistema fossa.....	33
5.2 Sistema reator UASB .....	35
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No último dia 31 de Outubro de 2011 chegamos a impressionante marca de 7 bilhões de habitantes, segundo Braga (2005) a população mundial cresceu de 2,5 bilhões em 1950 para 6,2 bilhões no ano de 2002 e, atualmente, a taxa de crescimento se aproxima de 1,13% ao ano. Miller (2011) comenta que a menos que as taxas de mortalidade aumentem consideravelmente, cerca de 8 a 10 bilhões de pessoas habitaram a terra até o fim deste século.

Com o aumento da população há também o aumento do consumo dos recursos naturais, o que nos leva a dizer que a necessidade de água tende a crescer cada vez mais, para atender ao desenvolvimento industrial e outras atividades humanas.

Como parte da água que é usada nas diversas atividades transforma-se em esgoto, ou água servidas, do qual tem-se a necessidade de se dar um tratamento adequado afim de não degradar o meio ambiente e conserva os recursos naturais e assim explorá-lo de forma adequado e sustentável.

Sabe-se que para conseguir tal sustentabilidade o saneamento é uma das principais armas, a coleta de esgoto é importante para se prevenir a poluição dos corpos d'águas superficiais e subterrâneas, a poluição do solo e o controle de doenças de veiculação hídrica. Mas a coleta de esgoto segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento (SNIS) de 2009 apenas 44,5% do esgoto gerado no Brasil é coletado, isso incluindo a área urbana e rural, e apenas 37,9% do esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento.

O tratamento descentralizado do esgoto, de certa forma, é uma das soluções recomendadas, principalmente em zonas rurais, onde a construção de um sistema de coleta é impraticável e às vezes difícil, por razões principalmente econômicas.

Uma das formas para se tratar o esgoto é o tratamento anaeróbio, esse tipo tratamento tem alguns pontos positivos e negativos. No caso dos pontos negativos um deles é a qualidade do efluente final, ele não é de certa forma satisfatória, por isso se tem a necessidade de fazer um pós-tratamento, como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos dos esgotos.

A proposta de associação do reator anaeróbio com o filtro de areia resolveria tal questão e geraria um efluente com alto grau de tratamento, mantendo o seu custo total de instalação ainda muito baixo. Esta composição adequadamente projetada é altamente eficiente e requer um mínimo de operação e manutenção, permitindo a disposição de seus efluentes diretamente sobre os cursos d'água, respeitando todas as legislações ambientais ou, ainda, o seu reuso em distintas atividades, Tonetti (2002).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

- Propor uma alternativa de tratamento descentralizado em lugares em que a rede de coleta de esgoto não chegue.

### 2.2. Objetivo Especifico

- Investigar o tratamento anaeróbio (fossa séptica e UASB) em conjunto com filtros de areia intermitente para o tratamento de esgoto doméstico;
- Determinar a qualidade físico-química do efluente produzido;
- Mostra a influência das alturas das camadas de areia e conseqüentemente a forma que os filtros são distribuídos (em série e paralelo) na qualidade do efluente final.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Digestão Anaeróbia

Segundo Chernicharo (2007) a digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, envolvendo processos metabólicos complexos, que ocorrem em etapas sequenciais e que dependem da atividade de, no mínimo, 3 grupos fisiológicos de microrganismos:

- Bactérias fermentativas (ou acidogênicas);
- Bactérias sintróficas (ou acetogênicas);
- Microrganismos metanogênicos.

Cada grupo microbiano tem funções específicas. As bactérias fermentativas acidogênicas convertem, por hidrólise e fermentação, os compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em outros compostos mais simples, principalmente ácidos orgânicos, além de hidrogênio e dióxido de carbono. Os microrganismos sintróficos acetogênicos convertem compostos orgânicos intermediários, como propionato e butirato, em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Por fim, o acetato e o hidrogênio produzidos nas etapas anteriores são convertidos em metano e dióxido de carbono. Esta conversão é efetuada por um grupo especial de microrganismos, denominados arqueas metanogênicas, esse tipo de microrganismo depende do substrato fornecido pelas bactérias formadoras de ácidos.

Os microrganismos metanogênicos desenvolvem duas funções primordiais nos ecossistemas anaeróbios: i) produzem um gás insolúvel (metano), possibilitando a remoção do carbono orgânico contido na fase líquida; ii) são responsáveis pela manutenção da pressão parcial de hidrogênio no meio em níveis suficientemente baixos, permitindo que as bactérias fermentativas e formadoras de ácidos produzam produtos solúveis mais oxidados. Uma vez que os microrganismos metanogênicos ocupam uma posição final no ambiente anaeróbio, durante a degradação de compostos orgânicos, a sua baixa taxa de crescimento normalmente representa o fator limitante no processo de digestão como um todo, (CHERNICHARO, 2007).

A digestão anaeróbia apresenta algumas desvantagens que é a baixa remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e patógenos, outra desvantagem é

também quanto a remoção da carga orgânica que não é suficiente para ser considerado adequado de acordo com a norma de lançamentos de efluentes, por isso a necessidade de haver um pós-tratamento, o quadro 1, apresenta as vantagens e desvantagens de se usar essa tecnologia.

Tabela 1: Principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

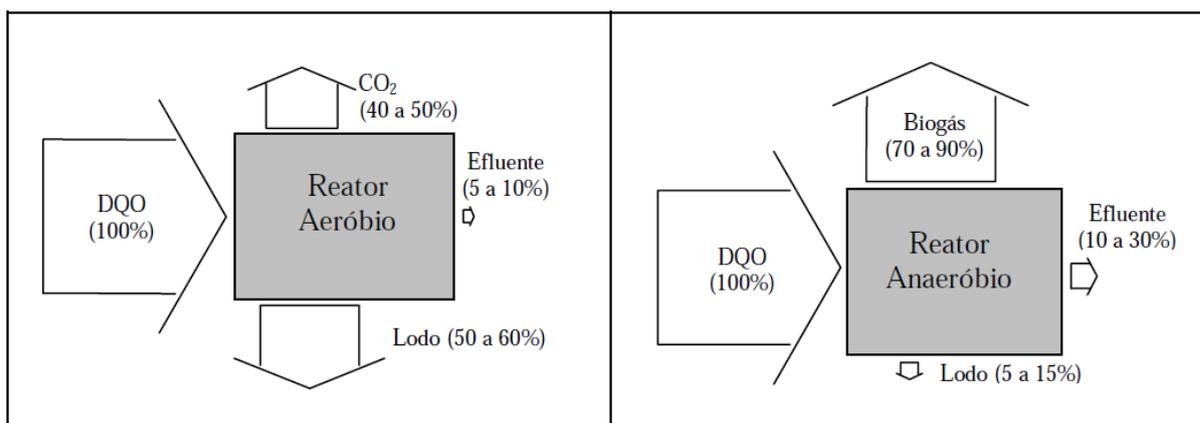
Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 2 a 8 vezes inferior à que se ocorre nos processos aeróbio;	Remoção de nitrogênio, fosforo e patógenos insatisfatória;
Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos;	Produção de efluente com qualidade insuficiente para atender os padrões ambientais;
Baixa demanda de área;	Possibilidade de distúrbios devido a choques de carga orgânica e hidráulica, presença de compostos tóxicos ou ausência de nutrientes;
Baixos custos de implantação;	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas;
Produção de metano;	A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado;
Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;	Possibilidade de geração de maus odores e de problemas de corrosão, porém controláveis.
Tolerância a elevadas cargas orgânicas;	
Aplicabilidade em pequena e grande escala;	
Baixo consumo de nutrientes.	

Fonte: adaptado de Chernicharo & Campos (1995); Von Sperling (1995); Lettinga *et al.* (1996)

Uma das principais diferenças entre esses dois sistemas é a conversão do gás metano e a baixa produção de lodo pela digestão anaeróbia. A figura 1 mostra algumas vantagens desse tipo de tecnologia em relação a digestão aeróbia.

Verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável é convertido em metano de 70 a 90% e que pode ser aproveitado como forma de combustível. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa, cerca de 5 a 15%, vindo se constituir o lodo excedente do sistema. O material não convertido em biogás ou em biomassa sai do reator como material não degradado, de 10 a 30%, segundo Chernicharo (2007).

Figura 1: Balanço esquemático de DQO nos sistemas aeróbio e anaeróbio



Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007)

A parte da digestão aeróbia tem uma grande produção de lodo excedente, se comparado com a digestão anaeróbia, mas uma qualidade de afluente bem melhor com uma quantidade de 5 a 10% de material não degradado, com parte do que foi degradado transformado em gás carbônico.

Outra abordagem interessante é feita por Lettinga (1995), que ressalta a necessidade de implementação de sistemas integrados de proteção ambiental, que conciliem o tratamento de esgoto com a recuperação e o reuso de seus subprodutos.

## 3.2. Reatores Anaeróbios

### 3.2.1. Fossa Séptica

Segundo Jordão & Pessoa (2009), um dispositivo de tratamento de esgotos destinados a receber a contribuição de um ou mais domicílios e com capacidade de dar aos esgotos um grau de tratamento compatível com a sua simplicidade e custo. Assim, pode ser definida como uma câmara convenientemente construída para reter os esgotos sanitários por um período de tempo criteriosamente estabelecido, de modo a permitir a sedimentação dos sólidos e a retenção do material graxo contido

nos esgotos, transformando-os bioquimicamente em substâncias e compostos mais simples e estáveis.

Como demais sistemas de tratamento, deveram dar condições aos seus efluentes de:

- Impedir a poluição de mananciais destinados ao abastecimento domésticos;
- Não alterar as condições de vida aquática nas águas receptoras;
- Não prejudicar as condições de balneabilidade de praias e outros locais de recreação e esporte;
- Não ocasionar a poluição de águas localizadas (lagos ou lagoas), de cursos d'água que atrevessem núcleos de população, ou de águas utilizadas na dessedentação de rebanhos e na horticultura, além dos limites permissíveis, a critério do órgão local responsável pela saúde pública.

De acordo com Jordão & Pessoa (2009), o funcionamento das fossas sépticas pode ser explicado nas seguintes fases do desenvolvimento do processo:

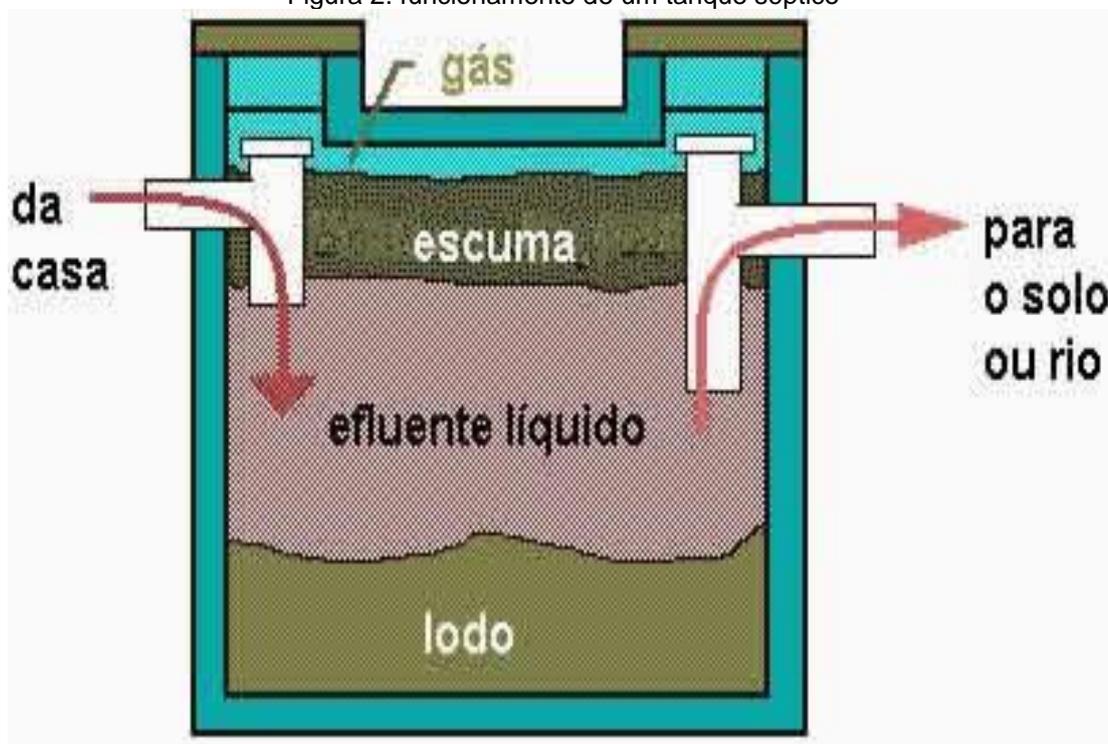
- Retenção do esgoto: o esgoto é detido na fossa por um período racionalmente estabelecido, que pode variar de 12 a 24 horas, dependendo das contribuições afluentes;
- Decantação do esgoto: simultaneamente à fase anterior, processa-se uma sedimentação de 60 a 70% dos sólidos em suspensão contidos nos esgotos, formando-se uma substância semilíquida denominada lodo. Parte dos sólidos não sedimentados, formados por óleos, graxas, gorduras e outros materiais misturados com gases, emerge e é retida na superfície livre do líquido, no interior da fossa séptica; estes sólidos são comumente denominados de espuma;
- Digestão anaeróbia do lodo: ambos, lodo e espuma, são degradados por bactérias anaeróbias, provocando destruição total ou parcial de material volátil e organismos patogênicos;
- Redução de volume do lodo: do fenômeno anterior, digestão anaeróbia, resultam gases, líquidos e acentuada redução de volume dos sólidos retidos e digeridos, que adquirem características estáveis

capazes de permitir que o efluente líquido das fossas sépticas possa ser disposto em melhores condições de segurança.

O tanque séptico é projetada de modo a receber todos os despejos domésticos, ou qualquer outro despejo, cujas características se assemelham às do esgoto doméstico. Em alguns locais é obrigatório a intercalação de um dispositivo de retenção de gordura (caixa de gordura) na canalização que conduz os despejos das cozinhas para a tanque séptico.

A figura 2 mostra esquematicamente o funcionamento de um tanque séptico, desde a chegada do efluente até a sua saída, como em todo sistema anaeróbio há uma formação de gás metano, nesse tipo de tratamento se tem uma formação de espuma na parte superior que se dá pela a ação das bactérias, a qual impede a libertação de cheiros. Como as águas negras entram próximo do fundo da fossa, não perturbam a superfície. No fundo da fossa forma-se uma lama que tem de ser extraída à bomba periodicamente.

Figura 2: funcionamento de um tanque séptico



São também vetados os lançamentos diretos de qualquer despejo que possa por qualquer motivo causar condições adversas ao bom funcionamento das fossas

sépticas ou que apresentem um elevado índice de contaminação por microrganismos patogênicos. (JORDÃO & PESSOA, 2009).

