



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Tábita de Holanda Martins

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS ANAERÓBIO
SEGUIDOS DE FILTROS DE AREIA AUTOLAVÁVEIS**

PALMAS - TO

2015



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Tábita de Holanda Martins

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS ANAERÓBIO SEGUIDOS DE FILTROS DE AREIA AUTOLAVÁVEIS

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Mestre Fabio Moreira Spinola de Castro.

PALMAS - TO

2015

TÁBITA DE HOLANDA MARTINS**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS ANAEROBIO
SEGUIDOS DE FILTROS DE AREIA AUTOLAVÁVEIS**

Projeto apresentado como requisito parcial da
disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
do curso de Engenharia Civil, orientado pelo
Professor Mestre Fabio Moreira Spinola de Castro.

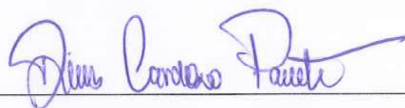
Aprovado em 17 de Novembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA



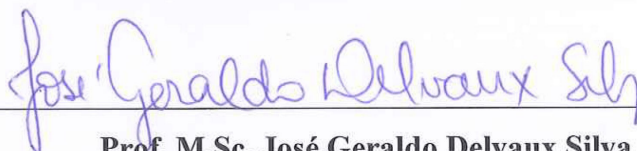
Prof. M.Sc. Fabio Moreira Spinola de Castro

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. M.Sc. José Geraldo Delvaux Silva

Centro Universitário Luterano de Palmas

PALMAS - TO

2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem Ele de fato, esse sonho não teria se tornado realidade. Ele que ao longo da minha vida, sempre me deu força, saúde e fé para superar as dificuldades e ir em busca dos meus objetivos, colocando em minha vida, pessoas que puderam contribuir para essa realização.

Agradeço à minha mãe Maria Aparecida, que sempre buscou o melhor para me oferecer, pelo seu amor e carinho, incentivando-me nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, me motivando sempre a seguir em frente.

Ao meu irmão Jhandson, que mesmo distante, sempre me apoiou e me impulsionou para que jamais desistisse, fazendo do meu sonho o seu.

A todos os meus professores, em especial ao professor e orientador **MSc. Fábio Moreira Spinola de Castro**, pela orientação e empenho dedicado à elaboração deste trabalho, seu apoio e confiança que pacientemente direcionou-me a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho e amigos em especial ao: **Melk Zedek Carlos Ramalho** pela parceria, dedicação e por me enriquecer com sua amizade, **Eng^a MSc Daniella Castro Farias**, pela parceria e apoio, bem como os esclarecimentos prestados para desenvolvimento deste trabalho; ao meu líder **Eng^o Ricardo Thomaz de Cerqueira**, por ser uma referência profissional, que sempre me promoveu oportunidade de conhecimentos pertinentes tanto ao projeto em si, quanto a vida profissional.

Aos meus amigos Géssica Marinho, Diana Medeiros, Humberto Wanderley, pelo apoio e amizade, fazendo parte da minha formação; e em especial ao meu amigo Jansen Moura Magalhães Carneiro, pelo valor inestimável que representa ao longo dessa jornada.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, realização de um sonho, onde cada um teve parcela significativa de contribuição.

Muito obrigada a todos!

**“Eu te louvarei Senhor, porque de um modo assombroso,
e tão maravilhoso fui feito; maravilhosas são as
tuas obras, e a minha alma o sabe muito bem.”**

Salmos 139:14

MARTINS, T. H. **Avaliação do desempenho de sistema anaeróbio seguidos de filtros de areia autolaváveis**. 2015. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil.

RESUMO

Este trabalho visa avaliar a eficiência do sistema anaeróbio seguido por filtros de areia na remoção da matéria orgânica e sólidos. A unidade experimental foi instalada na ETE Norte, em Palmas - TO sendo constituída por um reator anaeróbio, filtro anaeróbio e quatro filtros de areia autolaváveis. Durante o período de estudo, foram realizadas semanalmente análises físico-químicas dos efluentes, determinando assim as características dos mesmos e a capacidade de tratamento dos filtros de areia.

Os filtros de areia são comumente utilizados de forma eficaz nos processos de tratamento de água, não possuindo estudos conclusivos sobre sua aplicabilidade no tratamento de esgotos domésticos.

Na finalização do estudo, concluiu-se que o reator e filtro em escala experimental apresentaram desempenho satisfatório na remoção dos poluentes (matéria orgânica e sólidos), entretanto, os filtros de areia não foram eficientes.

Palavras-chave: Esgoto Sanitário; Eficiência; Pós Tratamento; Filtro de Areia Autolaváveis; Sistema Anaeróbio.

MARTINS, T. H. **Assessment of anaerobic system performance followed by self washable sand filters**. 2015 56 f. Work of Civil Engineering Course Completion, Lutheran University Center of Palmas / Lutheran University of Brazil.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the efficiency of the anaerobic system followed by sand filters to remove solids and organic matter. The experimental unit was installed in the North ETE in Palmas - TO being constituted by an anaerobic reactor, anaerobic filter and four self washable sand filters. During the study period, there were weekly physicochemical analysis of effluents, determining their characteristics and the treatment capacity of sand filters.

Sand filters are generally used effectively in water treatment processes, having no conclusive studies on their applicability in the treatment of domestic sewage.

Upon completion of the study, it was concluded that the reactor and filter on an experimental scale showed satisfactory performance in the removal of pollutants (organic and solid matter), however, sand filters were not effective.

keywords: Sanitary Sewage; Efficiency; Post Treatment; Sand Filter; Anaerobic Sistem.

LISTA DE ABREVIATURAS

CEULP – Centro Universitário Luterano de Palmas

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

pH – Potencial Hidrogeniônico

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FAS – Filtro Aerado Submerso

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Decanto-digestor de câmara única (corte longitudinal).....	10
Figura 2: Decanto-digestor de câmara em série (corte longitudinal).	10
Figura 3: Decanto-digestor de câmara sobreposta (corte transversal).....	11
Figura 4: Decanto-digestor com filtro acoplado (sistema RN).	11
Figura 5: Balanço da digestão anaeróbia.....	14
Figura 6: Identificação na ETE Norte.....	21
Figura 7: ETE Piloto instalado na ETE Norte, Palmas/TO.	21
Figura 8: Unidades de composição.	22
Figura 9: Planta baixo do projeto.	23
Figura 10: Fluxograma do Sistema Existente.....	24
Figura 11: Divisor de Vazão	
Figura 12: Filtros de Areia.	25
Figura 13: Camadas do meio filtrante.	26
Figura 14: Lavagem dos Filtros de Areia – Efluente.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de Parâmetros.....	8
Tabela 2: Parâmetros de Projeto.....	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: pH - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.	29
Gráfico 2: Temperatura - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.....	30
Gráfico 3: Turbidez - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.....	30
Gráfico 4: DQO – Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.....	31
Gráfico 5: Materiais Sedimentares - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.....	32
Gráfico 6: Sólidos Suspensos Totais - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.....	33
Gráfico 7: Sólidos Suspensos Fixos - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.....	33
Gráfico 8: Sólidos Suspensos Voláteis - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	3
1.2. Justificativa	3
1.3. Problema	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1. Esgoto Bruto e Parâmetros	7
3.1.1 Características do esgoto	7
3.1.2 Processos biológicos de tratamento de esgoto.	7
2.2. Sistema de Decanto-Digestores, Filtro Anaeróbio e Filtro de Areia como Pós-Tratamento.	9
2.2.1. Sistema de Decanto-Digestores	9
2.2.2. Filtro Anaeróbio	12
2.2.3. Filtro de areia como pós-tratamento	16
2.3. Filtração e Carreira de Filtração	17
2.4. Vigências Legais.....	18
3. METODOLOGIA	20
3.1. Protótipo ETE Piloto.....	20
3.1.1. Estudo de caso:	20
3.2. Filtro de Areia	25
3.2.1. Granulometria.....	25
3.2.2. Lavagem dos Filtros	27
3.3. Parâmetros de Projeto	27
4.2.1 Etapas de estudo.....	28
4.2.2 Etapa – I.....	28

4.2.3	Etapa – II	29
4.2.4	Metodologia analítica	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1.	pH.....	29
4.2.	Temperatura	30
4.3.	Turbidez	30
4.4.	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	31
4.5.	Materiais Sedimentares	32
4.6.	Sólidos	32
5.6.1	Sólidos Suspensos Totais	33
5.6.2.	Sólidos Suspensos Fixos	33
5.6.3.	Sólidos Suspensos Voláteis.....	34
5.	DISCUSSÕES PARCIAIS DOS RESULTADOS	35
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência dos dejetos humanos, os germes patogênicos podem ser veículos de várias doenças. Sob o aspecto sanitário, o destino adequado dos dejetos humanos visa, fundamentalmente, ao controle e à prevenção de doenças a eles relacionadas.

O tratamento de esgoto é desenvolvido, essencialmente, por processos biológicos, associados às operações físicas de concentração e separação de sólidos. Processos físico-químicos, como os a base de coagulação e floculação, normalmente não são empregados por resultarem em maiores custos operacional e menor eficiência na remoção de matéria orgânica biodegradável. Porém, em algumas situações, notadamente quando se tem condições bastante restritivas para as descargas de fósforo, o tratamento físico-químico pode ser aplicado isoladamente ou, principalmente, associado aos processos biológicos.

O tratamento biológico pode ser subdividido em dois grandes grupos, processos aeróbios e anaeróbios. Observou-se uma tendência histórica em se comparar tais modalidades, enfatizando-se vantagens e desvantagens de cada grupo, hoje é consenso o interesse em associá-los, obtendo-se com isso importantes vantagens técnicas e econômicas.

Os primeiros sistemas comunitários de tratamento de esgoto, desenvolvidos no século passado, foram projetados para remover as partes mais visíveis: os sólidos grosseiros sedimentares.

A remoção era realizada através de sedimentação simples, hoje também conhecida como *tratamento primário*. Logo tornou-se óbvio que a mera remoção dos sólidos sedimentares não era suficiente para uma proteção adequada dos corpos de água receptores de esgoto. Por essa razão foram desenvolvidos vários sistemas de tratamento para reduzir o teor de matéria orgânica.

Esse tratamento, chamado *tratamento secundário*, usaram-se somente métodos biológicos, distinguindo-se dois mecanismos básicos para remoção de material orgânico: (1) o *mecanismo aeróbio*, quando o material é oxidado para produtos minerais e (2) o *mecanismo anaeróbio*, que pode se desenvolver quando não há disponibilidade de um oxidante adequado para material orgânico.

Logo após o desenvolvimento do tratamento secundário, notou-se que somente até esta etapa, o tratamento ainda não era eficaz, podendo prejudicar a qualidade da água do corpo receptor, que pode ser atribuída, em partes, à descarga de amônia, desencadeando uma série de fatores biológicos que prejudicam a depuração do corpo hídrico. Então, para finalizar a o

tratamento, foi desenvolvida outra etapa chamada de *tratamento terciário*: nestes o nitrogênio e/ou o fósforo são removidos, além dos sólidos sedimentares (tratamento primário) e de material orgânico (tratamento secundário).

Fazendo parte do sistema de tratamento secundário, os filtros biológicos são reatores com biomassa aderente a suporte, sobre a qual percorre o efluente a ser tratado, podendo ser compostos por Filtro Anaeróbio e/ou Filtro Aeróbio. O principal objetivo dos reatores anaeróbio é propiciar maior tempo de retenção celular, para obter contato longo entre a biomassa ativa e o esgoto a ser tratado. O fluxo dos esgotos por meio desse lodo ativo, retido, propicia maior eficiência na remoção do material dissolvido que nos reatores nos quais o material não sedimentável sofre pouco ou nenhuma ação metabólica da massa bacteriana. Já os biofiltros aerados com leito filtrante submerso hoje em dia numa tecnologia madura, através do qual esgoto e ar fluem permanentemente. Na quase totalidade dos processos existentes, o meio poroso é mantido sob total imersão pelo fluxo hidráulico como no biofiltro anaeróbio, caracterizando-os como reatores trifásicos compostos por: Fase sólida; fase líquida; fase gasosa.

Nesse sentido, o presente trabalho avaliará a capacidade de remoção de matéria orgânica, identificando assim as principais vantagens e desvantagens na operação dos dois regimes estudados (Regime Anaeróbio).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de tratamento em regime anaeróbio seguido de filtros de areia autolaváveis.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar a eficiência de remoção de matéria orgânica (DBO e DQO) operando em regime anaeróbio;
- Avaliar as possíveis alterações dos regimes operacionais no tratamento terciário por filtro de areia;
- Avaliar através de análises comparativas o melhor regime operacional para atender as normas de lançamentos de efluentes em corpos hídricos.

1.2. Justificativa

Em resumo, podemos dividir as modalidades de tratamento biológico em dois grupos: os tratamentos aeróbios e os tratamentos anaeróbios sendo que no primeiro caso o processo ocorre na presença de oxigênio e no outro caso, na sua ausência. Os sistemas de tratamento anaeróbio como, lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, os filtros anaeróbios e os reatores

chamados de alta taxa têm em comum a capacidade de converter a matéria orgânica presente nos efluentes a serem tratados em gás metano, gás carbônico e água, em função dos microorganismos anaeróbicos presentes nesses sistemas. Entre os sistemas aeróbicos de tratamento de efluentes os mais comuns são os sistemas de lagoas facultativas, de estabilização ou aeradas, filtros biológicos e os sistemas de lodos ativados que garantem níveis elevados de eficiência na remoção da matéria orgânica.

É correto afirmar que cada uma dessas tecnologias possui vantagens e desvantagens dependendo da sua situação específica. Normalmente os sistemas anaeróbicos trazem como vantagem a redução mecanizada e baixo consumo energético, uma vez que não é necessária a injeção de ar no sistema e menor taxa de geração de lodo residual. Por outro lado, os sistemas anaeróbicos são capazes de atingir níveis de eficiência de remoção de matéria orgânica inferiores aos sistemas aeróbicos e ainda possuem risco de emissão de odores.

Já sistemas aeróbicos, normalmente alcançam maiores taxas de remoção da matéria orgânica. Além disso, esses sistemas apresentam a seu favor os riscos reduzidos de emissões de odor e a maior capacidade de absorver substâncias de menor biodegradabilidade e mesmo compostos que poderiam ser tóxicos. Os sistemas com aeração forçada por sua vez, demandam áreas consideráveis e possuem valores de investimento em instalação e operação elevadas em função da necessidade de equipamentos tecnologicamente superiores, além do consumo de energia elétrica com os sistemas de aeração forçada.

O filtro de areia é outra unidade bastante conhecida em remoção de turbidez na área de tratamento de água. O sistema funciona com a aplicação de afluentes intermitentemente sobre a superfície de um leito de areia. Durante o processo, com a infiltração ocorre a purificação por mecanismos físicos, químicos ou biológicos, onde o processo físico é o resultado do peneiramento e o processo químico é a adsorção de determinados componentes.

A implantação do sistema de biofiltros (Anaeróbio) seguidos de filtros de areia como pós tratamento, tem como vantagens gerar novas ETEs compactas, que por sua vez possuem: baixo custo de implantação; melhor relação custo/benefício; otimização dos custos de investimento; menor custo de construção, operação e manutenção que não demandam mão-de-obra qualificada, tendo como resultado o baixo consumo energético e produção de lodo, ocasionando o baixo impacto ambiental.

As estações compactas são sistemas de tratamentos de esgoto sanitário formado por conjuntos de unidades modulares compactas anaeróbicas e/ou aeróbicas, cujo objetivo principal é a remoção de matéria orgânica. Isto de maneira geral irá beneficiar a comunidade, também quanto à redução da área ocupacional de Estações de Tratamento convencionais; disposição

final de lodo com segurança; controle de odores; redução de impactos ambientais; melhoria da qualidade do corpo receptor, tendo como resultado positivo a melhoria das condições de saúde da população.

Sendo assim a presente pesquisa se tem como justificativa avaliar a eficiência de um sistema de tratamento em regime anaeróbio seguido de filtro de área para o estudo em questão.

1.3. Problema

Enquanto nos sistemas anaeróbios grande parte do carbono contido na matéria orgânica é convertida e liberada sob a forma de metano e gás carbônico (70 a 90 %), nos sistemas aeróbios a maior parte do carbono é assimilada na geração de novas células (50 a 60

%), ficando retida na biomassa. Como consequência tem-se a geração de quantidades maiores de lodo.

De que forma haverá eficiência na remoção de matéria orgânica do sistema anaeróbio seguido de filtro de área retrolavável? E Qual a viabilidade pelo ponto de vista da eficiência de um sistema anaeróbio seguido de filtro de área como pós-tratamento de decanto-digestor para lançamento em corpos hídricos?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Esgoto Bruto e Parâmetros

3.1.1 Características do esgoto

Segundo Campos *et al* (1999), os esgotos sanitários possuem mais de 98% de sua composição constituída por água, porem, com presença de diversos contaminantes, entre os quais se destacam: sólidos suspensos, compostos orgânicos (40-60% de proteínas, 25-50% de carboidratos e cerca de 10% de óleos e graxas), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e ocasionalmente, contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais ou acidentais.

3.1.2 Processos biológicos de tratamento de esgoto.

O tratamento biológico de esgoto ocorre inteiramente por mecanismos biológicos, como o próprio nome indica. Estes processos biológicos reproduzem de certa forma, os processos naturais que ocorrem em um corpo hídrico após o lançamento de despejos. No corpo hídrico, a materia orgânica é convertida em produtos mineralizados inertes por mecanismos puramente naturais, caracterizando-o assim chamado fenômeno da autodepuração. Em uma estação de tratamento de esgoto os mesmos fenômenos básicos ocorrem, mas a diferença radica na introdução da tecnologia. Essa tecnologia tem como objetivo fazer como que o processo de depuração se desenvolva em condições controladas e com taxas mais elevadas (VON SPERLING, 1996).

De acordo com METCALF & EDDY (2003), os principais processos biológicos empregados no tratamento de esgoto são: aeróbios, anóxicos, anaeróbios, e a combinação dos anteriores. Em cada processo, há diferenças quanto ao crescimento biológico: suspenso ou aderido, quanto ao fluxo: contínuo ou intermitente e quanto à hidráulica: mista completa, fluxo de pistão ou fluxo arbitrário.

Na tabela a seguir mostra os valores típicos de parâmetros encontrados em esgotos domésticos. Estes valores variam dependendo das localidades ou países (CASTRO, 2010).

Tabela 1: Valores de Parâmetros

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO (mg/l)	
	FAIXA	TÍPICO
Sólidos	390-1350	1100
Sólidos Totais	390-1350	1100
Sólidos Dissolvidos	270-900	700
- Fixos	160-550	400
- Voláteis	110-350	300
Sólidos Suspensos	120-450	400
- Fixos	25-100	80
- Voláteis	95-350	320
Sólidos Sedimentáveis	5-20	15
Matéria Orgânica		
DBO ₅	110-500	350
DQO	250-800	700
COT	80-350	250
Nitrogênio Total	20-70	50
Orgânico	8-30	20
Amoniacal	14-96	30
Nitrato	0-2	0
Nitrito	0	0
Fósforo Total	4-25	14
Orgânico	1-8	4
Inorgânico	3-17	10
pH	6,7-7,5	7,0
Alcalinidade	110-170	140
Cloretos	20-90	35
Óleos e Graxas	50-170	110
Coliformes Totais ¹	10 ⁶ - 10 ¹⁰	-
Coliformes Fecais ¹	10 ⁶ - 10 ¹⁰	-

(1) unidade NMP/100mL

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy, 2003 apud Castro, 2010.

2.2. Sistema de Decanto-Digestores, Filtro Anaeróbio e Filtro de Areia como Pós-Tratamento.

2.2.1. Sistema de Decanto-Digestores

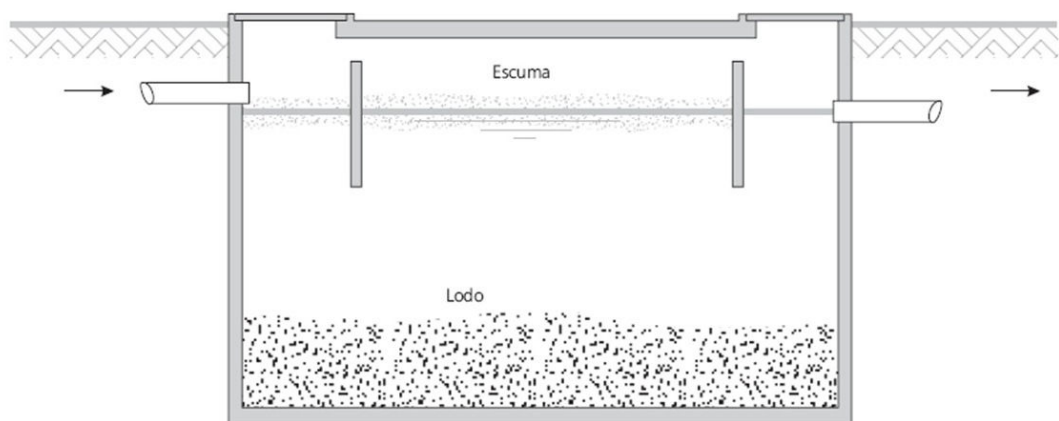
Decanto-digestores também conhecidos como tanque séptico, são basicamente, tanques simples ou divididos em compartimentos horizontais ou verticais, utilizados com objetivos de reter por decantação os sólidos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos. O sucesso desse sistema deve-se à construção e operação muito simples, não exige técnicas construtivas especiais, nem equipamentos, e sua operação não requer a presença constante de operador. O decanto-digestor foi concebido em 1872, na França, por Jean Louis Mouras. Seu intuito era reter a matéria sólida contida nos esgotos, evitando assim, que ela obstruísse a fossa absorvente ou colmatasse e impermeabilizasse o solo, dificultando a infiltração dos líquidos.