### 3.2.2. Reatores UASB

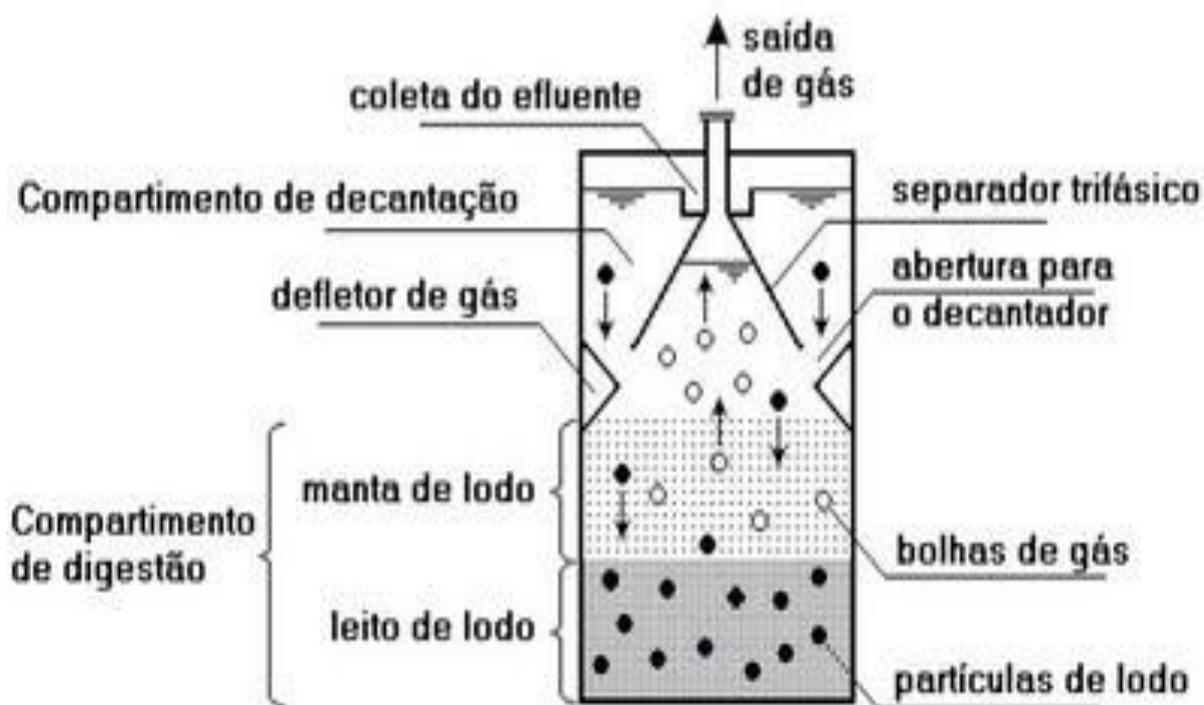
Segundo Jordão & Pessoa (2009) sistemas em que o lodo se acha suspenso, agregado na forma de floco ou grânulo. Neste caso tem-se o chamado “Reator de Manta de Lodo” (na literatura inglesa “UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket”, termo já adotado no Brasil). As bactérias formam uma zona ou manta de lodo no interior do reator. Este por sua vez, requer dispositivos bem dimensionados, e também conhecidos como “RAFA, Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente”, ou “DAFA, Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente”. No Paraná é comum a terminologia “RALF, Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado”.

Estes tipos de reatores caracterizam-se pela as seguintes etapas, onde pode ser visto na figura 3 esquematicamente:

- Câmara de digestão: inferior, onde se localiza o leito de lodo (manta de lodo), e onde se processa a digestão anaeróbia. O esgoto penetra no interior do UASB, entra por esta zona de lodo, atravessando-a no sentido ascendente. Neste trajeto, parte da matéria orgânica permanece na zona de lodo, iniciando o processo de digestão anaeróbia.
- Separador de fases: dispositivo que fisicamente caracteriza uma zona de sedimentação, líquida e gasosa; é na verdade um defletor de gases;
- Zona de transição: entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior;
- Zona de sedimentação: o esgoto penetrando pela abertura da parte inferior, alcança os vertedores de superfície, com uma velocidade ascensional adequada para a sedimentação dos sólidos e flocos, os quais retornam pela a abertura das paredes para a zona de transição e de digestão. A parte líquida é recolhida com características de efluente clarificado;

- Zona de acumulação de gás: o gás produzido na fase de digestão é retido em uma zona superior de acumulação, onde é coletado e eventualmente aproveitado.

Figura 3: Desenho esquemático de um reator UASB



Fonte: adaptado de Chenicharo 2007

### 3.3. Filtros de Areia

O filtro de areia é um método de tratamento bastante antigo, inicialmente adotado na remoção de turbidez da água potável. A partir do século XIX, na Europa e nos Estados Unidos, passou a ser aproveitado na depuração de esgoto (MICHELS, 1996).

A filtração intermitente surgiu em 1870, na Inglaterra, como a primeira tentativa exitosa de converter o tratamento de esgoto com uso do solo em um processo controlado. Foi desenvolvida por Sir Edward Frankland, visando superar a

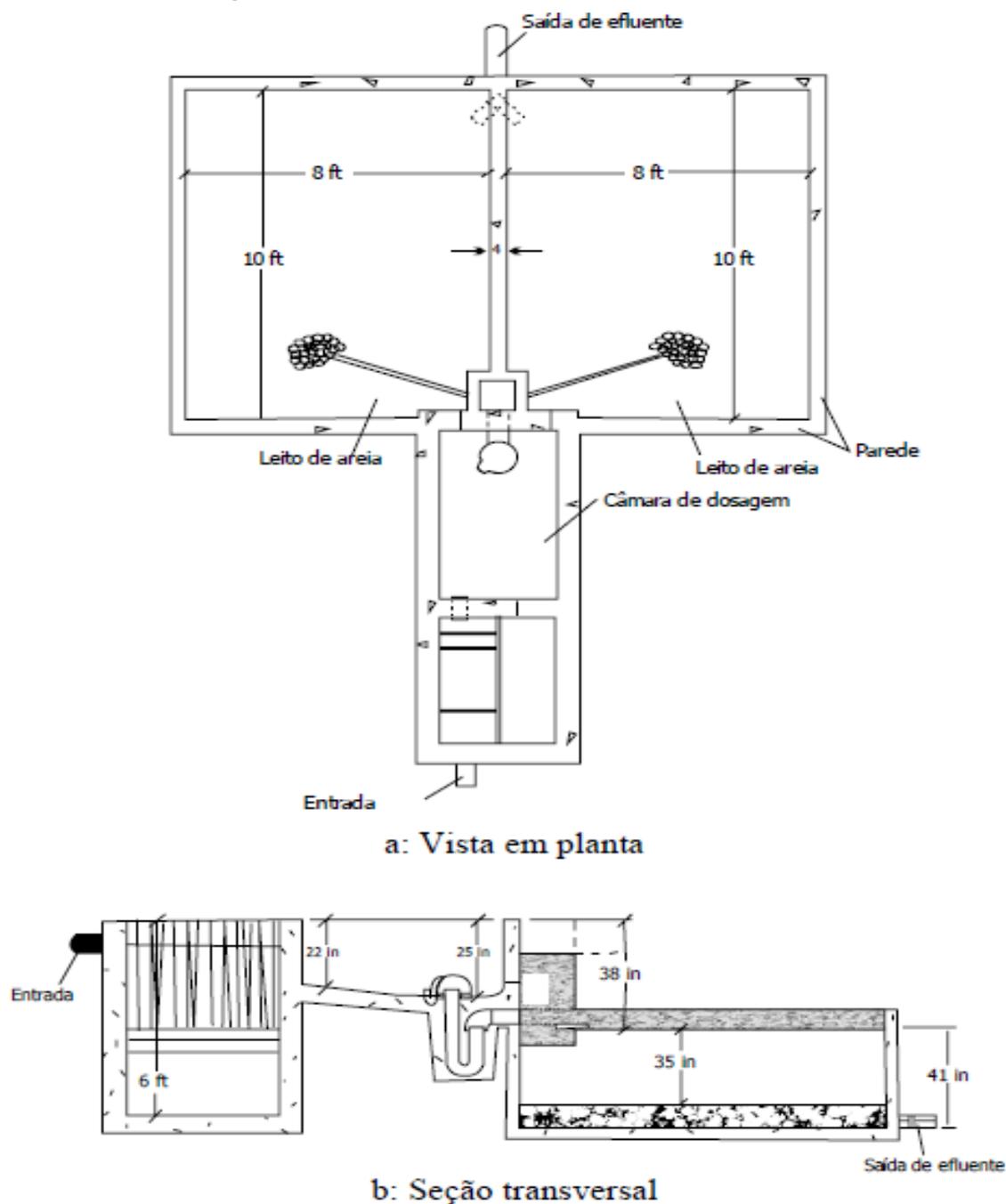
dificuldade da integração, de forma permanente, entre a necessidade de purificação dos esgotos e o seu uso agrícola. Em seu trabalho experimental, ele usou cilindros de vidro preenchidos com materiais que variaram da brita grossa ao solo turfoso. Frankland adotou uma frequência de duas aplicações diárias e manteve a operação com sucesso por mais de quatro meses. Embora o desempenho do filtro tenha sido creditado exclusivamente a processos físico-químicos, ficou estabelecido o conceito da filtração intermitente, qual seja, de manter um período de descanso e aeração entre duas aplicações de esgoto (JEWELL e SEABROOK, 1979, PETERS e ALLEMAN, 1982).