Após algumas melhorias no sistema de decanto-digestores criado por Louis, o Engenheiro Donald Cameron em 1896 patenteou o *Tanque Séptico*, o inglês em 1903 W.O. Travis concebeu e construiu o *Tanque Hidrolítico* – um tanque com subdivisões para processar a digestão e em 1905, Karl Imhoff examinando o trabalho de Travis, desenvolveu o *Tanque Imhoff*, que é na verdade é um decanto digestor-composto com câmaras sobrepostas. Desde então, os decanto-digestores vêm sendo utilizados em vários modelos, sendo aperfeiçoados e disseminando em vários países (COMPOS, 1999).

Depois de 1963, no Brasil, a utilização de decanto-digestores tem sido orientada por normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 41-63, NBR 7229-820). Em 1989, iniciou-se uma revisão na NBR 7229-82. A comissão de revisão de ABNT pela ampliação e desmembramento da Norma em três, tratamento separadamente do tanque séptico, do pós-tratamento dos efluentes e da disposição de lodos. A primeira (NBR 7229, válida a partir de novembro de 93), recebeu o título “Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos”. A segunda (NBR 13969, de setembro de 97) tem como título “Tanque Sépticos – Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação”. A terceira nova norma, a ser elaborada, abordará o tratamento e a disposição dos sólidos de tanques sépticos (COMPOS, 1999).

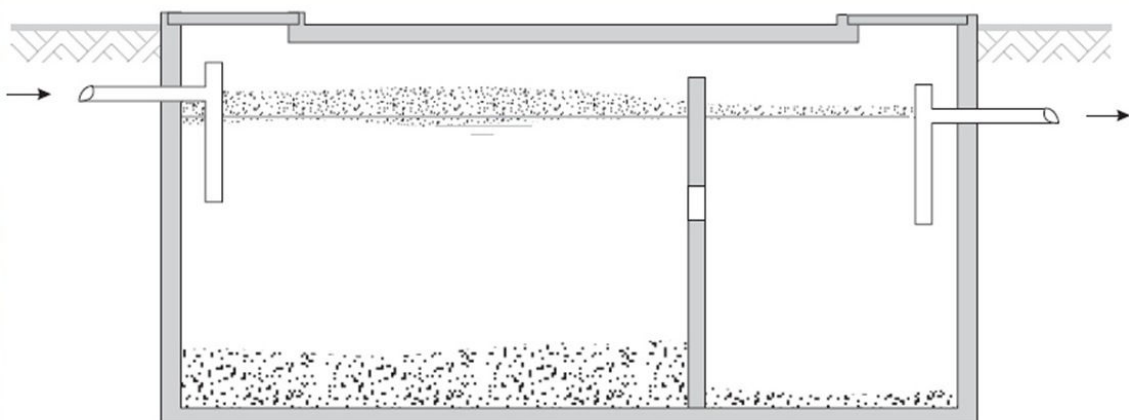
Os decanto-digestores em suas várias configurações reúnem principalmente, os objetivos dos decantadores e digestores em uma mesma unidade, na qual se realizam, simultaneamente, várias funções: decantação, sedimentação e flotação dos sólidos dos esgotos e desagregação e digestão dos sólidos sedimentares (lodo) e do material flutuante (escuma). Na verdade, são mais do que decantador e digestor associados, porque propiciam, também, o tratamento anaeróbio da fase líquida em escoamento, devido à mistura natural do lodo com os esgotos e ao tempo de detenção hidráulica bem maior que nos decantadores usuais, e acumulam, por longos períodos, o lodo digerido. A maior atividade biológica ocorre no lodo decantado. Contudo, a ação biológica na fase líquida não deve ser desprezada, sobretudo em climas quentes, porque, dependendo do modelo do reator e da mistura, pode ser muito significativo, podendo ser de câmara única, de câmaras em série ou de câmaras sobrepostas e podem ter forma cilíndrica ou prismática retangular (COMPOS, 1999).

Figura 1: Decanto-digestor de câmara única (corte longitudinal).



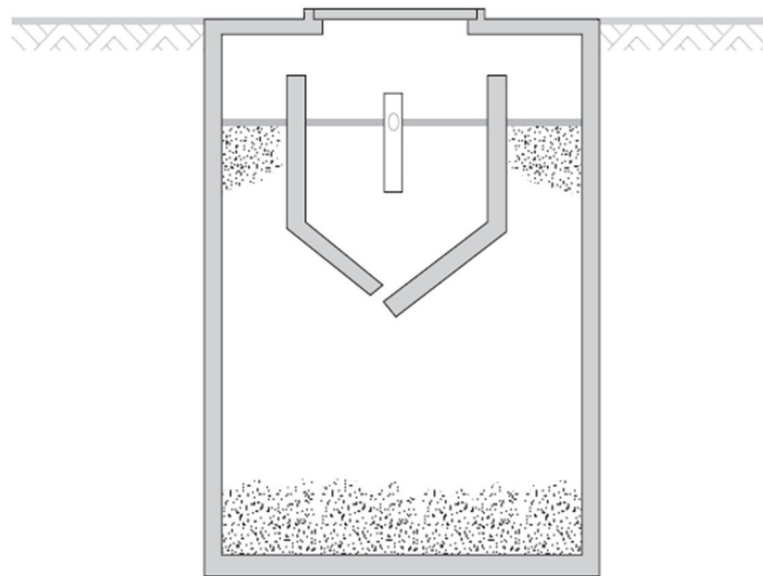
Fonte: CAMPOS, (1999)

Figura 2: Decanto-digestor de câmara em série (corte longitudinal).



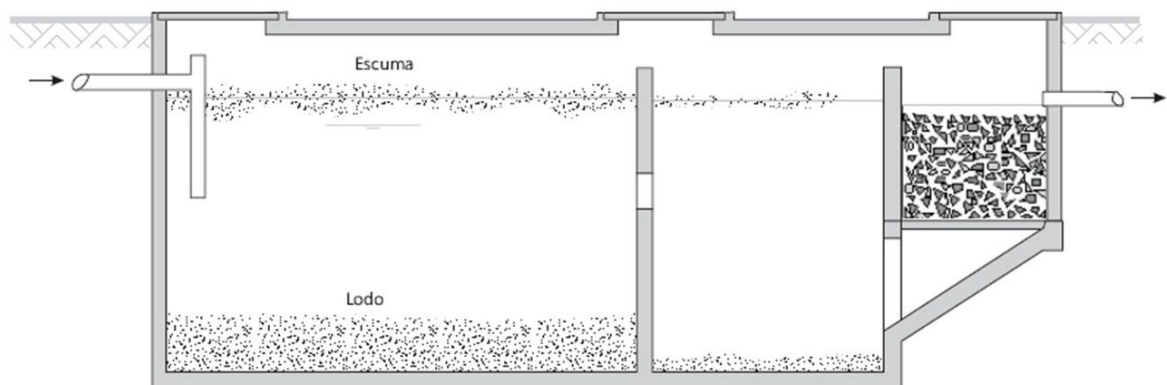
Fonte: CAMPOS, (1999)

Figura 3: Decanto-digestor de câmara sobreposta (corte transversal).



Fonte: CAMPOS, (1999)

Figura 4: Decanto-digestor com filtro acoplado (sistema RN).



Fonte: CAMPOS, (1999)

A norma da ABNT sobre tratamento e disposição final dos efluentes líquido de tanques sépticos (NBR 13969) oferece, como detalhes, seis alternativas para tratamento complementar: filtro aeróbio submerso; filtro de areia; vala de filtração; lodo ativado por batelada; e cloração. Também oferece seis alternativas para disposição final: vala de infiltração; canteiro de infiltração e evapotranspiração; sumidouro; águas superficiais; galerias de águas pluviais; e reuso local (para diversas finalidades), podendo todas as alternativas ser combinadas.

O funcionamento dos tanques sépticos pode ser descrito de acordo com as seguintes etapas:

- Os sólidos sedimentáveis presentes no esgoto afluyente vão ao fundo do tanque, passando a constituir uma camada de lodo;
- Os óleos, graxas e outros materiais mais leves presentes no esgoto afluyente flutuam até a superfície do tanque, vindo a formar uma camada de espuma;
- O esgoto, livre dos materiais sedimentáveis e flutuantes, flui entre as camadas de lodo e de espuma, deixando o tanque séptico em sua extremidade oposta, de onde é encaminhado à uma unidade de pós-tratamento ou de disposição final;
- O material orgânico retido no fundo do tanque sofre uma decomposição facultativa e anaeróbia, sendo convertido em compostos mais estáveis como CO_2 , CH_4 e H_2S . Embora o H_2S seja produzido nos tanques sépticos, problemas de odor não são usualmente observados, uma vez que este combina-se com metais acumulados no lodo, vindo a formar sulfetos metálicos insolúveis;
- A decomposição anaeróbia proporciona uma redução contínua do volume de lodo depositado no fundo do tanque, mas há sempre uma acumulação ao longo dos meses de operação do tanque séptico. Como consequência, a acumulação de lodo e de espuma leva a uma redução do volume útil do tanque, demandando a remoção periódica desses materiais.

Na prática, as alternativas aplicadas para pós-tratamento e destino final dos efluentes de decanto-digestores são muitas, destacando-se o filtro anaeróbio para pós-tratamento e a disposição no solo como destino final.

2.2.2. Filtro Anaeróbio

As tecnologias de tratamento de efluentes nada mais são que o aperfeiçoamento do processo de depuração da natureza, buscando reduzir seu tempo de duração e aumentar sua capacidade de absorção, com consumo mínimo de recursos em instalações e operação e o melhor resultado em termos de qualidade do efluente lançado, sem deixar de considerar a dimensão da população a ser atendida. Os sistemas existentes podem ser classificados, basicamente, em dois grandes grupos: tecnologias de sistemas simplificados ou mecanizados e processos aeróbios ou anaeróbios.

Os primeiros reatores anaeróbios de leito fixo e biofilme foram denominados Filtros Anaeróbios (FA). Os estudos sobre este sistema anaeróbio tiveram início com a 16 publicação de Young & McCarty, em 1969, baseado em estudos anteriores de Coulter *et al.*, em 1955.

Consistia em um reator de fluxo ascendente onde a biomassa ficava retida em um meio suporte de britas, através do qual o líquido era obrigado a passar, sendo por esse motivo denominado de Filtro Anaeróbio. Era alimentado com esgoto sintético e apresentou uma eficiência superior a 80 % na remoção de DBO. Historicamente é importante por ter sido o primeiro sistema anaeróbio a demonstrar a viabilidade de se aplicar cargas elevadas, entre 10 e 20 kg DQO/m³.d (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; NOUR et al., 2000; ABREU, 2003).

Hoje os filtros anaeróbios são definidos como reatores biológicos com fluxo através de lodo aderido e retido em um leito fixo de material inerte. Na superfície de cada peça do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios, que também se agrupam na forma de grânulos nos interstícios deste material (GONÇALVES *et al.*, 2001). Segundo Chernicharo (1997), embora a biomassa se solte esporadicamente, o tempo médio de residência de sólidos no reator é usualmente superior a 20 dias. Como as principais vantagens dos filtros anaeróbios podem ser citadas: (1) eficiência no tratamento esgotos concentrados ou diluídos, (2) boa resistência às variações de vazão afluyente, (3) reduzida perda da biomassa, (4) construção e operação simples, (5) possibilidade do emprego de várias combinações de fluxo e materiais de enchimento (CHERNICHARO, 1997).

As principais limitações dos filtros anaeróbios decorrem do risco de obstrução do leito (entupimento ou colmatação dos interstícios) e do volume relativamente grande, devido ao espaço ocupado pelo material suporte. O custo deste material também pode ser uma limitação, podendo muitas vezes ser equivalente à metade do custo total do reator. Diante desta limitação diversos tipos de materiais têm sido estudados e utilizados como meio suporte em filtros anaeróbios: quartzo, conchas de ostras, anéis plásticos, cilindros vazados, blocos modulares de PVC, granito, esferas de polietileno, bambu e escória de alto forno. A idéia é baixar custos a partir do emprego de materiais menos onerosos e/ou disponíveis no local de instalação do filtro (CHERNICHARO, 1997).

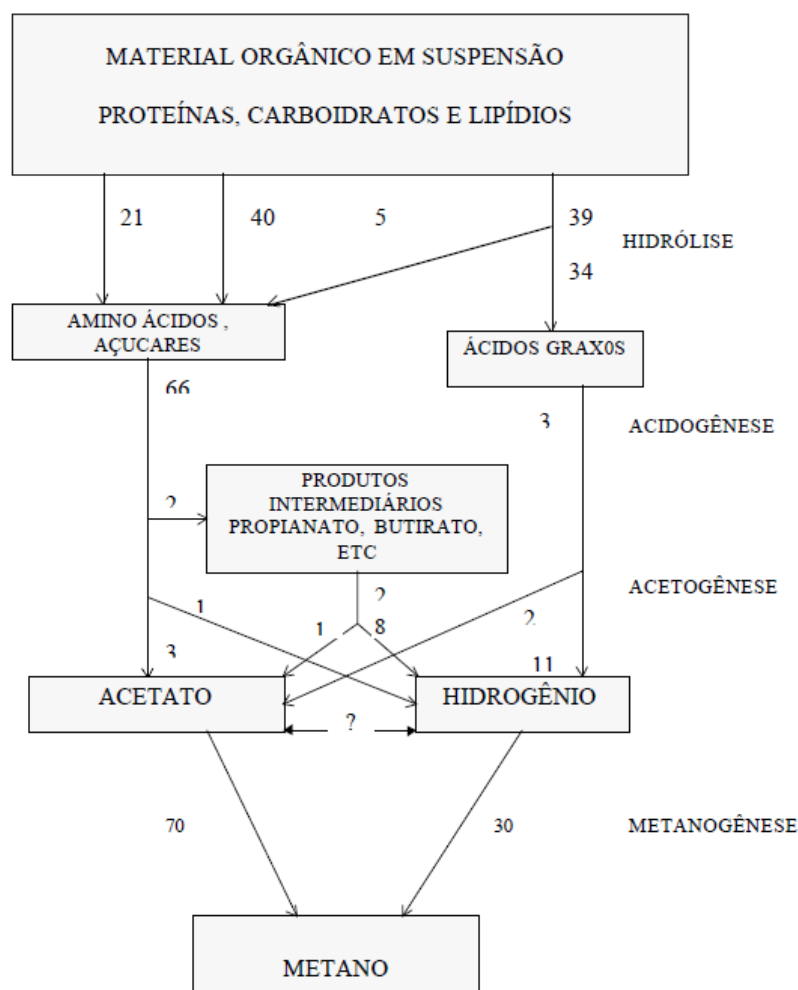
A altura da camada preenchida pelo meio suporte interfere no tratamento. Recomenda-se que ela ocupe os 2/3 superiores dos tanques, resultando numa altura não inferior a 2,0 m, exceto quando estudos em escala piloto ou plena comprovem a viabilidade de camadas menores (CHERNICHARO, 1997).

CAMARGO & NOUR (2001) avaliaram o efluente de um FA com camada suporte constituída de anéis de bambu. Coletando amostras em diferentes alturas observaram que a remoção de matéria orgânica ocorre principalmente nos 40 cm iniciais, indicando ser perfeitamente viável a construção de filtros com camadas suporte mais baixas. No que se

refere à qualidade do efluente as limitações dos filtros anaeróbios estão na baixa capacidade de remoção de patogênicos e nutrientes. O uso dos filtros anaeróbios como principal unidade de tratamento biológico de esgoto deve-se principalmente à constatação de que uma fração considerável do material orgânico (em geral em torno de 70 %) pode ser removida nesta unidade sem dispêndio de energia. Unidades aeróbias operando posteriormente, de forma combinada, vêm sendo empregadas para remoção de parcela da fração remanescente de material orgânico, nutrientes e patogênicos, gerando então um efluente final com qualidade compatível com aquela que se impõem pelos padrões legais de lançamento.

Segundo FORESTI *et al*, 1999, a digestão anaeróbia é um processo complexo biológico composto por várias reações sequenciais, cada uma com sua população bacteriana específica. Na Figura 5 a seguir, mostra o processo de conversão do material celular para biogás, diferenciando quatro passos principais:

Figura 5: Balanço da digestão anaeróbia.



Fonte: LETTINGA e HAADEL (1994)

- Passo Hidrólise

O primeiro passo na digestão anaeróbia é a hidrólise dos polímeros de cadeia longa que é feita pelas bactérias hidrolíticas. Os principais compostos a serem hidrolisados são a celulose, as proteínas e os lipídios. Sabendo que a hidrólise é um passo limitante para a conversão de matéria orgânica em metano. Os produtos das reações hidrolíticas são fermentados e depois transformados em metanos (EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL ,[s.d.]).

- Passo Acidogênese

Os açúcares e aminoácidos são absorvidos pelos organismos acidogênicos e fermentados intracelularmente a ácidos graxos de cadeias mais curtas, como ácido propiônico, butírico, além de CO₂, H₂ e acetato. As vias bioquímicas pelos quais o substrato é fermentado, e a natureza do produto(tipo de ácido volátil produzido) dependerão, principalmente, do tipo de substrato e da pressão parcial de hidrogênio (EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL ,[s.d.]).

- Passo Acetogênese

As bactérias acetogênicas desempenham um importante papel entre a acidogênese e a metanogênese. Bactérias acetogênicas, produtoras de hidrogênio são capazes de converter ácidos graxos com mais de 2 carbonos a ácidos acéticos, CO₂, H₂ que são os substratos para as bactérias metanogênicas (EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL ,[s.d.]).

- Passo Metanogênese

As bactérias metanogênicas são o final do processo de decomposição anaeróbia da biomassa. Metano é o produto final da mineralização da digestão anaeróbia. Como contraste a bactéria aeróbia metaboliza através da oxidação dos polímeros para CO₂ e H₂O. Podem utilizar ácido fórmico e acético, além de metanol, metilamina, H₂ e CO₂ para a produção de metano. Cerca de 70 % do metano produzido pelas bactérias metanogênicas provém do acetato (EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL ,[s.d.]).

Um dos sistemas desenvolvidos de maior aplicabilidade é o tratamento através de reatores anaeróbio com enchimento de diversos materiais. Ele é de baixo custo, não consome energia e produz pouco lodo. Outra característica importante é a inexistência da necessidade de construção e utilização de grandes equipamentos mecânicos. No entanto, possui como inconvenientes: a baixa eficiência na remoção de patógenos, nutrientes e principalmente

matéria orgânica, que chega a cerca de 70%. Desta forma, deve-se buscar a resolução deste problema com a utilização de um sistema de pós-tratamento para o seu efluente, adequando-o à legislação brasileira.

As vantagens do filtro anaeróbio podem ser:

- Ausência de gastos com aeração;
- Aplicação para resíduos com qualquer concentração;
- Flexibilidade operacional;
- Baixa produção de lodo estabilizado);
- Possibilidade de ficar longo tempo sem alimentação;
- Fácil construção pela pequena altura necessária.

2.2.3. Filtro de areia como pós-tratamento

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

O funcionamento deste sistema baseia-se na aplicação de afluente intermitentemente sobre a superfície de um leito de areia. Durante a sua infiltração, ocorre a purificação por mecanismos físicos, químicos e biológicos. O tratamento físico é resultante do peneiramento e o químico se processa pela adsorção de determinados compostos. Mas, a purificação depende principalmente da oxidação bioquímica que ocorre no contato do afluente com a cultura biológica. Devido a esta característica, Jordão e Pessoa (1995) afirmam que este tipo de sistema é incorretamente chamado de filtro, pois seu funcionamento não possui como explicação primordial o peneiramento ou a filtração. Neste mesmo sentido, Kristiansen (1981) sustenta que o leito de areia em conjunto com os microorganismos forma um filtro vivo.

Um dos sistemas desenvolvidos por esta rede e que está sendo de maior aplicabilidade, é o tratamento através de reatores anaeróbio com enchimento de bambu. Ele é de baixo custo, não consome energia e produz pouco lodo. Outra característica importante é a inexistência da necessidade de construção e utilização de grandes equipamentos mecânicos. No entanto, possui como inconvenientes: a baixa eficiência na remoção de patógenos, nutrientes e principalmente matéria orgânica, que chega a cerca de 70%. Desta forma, deve-se buscar a

resolução deste problema com a utilização de um sistema de pós-tratamento para o seu efluente, adequando-o à legislação brasileira.

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. Dentre elas, pode-se citar a irrigação e o consumo não humano, o que segue a linha proposta pela Organização Mundial de Saúde e atualmente adotada pelas agências ambientais dos Estados Unidos (USEPA) e da União Européia. Haja vista que tais organizações buscam a ampliação do reuso dos efluentes e a diminuição da utilização das fontes geradoras, resguardando-as para usos mais nobres (TONETTI, 2002).

No Brasil, o filtro de areia pode ser utilizado quando se deseja um sistema de pós-tratamento também simplificado. Seu funcionamento baseia-se na aplicação intermitente de afluente sobre a superfície de um leito de areia por meio de uma tubulação de distribuição. Durante a infiltração do líquido incide a purificação por mecanismos físicos, químicos e biológicos (AUSLAND *et al.*, 2002).