Os conceitos de Frankland teriam caído no esquecimento se, no final do século XIX, o *Massachusetts State Board Of Health (MSBH)* não tivesse se interessado pelo assunto. Esse interesse foi materializado na criação de uma estação experimental, em Lawrence, cujo objetivo era realizar pesquisas sobre o uso de areia e brita no tratamento de esgotos, segundo o conceito proposto poucos anos antes por Frankland. Como resultado do trabalho, em 1876, foi construído em Lenox o primeiro filtro intermitente de areia para atendimento comunitário. Entre 1891 e 1937, o MSBH monitorou o desempenho de mais de 26 sistemas de tratamento baseados em filtração em areia atendendo a comunidades (CRITES e THCOBANOGLOUS, 1998).

Em 1920, o *Public Health Service (USA)* publicou um relatório descrevendo o tratamento de esgotos para residências e pequenas comunidades, no qual o filtro intermitente de areia aparecia de forma destacada juntamente com os dados acerca do seu desempenho, figura 4, (CRITES E TCHOBANOGLOUS, 1998).

O pós-tratamento de reatores anaeróbios que pode ser utilizado é o filtro aeróbio de areia, segundo Pearson (2011), os filtros de areia intermitente (aeróbio) são aplicados a mais de 40 anos em países de climas temperados, para tratar efluentes de fossa séptica de residências isoladas na zona rural. Porém, há poucas informações ou experiências sobre o funcionamento desses filtros em condições tropicais, e como o efluente tratado pode ser utilizado em agricultura familiar ou em comunidades difusas.

Figura 4: Filtro Intermitente Modelo PHS em 1920



Fonte: CRITES e TCHOBANOGLIOUS, 1998.

Nos Estados Unidos da América, 25% de todas as moradias e aproximadamente 40% das novas casas construídas, utilizam os sistemas simplificados no tratamento de esgotos, pela sua viabilidade tecnológica. Na Europa, essa tecnologia tem sido estabelecida em inúmeros locais, especialmente na Alemanha e no Reino Unido (PROCHASKA e ZOUBOULIS, 2003). Sua operação é

baseada no gerenciamento da água residuária nas proximidades do próprio ponto de origem. Dessa forma, torna-se uma alternativa de tratamento para pequenas localidades, casas individuais, condomínios, comunidades isoladas, indústrias ou no pequeno comércio onde o gasto para conexão com uma rede pública de esgoto seria alto. Os sistemas simplificados de processamento dos esgotos apresentam baixo custo, sendo uma opção adequada para contribuir com a obtenção de saúde pública em áreas de menor densidade populacional (DIX *et al* 1998 *apud* TONETTI, 2008).

Basicamente um filtro de areia é uma combinação de filtro físico e tratamento com microrganismos imobilizados nas partículas de areia e são usados no tratamento de água potável. A ideia de se usar filtros de areia para tratar águas residuárias não é nova, mas há um novo interesse geral para se utilizar esta tecnologia (RODGERS *et al* 2006) particularmente para pequenas comunidades em regiões semi-áridas para conservar água e reuso de efluentes por irrigação (EMMERIDE *et al.*, 1997; EPA, 1999; SIMPSON, 2000).

O tamanho e uniformidade das partículas de areia são importantes em termos de eficiência dos filtros intermitente e recirculação do efluente pode melhorar a eficácia do processo de nitrificação e remoção de nutrientes (WA DOH 2007).

Recentes estudos, em Israel, (SABBAH *et al*, 2004) com filtros de areia (1,5m de profundidade e carga orgânica de 20-40g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/d), apresentaram remoção de DBO entre 90-95% , DQO e SST entre 75-90% e nitrificação, mas não mostraram informação sobre remoção de coliformes fecais (indicadores de microrganismos patogênicos). Já um estudo de Verma e Mancl (2001) mostra que a remoção de coliformes fecais foi 2-3 unidades logarítmicas cada vez que o afluente passou pelo filtro a constataram que os fatores mais importantes para o controle da qualidade do efluente foram o tamanho das partículas da areia e a profundidade do filtro.

O desempenho superior do filtro de areia em reter material orgânico, comparado com outros tipos de filtro, se deve a sua capacidade de coletar esses contaminantes ao longo da trajetória percorrida na camada de areia e da possibilidade de acumular grandes quantidades de algas antes se ser necessária a sua limpeza (KELLER & BLIESNER, 1990). Esse comportamento está comprovado na pesquisa desenvolvida por Dehghanisani *et al* (2004), que, ao avaliarem o impacto de contaminantes biológicos no entupimento de gotejadores, concluíram

que o filtro de areia foi mais efetivo na remoção desses agentes biológicos do que os filtros de poliuretano e de disco, apesar de requerer maior número de retrolavagens.

O funcionamento deste sistema baseia-se na aplicação de afluente intermitente sobre a superfície de um leito de areia. Durante a infiltração, ocorre a purificação por mecanismos físicos, químicos e biológicos, Tonetti (2004).

O mesmo Tonetti em 2003 afirma que o tratamento físico é resultante do peneiramento e o químico ocorre pela adsorção de determinados compostos. A purificação depende principalmente da oxidação bioquímica que ocorre no contato do afluente com a cultura biológica.

Conforme a NBR 13969 de 1997, filtro de areia é um tanque preenchido de areia e outros meios filtrantes, com fundo drenante e com esgoto e com esgoto em fluxo descendente, onde ocorre a remoção de poluentes, tanto por ação biológica quanto física.

Meio filtrante é definido como material destinado a reter sólidos ou fixar microrganismos na sua superfície para depuração de esgotos, isso de acordo com a NBR 13969 de 1997.

Jordão & Pessoa (2009) comenta que o “meio suporte” antigamente denominado de “meio drenante” ou “meio filtrante”, é constituído de uma massa de sólidos, convenientemente depositada no tanque, com a finalidade de agregar a biomassa, em condições favoráveis ao desenvolvimento das reações bioquímicas que caracterizam o processo, permitindo ampla ventilação.

Os reatores anaeróbios com filtros de areia apresentam-se como mais uma alternativa para o tratamento de esgotos sanitários, preservando o baixo custo e as mínimas necessidades de operação e manutenção. Existe, também, a possibilidade de dispor o efluente nos cursos d'água ou reutilizá-lo na irrigação ou no consumo não humano, conforme proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 1989). Assim, diminuir-se-ia o uso das fontes geradoras de água potável, resguardando-as para empregos mais nobres. Este sistema além de aplicável as pequenas comunidades, também poderia ser adotado nos bairros isolados, zona rural, condomínios e pontos comerciais que margeiam as rodovias (TONETTI, et al., 2005).