Especificamente para o Brasil, tem-se que a norma que traz o detalhamento das especificações para a implantação e operação do sistema de filtros de areia, a NBR13969/1997, é extremamente deficiente e imprecisa na exposição destas informações. Outro ponto a ser observado, é o fato de que as especificações apresentadas pela USEPA e pelos pesquisadores de outros países são inadequadas às condições climáticas existentes em nosso país. Desta forma, tem-se a necessidade de um estudo que nos de fundamentos para a construção em escala real deste tipo de sistema tratamento, sempre levando em consideração as condições ambientais e econômicas existentes em nosso país e a linha de pesquisa adotada pela rede PROSAB. (TONETTI, 2002).

2.3. Filtração e Carreira de Filtração

Filtração não é só apenas ação mecânica de coar que atua sobre a água que passa através dos leitos filtrantes de areia. Esta é apenas uma das partes do processo de filtração, onde o resultado final é consequência de uma série de fenômenos simultâneos que podem ser classificados como: Ações físicas, químicas, biológicas e bioquímicas.

O mecanismo de infiltração é extremamente complexo, que envolve fenômenos físicos (transporte, sedimentação, difusão etc) e físico-químicos (aderência por forças intermoleculares e/ou eletrostáticas, ponte química etc) entre as partículas e os grãos do meio filtrante.

Durante a filtração, as partículas depositam-se no meio filtrante, removidas pela ação de um ou mais dos fenômenos citados. À medida que aumenta o volume de depósitos, a velocidade aumenta pela diminuição da porosidade, com um correspondente aumento de perda de cara e de forças hidrodinâmicas de cisalhamento arrastando, em consequência, certa quantidade de partículas para o interior do meio filtrante (CARLOS A. RICHTER & JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO, 1991).

Contudo, como no estudo em questão, nos filtro de areia com fluxo descendente, a remoção de sólidos ocorre principalmente nas camadas superiores do meio filtrante, fazendo com que a perda de carga aumente rapidamente com o tempo. Sendo assim, segundo CARLOS A. RICHTER & JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO, as características do meio filtrante que influenciam na eficiência dos filtros são: o tamanho, a forma e a distribuição dos grãos, a porosidade e a profundidade do leito filtrante.

À medida que o filtro funciona e acumula impurezas entre os interstícios do leito filtrante, aumenta progressivamente a perda de carga e redução na sua capacidade de filtração. Quando essa perda atinge um valor preestabelecido ou a turbidez do efluente atinge além do máximo de operação, deve ser feita a lavagem.

Com isso, carreira de filtração é o tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outras consecutivas. Ao final desse período, deve ser lavado para a retirada da sujeira que ficou retida no leito filtrante.

2.4. Vigências Legais

Os principais textos legais, no Brasil, de natureza federal, indicativos de padrões e, portanto de parâmetros de qualidade são:

- ✓ Resolução CONAMA N° 357/2005: define padrões de balneabilidade em corpos d'água;
- ✓ Resolução CONAMA N°430/2011: dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes complementam e alteram a Resolução CONAMA N° 357/2005;

- ✓ Portaria N° 518/2004 do ministério da saúde: define o padrão de potabilidade para águas de consumo. Esta portaria, embora diga respeito à qualidade de água para consumo, é de interesse para uma visão global da qualidade dos corpos d'água e dos cuidados relativos ao lançamento de efluentes tratados em corpos receptores que poderão ser usados para abastecimento público (PACHECO & PESSOA, 2005).

3. METODOLOGIA

3.1. Protótipo ETE Piloto

Este projeto se constitui primeiramente de um levantamento bibliográfico a partir de referências específicas na área de tratamento de efluentes, tendo como foco o resultado de eficiência na remoção de matéria em regime anaeróbio.

A metodologia a ser desenvolvida neste trabalho terá uma abordagem qualitativa e quantitativa visando avaliar a eficiência do sistema em estudo. Quanto ao tipo de pesquisa, será do tipo descritivo tendo em vista que ela visa descrever o fenômeno e as características da amostra em estudo quanto à sua eficiência. Assim, quanto aos objetivos, foram utilizadas pesquisas exploratórias, visto que não se tem conhecimento suficiente no que se refere a filtro de areia como pós-tratamento de filtros anaeróbios com utilização de grades de enchimento com material de suporte, quando operados com altura útil de 8 metros de lâmina de água.

3.1.1. Estudo de caso:

Para concretização dessa pesquisa, será realizado um estudo de caso que é a construção e operação de um sistema piloto de tratamento de efluentes, onde se deseja obter parâmetros de funcionalidade do sistema proposto, no que tange a sua eficiência no tratamento dos esgotos.

Para avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, foi projetada e construída uma ETE Piloto. As unidades que compõem esse estudo são: um decanto-digestor também conhecido como tanque séptico, um filtro de meio suporte fixo de 8,0m de altura e 1,0m de diâmetro, e quatro unidades de filtro de areia de PVC OCRE com 200 mm de diâmetro e 6,0m de altura.

A ETE Piloto foi instalada na estação de tratamento de efluentes da Odebrecht Ambiental – ETE Norte (Figura 6), em Palmas/TO. As características estruturais deste protótipo são: estrutura parte em manilhas de concreto compondo o decanto-digestor e o filtro de meio suporte fixo, e quatro unidades de filtro de areia composto por tubos de PVC OCRE com 200 mm de diâmetro. Para observação e operação desse sistema foi executada uma estrutura metálica com um patamar de acesso na parte superior das unidades, conforme ilustrado na Figura 6.

Na Figura 6 a seguir, encontra-se a locação da ETE Norte em Palmas-TO. Já nas Figuras 7 e 8 está apresentado o conjunto hidráulico de todo o sistema.

Figura 6: Identificação na ETE Norte



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

Figura 7: ETE Piloto instalada na ETE Norte, Palmas/TO.



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

Figura 8: Unidades de composição.

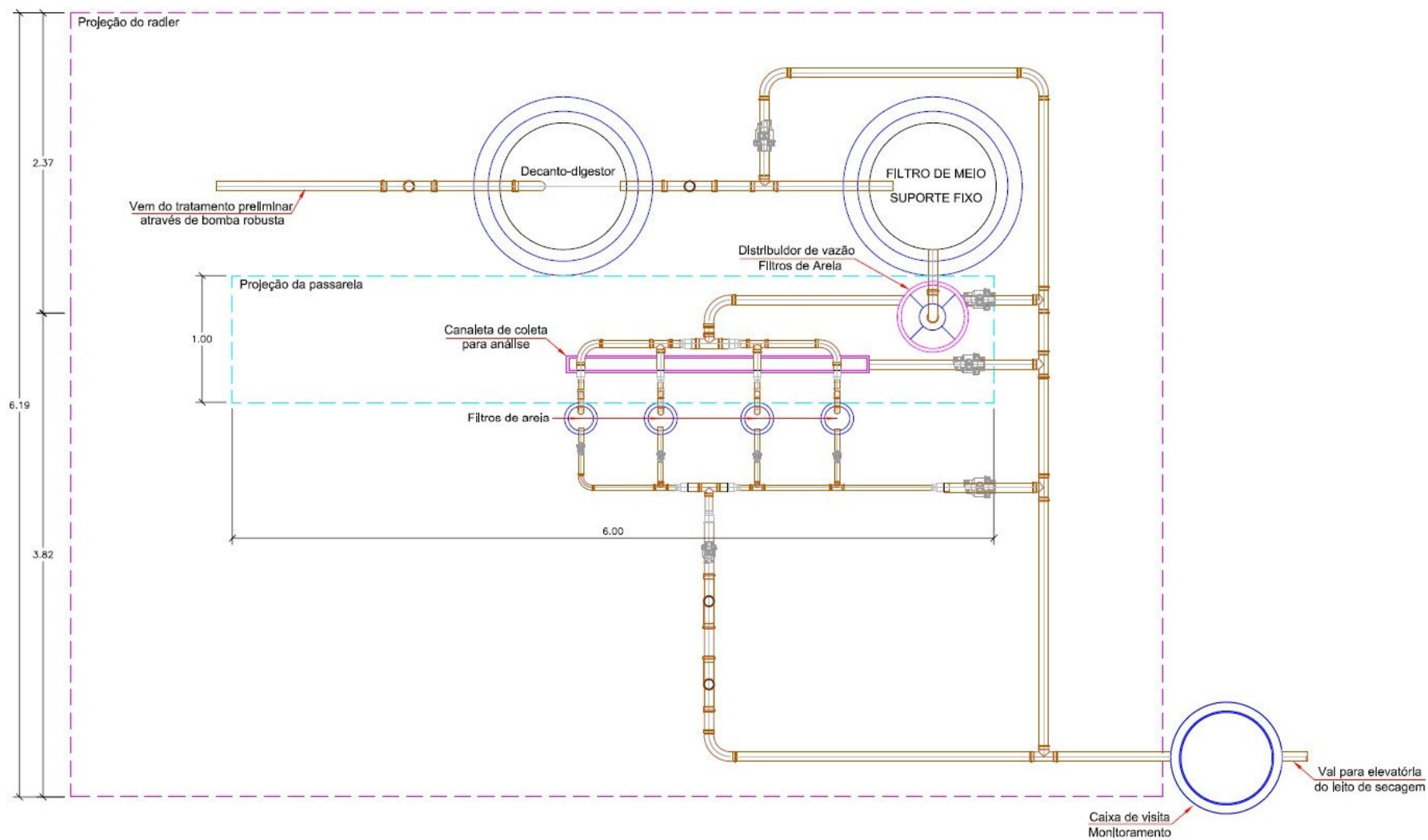


Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

O sistema é alimentado por captação na saída do Tratamento Preliminar da ETE Norte ao Decanto Digestor da Estação Piloto após o gradeamento usado para remoção de sólidos grosseiros, sendo recalcado por aproximadamente 50 metros (Tubo PVC – DN = 75 mm) para a ETE Piloto através de uma bomba submersível (Marca: Robusta e Modelo: 250T), configurando assim uma situação real de uma ETE. Em resumo tem-se:

- Decanto-digestor: altura de 8,0 m
- Filtro de meio suporte fixo: altura de 8,0 m
- Filtro de areia: altura de 6,0 m (4 unidades)
- Volume do decanto-digestor (L): 6283,19
- Volume do de meio suporte fixo (L): 6283,19
- Altura do meio filtrante – Filtro de areia: 1,55 m
- Altura do meio suporte fixo – Biofiltro: 3,0 m

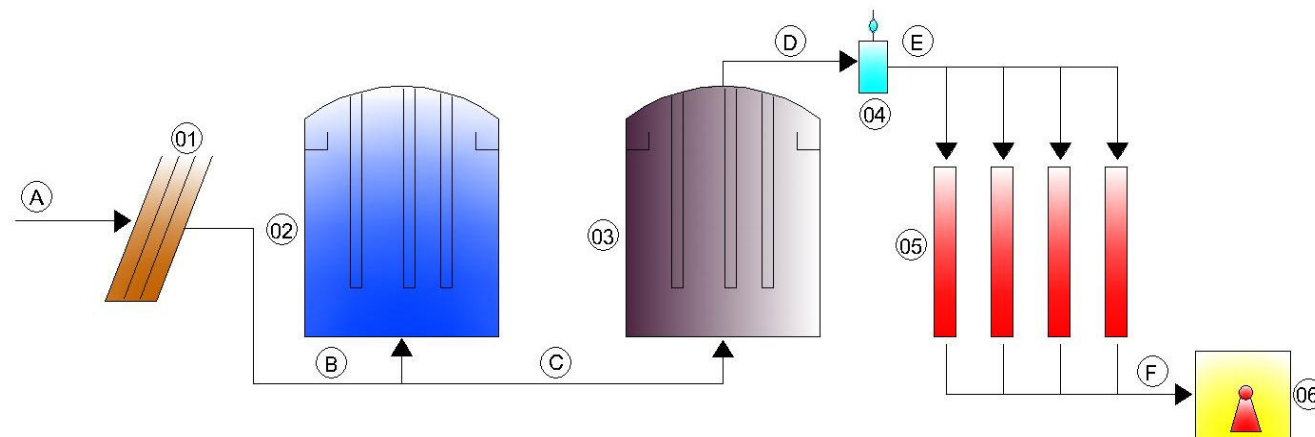
Figura 9: Planta baixo do projeto.



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

Figura 10: Fluxograma do Sistema Existente.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE NORTE ETE PILOTO



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

01 – Tratamento Preliminar

02 – Reator Anaeróbio

03 – Filtro Anaeróbio

04 – Divisor de Vazão

05 – Filtros de Areia

06 – Elevatória do Leito de Secagem

A – Esgoto bruto captado após o gradeamento através de bomba robusta.

B – Vem do tratamento preliminar com entrada no reator por fluxo descendente.

C – Vem do reator e vai para o filtro anaeróbio com fluxo ascendente.

D – Efluente sai do filtro anaeróbio e vai para o divisor de vazão.

E – Sai do divisor de vazão e vão para as 04 unidades de filtro de areia.

E – Fluente vêm dos filtros de areia e para o destino final ou retorna para ETE Norte.

3.2. Filtro de Areia

3.2.1. Granulometria

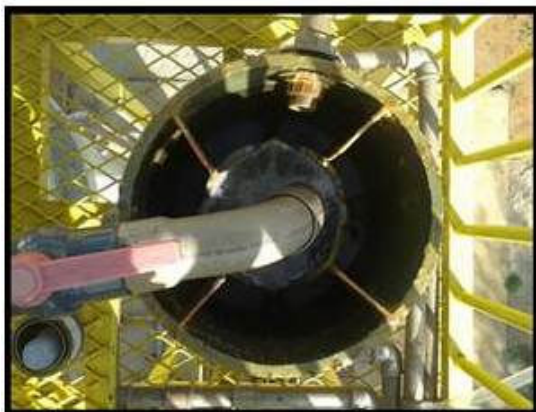
Para a construção dos filtros, foram utilizados tubos de PVC OCRE com 200 mm de diâmetro, onde foram instalados lado a lado conforme Figura 10.

Como o presente trabalho trata-se de um estudo de caso, a determinação da granulometria que compõe o meio filtrante, foi baseada em experiências anteriores e na segunda revisão da obra Técnica de Abastecimento de Tratamento de Água (CETESB, 1979).

Após o efluente passar pelo divisor de vazão (Figura 10), onde tem a função de garantir a distribuição uniforme, o efluente é aplicado nos filtros de areia de forma descendente onde o meio filtrante foi dividido em 03 camadas conforme Figura 11. Assim tem-se:

- Seixo Rolado 1/2" a 3/4" _12,70 A 19,05mm – 0,45m
- Seixo Rolado 1/4" a 1/2" _6,35 A 12,70mm – 0,30m
- Seixo Rolado 1/8" a 1/4" _3,18 A 6,35mm – 0,80m

Figura 11: Divisor de Vazão.



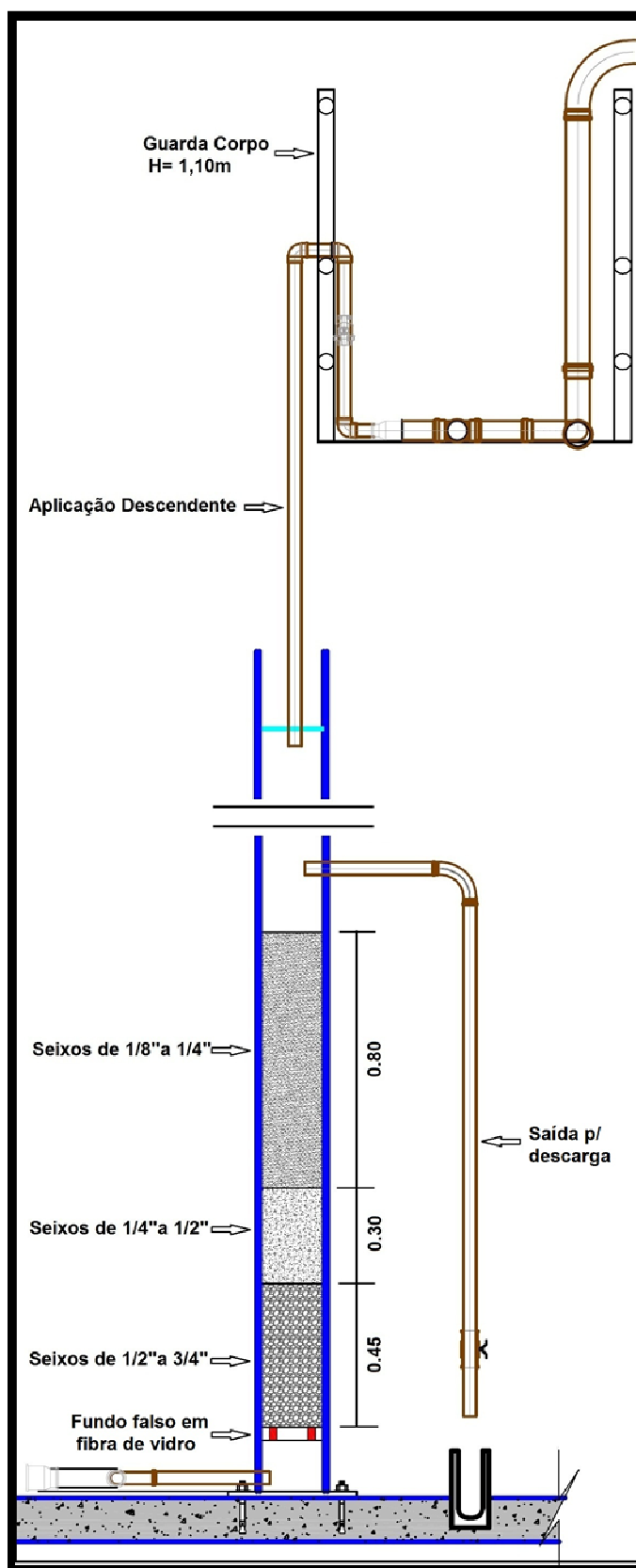
Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

Figura 12: Filtros de Areia.



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

Figura 13: Camadas do meio filtrante.



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental.

3.2.2. Lavagem dos Filtros

Como as unidades que compõe a ETE Piloto são pequenas, as lavagens auxiliares dos filtros foram feitas periodicamente após a determinação do tempo de carreira de filtração (tempo entre o início da operação e o momento da retirada do filtro para lavagem) dos filtros de areia. Trabalho que poderá ser executado com limpeza e sem risco de contaminação.

Na etapa inicial da carreira de filtração, a produção de água com qualidade insatisfatória tem sido creditada principalmente à lavagem (AMIRTHARAJAH & WETSTEIN, 1980). Esses estudiosos explicam que a existência de picos de turbidez na água filtrada, se dá devido à água de lavagem remanescente em estado limpo, situado abaixo do meio filtrante e nas tubulações de saída; água de lavagem remanescente em estado limpo, está no interior do meio filtrante e na camada de suporte; e água de lavagem remanescente em estado limpo está acima do topo do meio filtrante. De acordo com os pesquisadores, as características dessas águas são destinadas e dependem da eficiência da lavagem.

3.3. Parâmetros de Projeto

Para o desenvolvimento do projeto foi necessário determinar e dimensionar alguns parâmetros. Na etapa inicial do presente estudo foi adotado um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8hs para o decanto digestor e para o filtro. Este valor foi passado pelos orientadores, que por experiência em outros estudos e em projetos de escala real, chegou a esse tempo ótimo para sedimentação dos sólidos e para que haja uma boa digestão do lodo.

Após a adoção do TDH, a vazão de tratamento da ETE Piloto foi determinada a partir do seguinte cálculo:

$$\text{Volume do Decanto Digestor} = 6.283,19 \text{ litros}$$

$$\text{TDH} = 8 \text{ h} = 28.800 \text{ segundos}$$

Portanto:

$$V/\text{tempo} = Q = \frac{6283,19 \text{ l}}{28800 \text{ s}} \quad Q = 0,22 \text{ l/s}$$

Com o valor da vazão, também pode se determinar a carga hidráulica e a velocidade superficial do fluxo conforme a Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Parâmetros de Projeto.

Critério/Parâmetro	Qcontínua
Vazão do projeto (L/s)	0,22
Carga hidráulica volumétrica ($\text{m}^3/\text{m}^3 \times \text{d}$)	3,02
Tempo de detenção hidráulica (h)	8,00
Velocidade superficial do fluxo ($\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{h}$)	1,00

Fonte: Autor da pesquisa (2015).

4.2.1 Etapas de estudo

A pesquisa visa o acompanhamento da eficiência de remoção da matéria orgânica e sólido. O trabalho de pesquisa foi dividido em duas etapas de estudo, detalhados a seguir.

4.2.2 Etapa – I

Nesta etapa foram realizados testes de eficiência de remoção de matéria orgânica no tratamento de esgoto doméstico através de um sistema alternativo composto por filtro anaeróbio com meio suporte fixo de material polietileno associado como pós-tratamento a um decanto digestor. O filtro anaeróbio em estudo será alimentado por uma vazão de 0,22 L/s onde a taxa de aplicação será de 1,00 m^3/m^2 dia sobre a superfície dos filtros de areia. Para melhores resultados, foram instalados pontos de coletas á cada metro de distancia para análises laboratoriais.

Obs.: Esta etapa do trabalho foi realizada pelo acadêmico Melk Zedek C. Ramalho – 2015/1, o qual realizou estudos pertinentes ao sistema de partida e monitoramento da ETE piloto em regime anaeróbio. Tendo como base o mesmo projeto, mas diferenciando da pesquisa em questão.