A associação UASB e filtros de areia intermitentes tem grande potencial de ecoeficiência numa perspectiva de reuso, por exemplo, com hidroponia. O UASB produziria gás metano, a ser utilizado para geração de energia, um lodo estável, que

poderia ser utilizado como condicionador do solo, e um efluente com uma carga orgânica e de sólidos reduzida em cerca de 80% a ser polido, em um sistema de filtros de areia intermitentes, para a redução da carga patogênica, oxidação do nitrogênio para uma forma mais assimilável e para redução de SST, turbidez e DBO. Um efluente com essas características poderia ser utilizado num sistema de hidroponia com recirculação, fechando assim todos os ciclos: energia, água e nutrientes (SILVA, 2006).

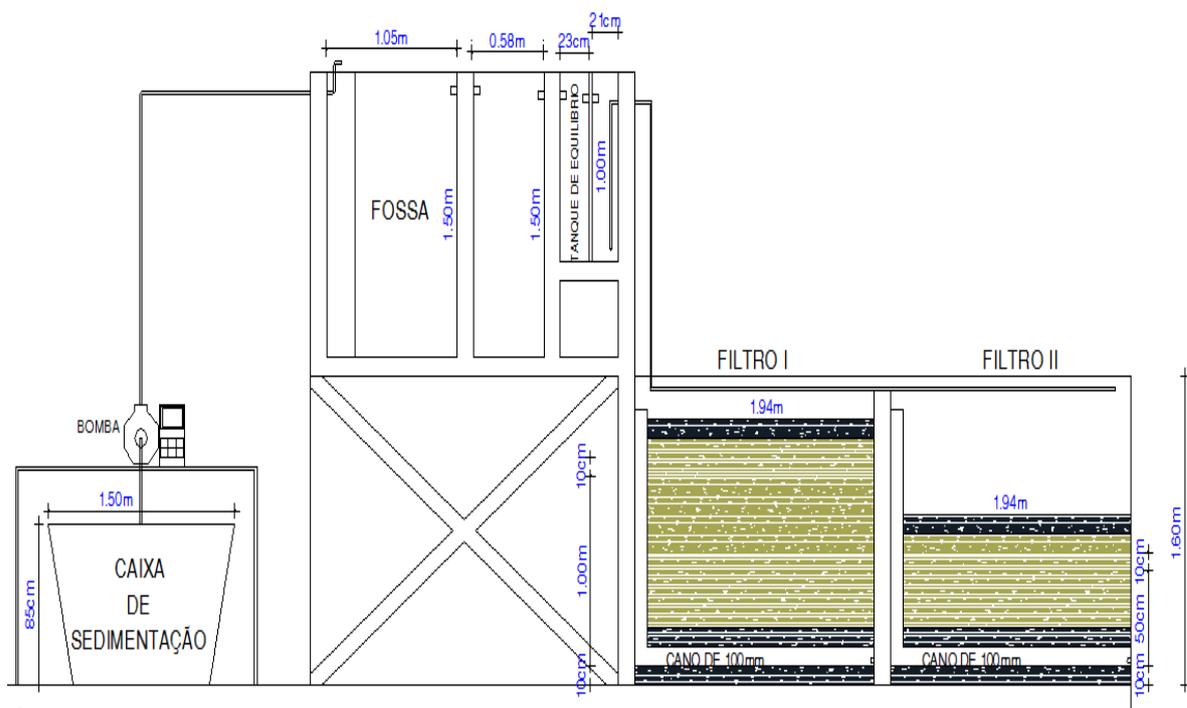
#### 4. METODOLOGIA

O sistema experimental está instalado na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas de 07° 13' S e 35° 52' W e altitude de 550 m.

O esgoto sanitário afluyente é proveniente do interceptor principal da rede coletora de esgotos da cidade de Campina Grande-PB. Esse esgoto é direcionado para a fossa séptica através de uma bomba.

A Figura 5 apresenta o perfil longitudinal do sistema experimental, que é constituído por uma fossa séptica com aproximadamente 2,9 m<sup>3</sup> projetada com 3 células, incluindo chicanas na célula 1 com tanque de equilíbrio integrado. Após a fossa séptica, seguem os dois filtros de areia intermitentes (FAINT), operando em paralelo com área superficial de 1,94m<sup>2</sup> cada. A profundidade de areia do filtro 1 é de 1m, enquanto que a profundidade de areia do filtro 2 é de 0,5m.

Figura 5: Perfil longitudinal do sistema experimental.



O resumo da granulometria da areia utilizada nos filtros intermitentes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo da granulometria da areia utilizada nos filtros.

Pedregulho: acima de 2,0mm	3,689%
Areia grossa: 2,0 – 0,42mm	55,65%
Areia fina: 0,42 – 0,074mm	39,45%
Silte + argila: abaixo de 0,074mm	1,22%
Total	100%

Os filtros são alimentados oito vezes ao dia com efluente proveniente do tanque de equilíbrio da fossa séptica, via um sifão. Para facilitar o processo de alimentação da fossa séptica, o esgoto bruto é bombeado por 5 minutos a cada 3 horas.

A Tabela 3 apresenta à carga orgânica volumétrica de DQO e o TDH, aplicadas a fossa séptica e nos filtros de areia intermitentes.

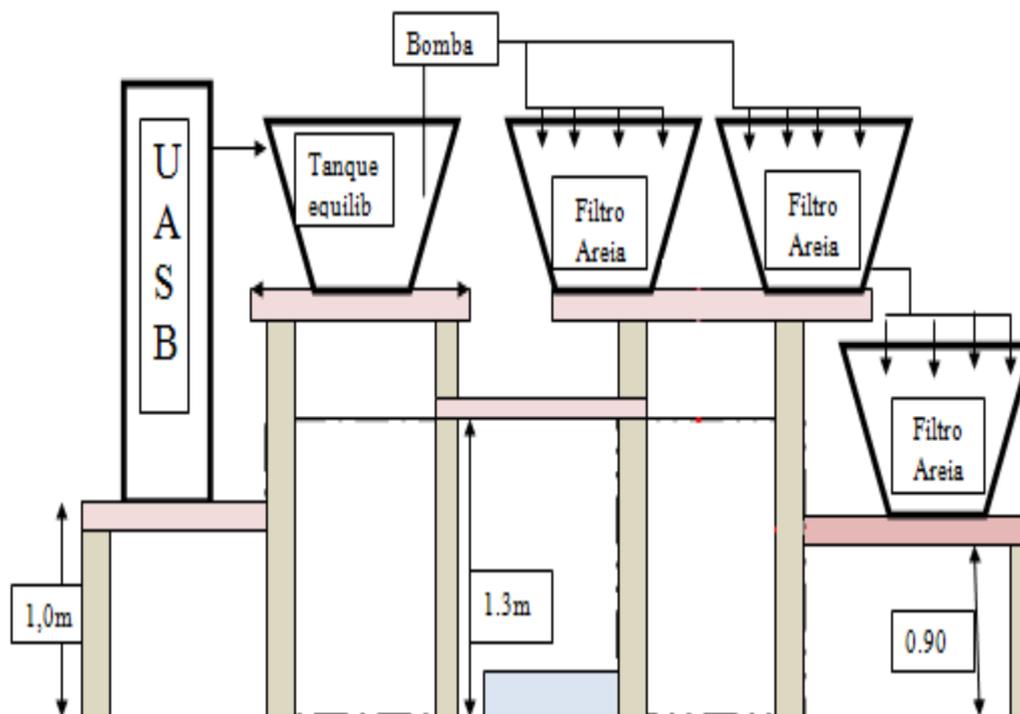
Tabela 3. Carga orgânica volumétrica e TDH aplicados a fossa séptica e nos filtros de areia intermitentes.

<b>FOSSA SÉPTICA</b>	
Volume da fossa:	2,9 m <sup>3</sup>
Carga hidráulica:	510 L/ m <sup>3</sup> .dia
Carga orgânica de DQO aplicada:	192 gDQO/ m <sup>3</sup> .dia
<b>FILTRO 1</b>	
Área do filtro	1,94 m <sup>2</sup>
Carga hidráulica:	423 L/ m <sup>2</sup> .dia
Carga orgânica de DQO aplicada:	91 gDQO/ m <sup>2</sup> .dia
<b>FILTRO 2</b>	
Área do filtro:	1,94 m <sup>2</sup>
Carga hidráulica:	339 L/ m <sup>2</sup> .dia
Carga orgânica de DQO aplicada:	73 gDQO/ m <sup>2</sup> .dia
<b>TEMPOS DE DETENÇÃO HIDRÁULICAS (TDH)</b>	
Fossa Séptica:	1,95 dias
Filtro 1:	25 minutos
Filtro 2:	15 minutos

Semanalmente foram realizadas as seguintes análises: pH, alcalinidade total, condutividade, turbidez, fósforo total, ortofosfato solúvel, DQO, nitrogênio total, amoniacal, nitrito e nitrato, coliformes termotolerantes, ovos de helmintos, sólidos totais e suas frações. Todas as análises seguiram os métodos preconizados por APHA, (1998).

Outra parte do experimento se tem com um reator UASB, a figura 6 mostra o esquema de funcionamento desde a chegada do esgoto:

Figura 6: Esquema do reator UASB com os filtros.



O efluente passa pelo o reator UASB, onde se tem um tempo de detenção hidráulico de 8 horas, daí vai para um tanque de equilíbrio e lá é bombeado a cada 3 horas por cinco minutos. Temos 3 filtros, sendo que o primeiro e segundo filtro funciona de forma paralela, o segundo e terceiro filtros funcionam em série.

Os filtros tem as seguintes alturas, 0,5 metro cada um deles. E todos os filtros desse sistema é composto pelo mesmo tipo de areia utilizado no sistema fossa mais filtro do qual já foi esclarecido na tabela 2.

Como no sistema de fossa, semanalmente era realizada as mesmas análises que foram feitas no sistema fossa e filtros, sendo que todas elas seguiram os métodos preconizado por APHA (1998).

Para afim de melhor entendimento a figura 7, mostra como são distribuídos o sistema como um todo, a diferença dos dois sistemas é que no reator UASB se tem dois tipos diferentes de tratamento com filtros 4 e 3 funcionando em paralelo e os filtros 4 e 5 em série.

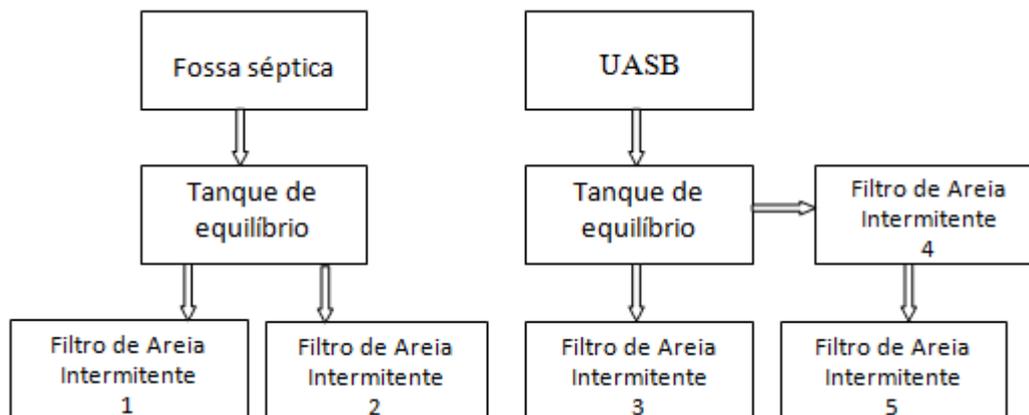


Figura 7: Esquema do sistema fossa séptica e UASB

O sistema fossa séptica apenas tem o tratamento de 2 filtros (1 e 2) funcionando de forma paralela, a diferença entre eles, é que o filtro 1 tem uma altura de 1 metro e o filtro 2 tem uma altura de 0,5 metro.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Sistema de fossa

Pearson (2011) mostra que os resultados obtidos a partir desse sistema são demonstrados na Tabela 4, apresentando os valores das concentrações médias dos parâmetros analisados no afluente da fossa (AF) e efluente da fossa (EF) e no efluente do filtro 1 (EF1) e filtro 2 (EF2). Na Tabela 5, os valores do percentual de remoção no efluente da fossa séptica e nos filtros.

Tabela 4. Concentrações médias dos parâmetros analisados do sistema fossa mais filtro

	AF	EF	EF1	EF2
<b>DQO (mg/L)</b>	377 (130,6)	214 (67,9)	103 (93,1)	73 (64,0)
<b>pH</b>	7,69	7,79	7,34	7,30
<b>Fósforo Total (mg/L)</b>	24,5 (12,99)	11,3 (3,05)	9,5 (2,96)	7,3 (2,19)
<b>Ortofosfato (mg/L)</b>	5,8 (1,39)	5,3 (1,12)	3,6 (0,76)	3,1 (0,81)
<b>Turbidez</b>	84,53 (11,90)	46,06 (8,43)	3,67 (0,98)	3,19 (0,83)
<b>Temperatura (°C)</b>	23,5 (0,17)	23,4 (0,08)	23,9 (0,89)	24,0 (0,04)
<b>SST (mg/L)</b>	184,0 (20,12)	50 (3,25)	18 (2,61)	4 (1,37)
<b>Condutividade</b>	1651,4 (99,97)	1723,25 (203,2)	1531,65 (100,8)	1585,1 (112,2)

( ) Desvio padrão

Fonte: Pearson et al, (2011)

Tabela 5. Percentual de remoção dos parâmetros analisados com referência de valores do afluente do sistema.

% de Remoção			
	EF	EF1	EF2
<b>DQO</b>	43	73	81
<b>SST</b>	73	90	97
<b>Turbidez</b>	46	95	96
<b>Fósforo Total</b>	54	61	70
<b>Ortofosfato</b>	8,9	38	46

Fonte: Pearson et al, (2011)