RAMALHO, M. Z. C. ESTUDO DE CASO: Partida, monitoramento e avaliação do desempenho do sistema anaeróbio (Reator e Filtro) no tratamento de esgotos sanitários. Palmas, 2015. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – ULBRA, Centro Universitário Luterano de Palmas, 2015.

4.2.3 Etapa – II

Caracterizado pela presença em seu interior de um material de recheio estacionário e inerte, o filtro anaeróbio é um tipo de reator bioquímico. O efluente penetra pela sua parte inferior ou superior, saindo na extremidade oposta. Durante este percurso, ocorre o tratamento devido ao contato do substrato presente na água residual com os microrganismos aderidos ao material de recheio. Apesar da eficiência desse sistema ser boa, entre 10 a 30% da matéria orgânica não é degradada, o que impede que seu efluente atenda a legislação brasileira quanto a DBO, tornando necessário um pós-tratamento. Assim, buscando manter as características de um tratamento alternativo e barato, o mesmo passará por um sistema terciário aplicando o efluente sobre a superfície de filtros de areia, onde essa associação torna-se alternativa que preservará a simplicidade e o baixo custo total.

Foram feitas análises para avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica através do mesmo sistema utilizado na primeira etapa, porém, um sistema anaeróbio (reator e filtro) seguido de filtro de areia como pós-tratamento. Foram feitas análises sequenciadas, sendo elas realizadas semanalmente em dias específicos no decorrer de 15 semanas, onde foram mantidas as características de volume e tempo de retenção hidráulico da primeira etapa. Os filtros de areia foram operados com fluxo descendente e as coletas realizadas respectivamente nos pontos de acesso nas saídas das unidades.

Deste modo, para estudar um sistema simplificado de tratamento de esgoto, será avaliado através dos resultados laboratoriais comparando-os com os padrões de lançamento em corpos hídricos (CONAMA 430/2011).

Art. 1º Esta Resolução dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão de lançamento de efluentes em corpos de águas receptores, alteando parcialmente e complementando a Resolução nº 357, 17 março de 2005, do Conselho Nacional do Meio ambiente-CONAMA. (CONAMA 430/2011, p. 1)

4.2.4 Metodologia analítica

A decomposição do esgoto é um processo que demanda vários dias, iniciando-se com uma contagem elevada de DBO, que vai decrescendo e atinge seu valor mínimo ao completar-se a estabilização. As coletas para análises foram feitas três vezes por semana até a estabilização, sendo os parâmetros:

- pH
- Temperatura
- Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Após a estabilização, as coletas para análises foram feitas uma vez por semana, sendo os parâmetros:

- pH
- Temperatura
- Turbidez
- Demanda Química de Oxigênio (DQO)
- Materiais Sedimentares
- Sólidos
 - Sólidos Suspensos Fixos
 - Sólidos Suspensos Totais
 - Sólidos Suspensos Voláteis

As análises laboratoriais seguiram os métodos analíticos recomendados pela “*Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2005). As mesmas foram realizadas no Laboratório Central da Unidade Regional de Palmas localizado na ETE Norte mantido pela Odebrecht Ambiental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

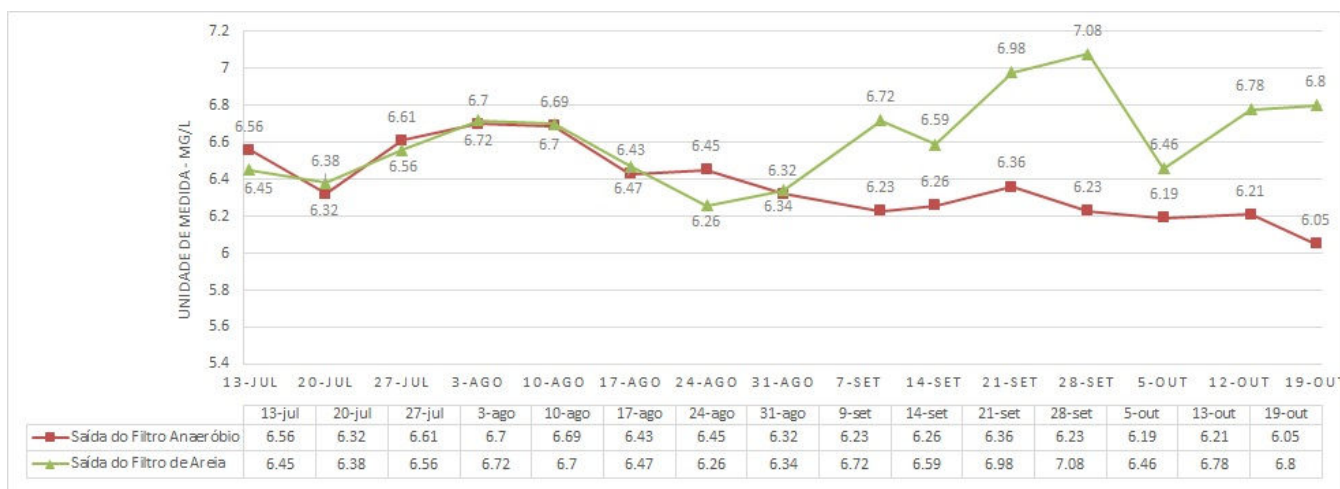
Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, a ETE Piloto entrou em operação em 8 de outubro de 2014, com vazão média de 0,22 l/s. Na fase inicial, os filtros de areia entraram em operação somente em Junho de 2015, após a estabilização do sistema, respeitando as etapas de estudos. Inicialmente foi proposto que a aplicação do efluente sobre os filtros de forma descendentes, entretanto, pelo fato menor da granulometria do meio filtrante estar na parte superior no interior do filtro, problemas de colmatção (preenchimento dos poros do meio filtrante) começou a prejudicar o desempenho do sistema.

Após ajustar o sentido de aplicação do efluente nos filtros, iniciando os procedimentos de coletas e análises das 04 unidades de filtro de areia que compõe a ETE Piloto.

Os resultados foram apresentados mostrando a eficiência na remoção de matéria orgânica nos filtros de areia como pós-tratamento no sistema da ETE Piloto (reator e filtro). Para cada parâmetro será analisado a saída do filtro anaeróbico e a saída dos filtros de areia, podendo assim observar se houve melhoria de eficiência nos filtros de areia.

4.1. pH

Gráfico 1: pH - Filtro anaeróbico seguido de filtro de areia.

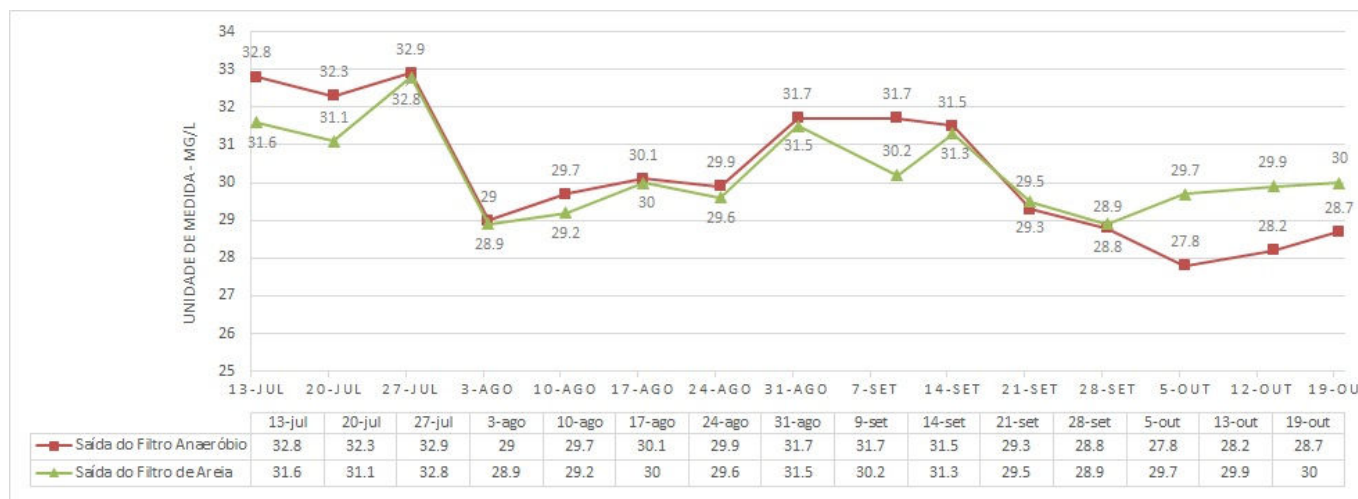


Fonte: Autor da pesquisa (2015).

Na figura acima representada, pode-se observar que os dados obtidos encontram-se na faixa neutra respeitando a resolução 430. Segundo (PIVELLI, 2002), o pH do esgoto varia entre 6,5 a 7,5 esgotos velhos tem pH inferior a 6,0. É importante ressaltar que para existência de vida em corpos hídricos é necessário que o mesmo possua um pH de 6 a 9.

4.2. Temperatura

Gráfico 2: Temperatura - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.

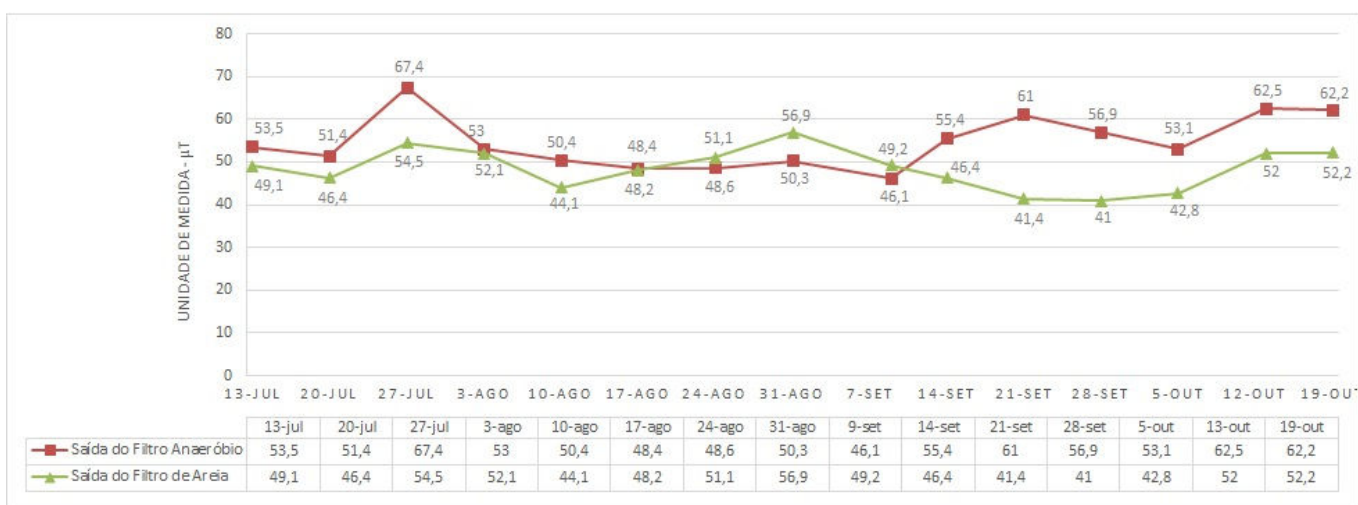


Fonte: Autor da pesquisa (2015).