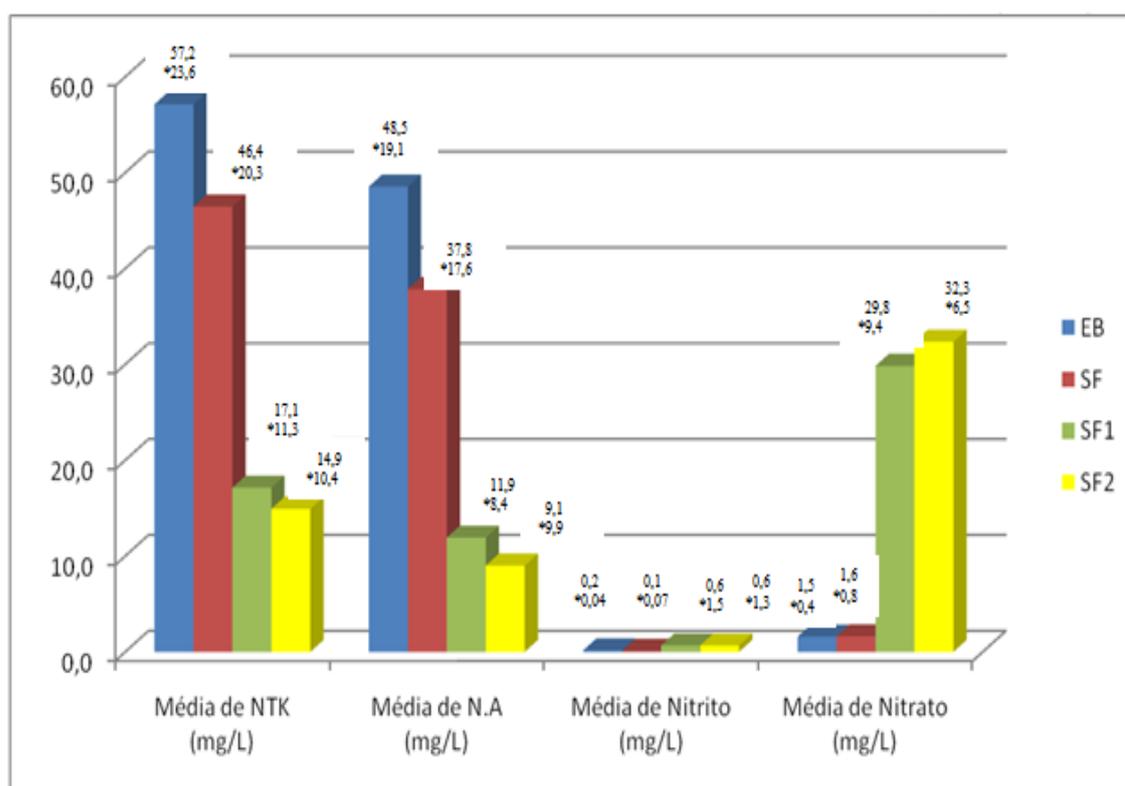
A eficiência de remoção de DQO foi acima de 70%, SST acima de 90% e fósforo total acima de 70%.

Em geral, o percentual de remoção dos parâmetros físico-químicos apresentaram resultados similares.

Na Figura 7, são apresentados os dados referentes às concentrações de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato em mg/L.

O processo de nitrificação consiste na conversão de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) a nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) via nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) na presença de oxigênio molecular dissolvido e de bactérias nitrificantes quimio-autotróficas. Geralmente, o nitrogênio nos esgotos domésticos é encontrado nas formas amoniacal e orgânico (VAN HAANDEL & VAN DER LUBBE, 2007). A fração orgânica é retida por adsorção na superfície do biofilme. Esse processo ocorre de forma mais rápida em condições bastante aeradas.

Figura 7. Valores do nitrogênio total (NTK), amoniacal (NA), nitrito e nitrato no afluente e efluente da fossa séptica, e nos efluentes dos filtros de areia.



(\*) Desvio Padrão Fonte : Pearson et al, (2011)

Os valores de amônia caíram de ~ 50mg/L para ~ 13mg/L no efluente do filtro 1 e ~10mg/L no caso do filtro 2. Estes valores representam uma diminuição de amônia em torno de 72% no filtro 1 e 80% no filtro 2.

O processo de nitrificação nos filtros apresentaram eficiência de ~ 70% com tempos de contato do efluente no interior do filtro entre 25 e 15 minutos.

Os resultados desse trabalho mostraram que o efluente dos filtros de areia intermitentes com única passagem encontra-se dentro dos padrões estabelecidos pela OMS (2005), para irrigação com restrições. Está sendo investigada a eficiência

do sistema na utilização de dois filtros em série para produzir efluentes dentro das diretrizes da OMS para irrigação sem restrições.

## 5.2. Sistema reator UASB

A Tabela 6, logo abaixo, os valores das concentrações médias dos parâmetros analisados desde a entrada do esgoto bruto, o efluente do reator UASB, efluente do filtro 1, no efluente do filtro 2 e efluente do filtro 3.

Ela mostra que o esgoto que chega com uma concentração média de DQO total de 424 mg/L e está saindo com 88,67 mg/L, uma eficiência de 79% na remoção da DQO total.

Tabela 6: Concentrações médias dos parâmetros analisados do sistema UASB e filtros

	<b>Esgoto bruto</b>	<b>Efluente UASB</b>	<b>Efluente Filtro 1</b>	<b>Efluente Filtro 2</b>	<b>Efluente Filtro 3</b>
<b>DQO Total (mg/L)</b>	424 (133)	184,56 (20,06)	89,00 (7,08)	95,44 (10,12)	88,67 (5,19)
<b>DQO Solúvel (mg/L)</b>	164 (27)	137,00(7,52)	119,75 (7,50)	91,50 (6,45)	85,00 (4,32)
<b>Fósforo Total (mgN/L)</b>	24,5 (1,97)	8,75 (0,95)	7,65 (1,15)	6,16 (0,70)	4,95 (0,75)
<b>Ortofosfato (mgN/L)</b>	9 (1,44)	8,02 (0,73)	7,02 (0,86)	5,60 (0,58)	4,15 (0,69)
<b>Nitrogênio Total (mgN/L)</b>	74,04 (9)	63,77 (37,23)	35,76 (23,02)	42,08 (24,04)	19,96 (15,25)
<b>Nitrito (mgN/L)</b>	0,15 (0,041)	0,46 (0,40)	0,29 (0,34)	0,20 (0,26)	0,22 (0,21)
<b>Nitrato (mgN/L)</b>	1,4 (0,32)	1,48 (0,82)	28,06 (2,23)	26,25 (2,99)	24,23 (4,19)
<b>Turbidez</b>	91,73 (28)	78,13 (5,73)	12,11 (4,50)	13,55 (2,42)	11,41 (2,51)
<b>Condutividade</b>	1573 (179)	1533,50 (175,34)	1351,10 (222,72)	1344,40 (237,74)	1329,00 (260,02)

(Desvio Padrão)

Há uma boa concentração de nitrato, devido o processo se passar por um sistema aeróbio, o que causa a nitrificação no meio, onde há a transformação de amônia em nitrato, conforme explicado acima.

A tabela 7 mostra os valores percentuais de remoção do sistema reator UASB e filtros.

Tivemos uma remoção na turbidez de mais 85% no filtro 3 e filtro 1, vimos que não se tem muita diferença no resultado final, não só para a turbidez, mas para os demais item analisados.

Do ponto de vista limnológico, todas as formas de fósforo são importantes, porém devido ao fato de que apenas a parcela solúvel encontra-se imediatamente para o crescimento das algas e plantas, o fósforo solúvel acaba tendo o maior interesse limnológico sobre outras frações.

Tabela 7: Porcentagem de remoção do sistema UASB e filtros

	<b>Efluente do UASB</b>	<b>Efluente do Filtro 1</b>	<b>Efluente do Filtro 2</b>	<b>Efluente do Filtro 3</b>
<b>DQO total</b>	57%	79%	77,5%	79%
<b>DQO solúvel</b>	16%	27%	44%	48%
<b>Ortofosfato</b>	10,8%	22%	37,8%	53,9%
<b>Fósforo Total</b>	64%	68,8%	74,8%	79,8%
<b>Nitrogênio Total</b>	13,9%	51,8%	43,2%	73%
<b>Turbidez</b>	15%	87%	85%	88%

O fósforo total corresponde à soma do conteúdo de fósforo dissolvido, do fósforo não disponível e do fósforo incorporado ao fitoplâncton. O fósforo solúvel chega à água na forma de íons inorgânicos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) e assume diferentes formas, em função do pH do meio

Em termos de fósforo total e ortofosfato não tivemos uma grande remoção, a conservação dele no meio pode fazer com que usemos o efluente em irrigação com restrição, sendo assim uma estratégia para se dar a ele, em termo de reuso o efluente se adequa, e pode gerar uma grande possibilidade de renda.

Em comparação os dois sistemas se ver como uma ótima alternativa de tratamento descentralizado, em comunidades que não se tem rede de coleta de esgotos, mas o sistema fossa séptica e filtro se mostrou mais eficiente que o reator UASB e filtro.

Os filtros não tiveram muito diferença na qualidade do efluente final, o que vai diferenciar é o tratamento microbiológico, que poderá ser feito em trabalhos futuros.

## 6. CONCLUSÃO

Algumas considerações podem ser feitas de acordo com os resultados obtidos:

- Este sistema de tratamento apresenta-se como uma alternativa promissora para produzir efluente de boa qualidade físico-química, a baixos custos, particularmente para reúso agrícola em comunidades difusas;
- Não se teve grandes mudanças no resultado final do sistema UASB seguido de um filtro de 0,5 metro para dois filtros em série de 0,5 metro;
- Em comparação com o reator UASB e fossa séptica, o que apresentou melhores resultados foi o sistema da fossa séptica seguido de filtros;
- Apenas com uma única passagem nos filtros o efluente já era de uma boa qualidade físico-química;
- O filtro de 1 metro em comparação com o filtro de 0,5 metro, do sistema da fossa séptica, não apresentou grandes diferenças, o que se pode dizer que com uma altura de 0,5 metro de areia já é o suficiente para filtrar e se ter um tratamento adequado;
- O que pode diferenciar bastante de um filtro para o outro, é a remoção microbológica, do qual pode ser estudado em trabalhos posteriores.

## REFERÊNCIAS

ABNT; **Tanque Séptico – Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação.** NBR: 13969, Rio de Janeiro, 1997.

APHA – **American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20th. Washington: Public Health Association, 1998

BRAGA, B.; HESPANHOL, I; CORNEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; MEIRELES, A.; **Filtro Intermitente para Remoção de Patogênicos de Efluente de UASB.** In Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande – MS, 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n 357 de 17 de março de 2005.** Brasília: Diário Oficial da União, 2005.

COUTO, L. L. C.; **Avaliação do Desempenho de Filtros Anaeróbios com Diferentes Meios de Enchimento na Tratamento de Esgoto Sanitário.** Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas. Campinas, 1993.

CHERNICHARO, C. A. L.; **Reatores Anaeróbios.** 2º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007.

CRITES, R.; TCHOBANOGLIOUS, G.; **Small and Decentralized Wastewater Management Systems.** New York: The McGraw-Hill, 1998.

DEGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; RASIAH, V.; UTSUNOMIYA, J.; INOUE, M. **Impact of biological clogging agents on filter and emitter discharge characteristics of micro irrigation system.** Irrigation and Drainage, Malden, v.53, n.4, p.363-73, 2004.

DI BERNADO, L. (coord.); **Tratamento de Água Para Abastecimento por Filtração direta.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

DULTRA, F.; KIPERSTOK, A.; CONTREIRAS, F.; **Reuso de Esgoto Tratado com Filtro Intermitente de Areia.** In anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande – MS, 2005.

EMMERIDE, R.W., TEST, R., TCHOBANOGLIOUS, G. and DARBY, J. **Shallow intermittent sand filtration for microorganisms removal.** The Small Flows Journal, 3(1), 12-22. 1997.

EPA (1999). **Intermittent sand filters**. wastewater Technology Fact Sheet. 832-F-99-067. EPA Office of Water, Washington.

FAROOQ, S. e AL-YOUCET, A. K. **Slow sand filtration of secondary effluent**. Journal of Environmental Engineering – ASCE. N.199, 1993

FUNASA; **Manual de Saneamento**. 3ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R. **Tratamentos biológicos para remoção de matéria carbonada e nitrogenada**. Revista eletrônica do mestrado em educação ambiental. v 12. 2004

JEWELL, W.; SEABROOK, B.; **A History of Land Application as a Treatment Alternative**. Washington: United States Environment Protection Agency – USEPA, 1979.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.; **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KRISTIANSEN, R. **Sand-filter Trenches for Purification of Septic Tank Effluent: III. The micro flora**, Journal of Environmental Quality, n. 10, 1981.

LEITTINGA, G.; HULSHOF POL, L. W. & ZEEMAN, G.; **Biological Wastewater Treatment**. Part I: **Anaerobic Wastewater Treatment**. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University. ed. January 1996.

MICHELS, C. J.; System Suited for Small Communities. **Water Environmental & Technology**, v.7, 1996.

MILLER Jr, G. T.; **Ciência Ambiental**. 11º ed. Tradução. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

**Modo de funcionamento e cuidados de conservação de tanques sépticos**. Disponível em: < <http://www.comofazer.org> > Acesso em: 08 de Novembro de 2011.

MOTA, S.; **Introdução à Engenharia Ambiental**. 4º ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; ABES, 2006.

PEARSON, H. W.; LUNA, M. L. D.; SOUSA, J. T.; MONTEIRO, P. S.; LOPEZ, W. S.; **Aspectos do Desempenho de Filtros de Areia Intermittente Tratando Efluente de Fossa Séptica Operando em Condições Tropicais**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2011.

PETERS, R. W.; ALLEMAN, J. E.; **The History of Fixed Film Wastewater Treatment Systems**. International Conference on Fixed-Film Systems, 1<sup>st</sup>. Proceedings. King Island, Ohio, p. 60-88, 1982.

PROCHASKA, C. A.; ZOUBOULIS, A. I. **Performance of intermittently operated sand filters: a comparable study, treating wastewater of different origins.** Water, Air, and Soil Pollution. n. 147, p. 367-388, 2003.

RODGERS, M., HEALY, M.G., and PRENDERGAST, J. (2006). **Novel Hybrid Filter for the Treatment of Septic Tank Effluent.** J. Envir. Engrg., 132 (7), 764-768

SABBAH, B., GHATTAS, N., HAYEK, A., OMAN, J., HAJ, Y., ADMON, S. and GREEN, M. **Intermittent sand filtration for wastewater treatment in rural áreas.** Water Science and Technology, 2004.

SILVA, E. H. B. C.; **Polimento de Efluente de UASB com Filtros de Areia Intermitentes de Areia.** Dissertação – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia. 2006.

SIMPSON, J. (2000). **Report on Aratula advanced wastewater treatment technologies project- intermittent sand filter.** Boonah SC-Report on Aratula AWTT Project.

SNIS – **Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2009.** Ministério das Cidades/SNSA/PMSS, 2011.

SPERLING, M. V.; **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 3º ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.

TESTEZLAF, R.; **Filtros de Areia Aplicados à Irrigação Localizada: Teoria e Prática.** Eng. Agrícola., Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, jul./set. 2008.

TONETTI, A. L.; **Tratamento de esgotos pelo sistema combinado filtro anaeróbio e filtros de areia /** Adriano Luiz Tonetti.--Campinas, SP: [s.n.], 2008

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R.; **Pós-Tratamento de Efluente de Filtro Anaeróbio por Filtro de Areia. Análise da Influência da Aplicação de Baixas Cargas na Retirada de Matéria Orgânica.** 28º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cancu no México, Outubro 2002.

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F.; **O Emprego do Filtro de Areia no Pós-Tratamento de Efluente de Filtro Anaeróbio.** Sanare, Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, V.21, n. 21, Jan/Jun 2004.

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F.; SÃO PEDRO, C. C. O.; **Remoção de Matéria Orgânica, Coliformes Totais e Nitrificação no Tratamento de Esgoto Domésticos por Filtros de Areia.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n.3, p 209-218, 2005.

VAN HAANDEL, A. C.; VAN DER LUBBE, J. **Handbook Biological Wastewater Treatment – design and optimization of activate sludge systems.** 2007.

VERMA A. and MANCL, K.; **On-site wastewater treatment**. In: Proceedings of 9th National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems. Ed. Karen Macl. USA, 2001.

WA DOH (2007). **Intermittent Sand Filter Systems, Recommended Standards and Guidance for performance, Application, Design and Operation and Maintenance**. Washington State Department of Health. Publication #337-007. Olympia, Washington.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO.213p, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series n. 778, World Health Organization, Geneva. 1989.