De acordo com o CONAMA 430, a recomendação para o parâmetro de temperatura deve ser $< 40^{\circ}\text{C}$. Como pode ser observado nos dados acima, os resultados atendem a recomendação mantendo-se menor que $< 40^{\circ}\text{C}$.

4.3. Turbidez

Gráfico 3: Turbidez - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia



Fonte: Autor da pesquisa (2015).

Apesar do parâmetro de turbidez não ser especificado na resolução 430, foi conveniente adotar este método somente para efeito comparativo entre o filtro anaeróbio de os

filtros de areia. Contudo, pode-se perceber que no dia 31 de Agosto, houve um pico de turbidez, determinando assim o tempo de carreira de filtração (tempo entre o início da operação e o momento da retirada do filtro para lavagem) que deverá ser entre os dias 13 de Julho e 24 de Agosto (43 dias seguidos), quando a partir do dia 24 de Agosto começou a ter um aumento continuo na turbidez. Após esse período, foi feita a retrolavagem dos filtros para que o sistema retornasse a sua eficiência inicial.

Na Figura 14 a seguir, apresenta a situação do efluente após a retrolavagem dos filtros de areia.

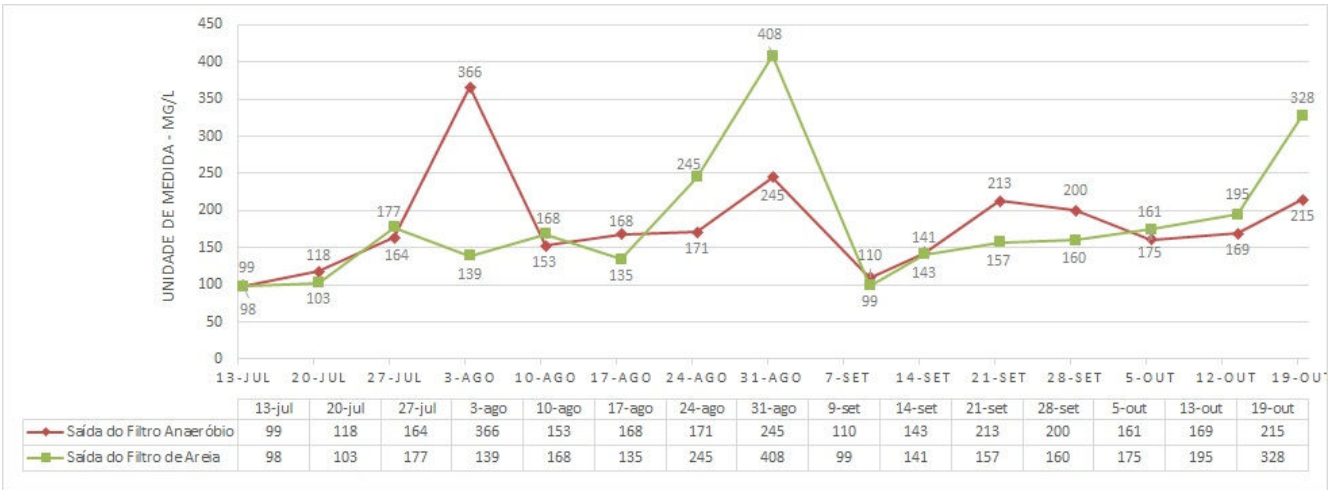
Figura 14: Lavagem dos Filtros de Areia – Efluente.



Fonte: Acervo Odebrecht Ambiental

4.4. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Gráfico 4: DQO – Filtro anaeróbico seguido de filtro de areia.

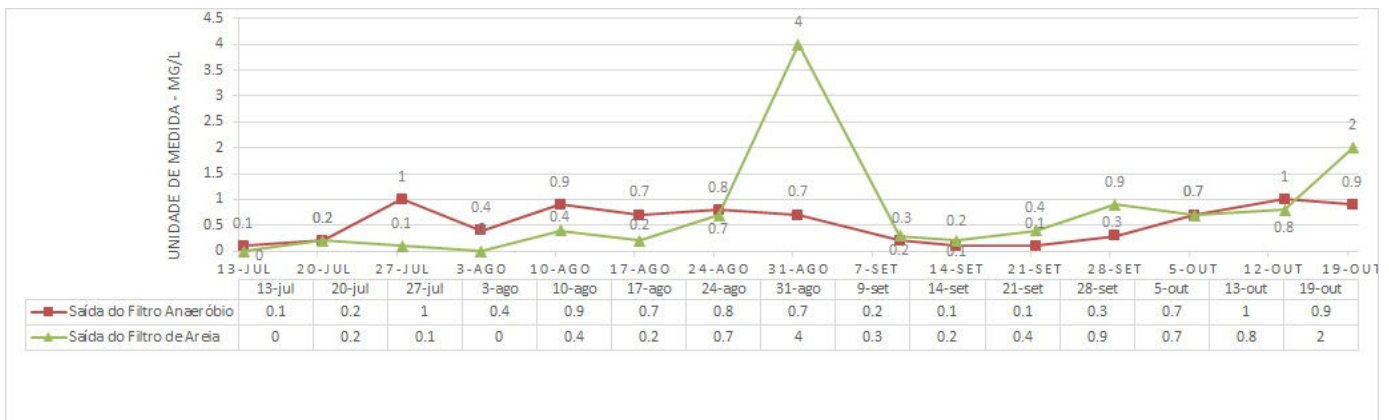


Fonte: Autor da pesquisa (2015).

Comparando os resultados de DQO entre os pontos de saída do filtro anaeróbio e o filtro de areia, percebe-se que entre os dias 17 de Agosto e 31 de Agosto, houve uma elevada concentração deste dado, podendo-se dizer que as unidades de filtro de areia não trabalharam com eficiência neste período. Após o dia 31 de Agosto, com a retrolavagem, os mesmos voltaram a operar inicialmente com eficiência.

4.5. Materiais Sedimentares

Gráfico 5: Materiais Sedimentares - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.



Fonte: Autor da pesquisa (2015).

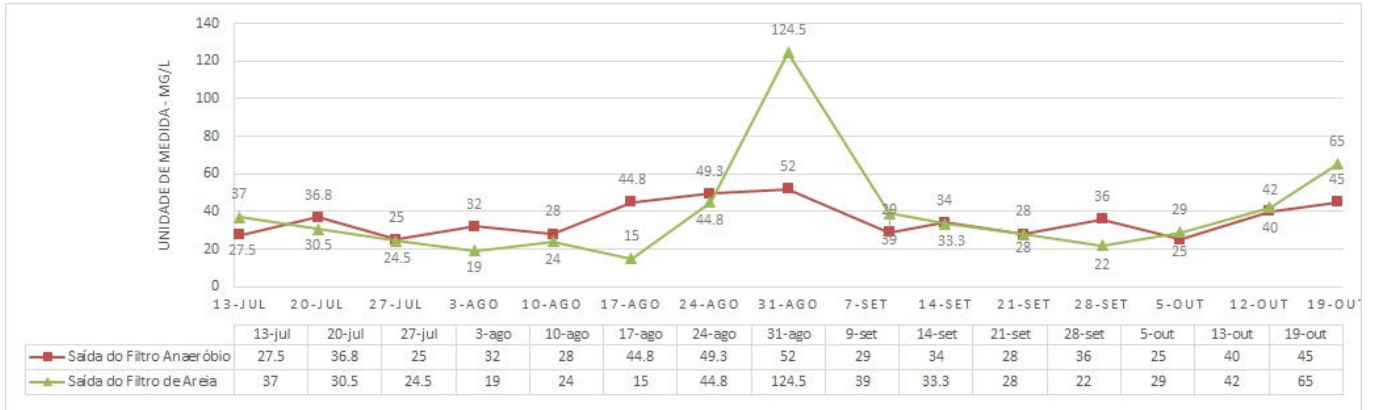
Observando que os dados deste parâmetro sejam reflexos dos resultados do parâmetro de DQO, nota-se que no mesmo período (entre os dias 17 de Agosto e 31 de Agosto) houve um aumento considerado de sedimentos no efluente das unidades de filtros de areia.

4.6. Sólidos

Observando os dados abaixo, nota-se que a remoção de sólidos totais, fixos e voláteis, não foi significativa.

5.6.1 Sólidos Suspensos Totais

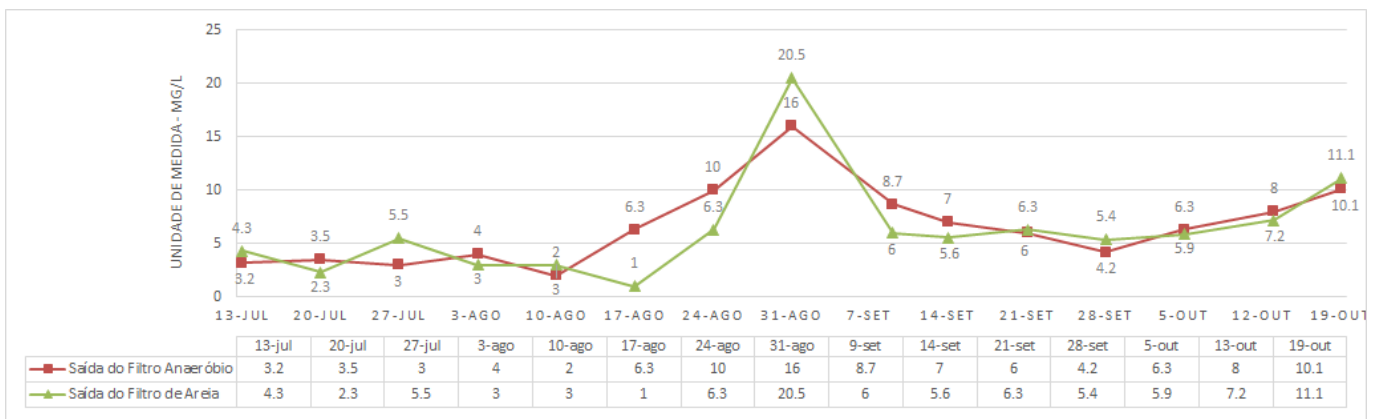
Gráfico 6: Sólidos Suspensos Totais - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.



Fonte: Autor da pesquisa (2015).

5.6.2. Sólidos Suspensos Fixos

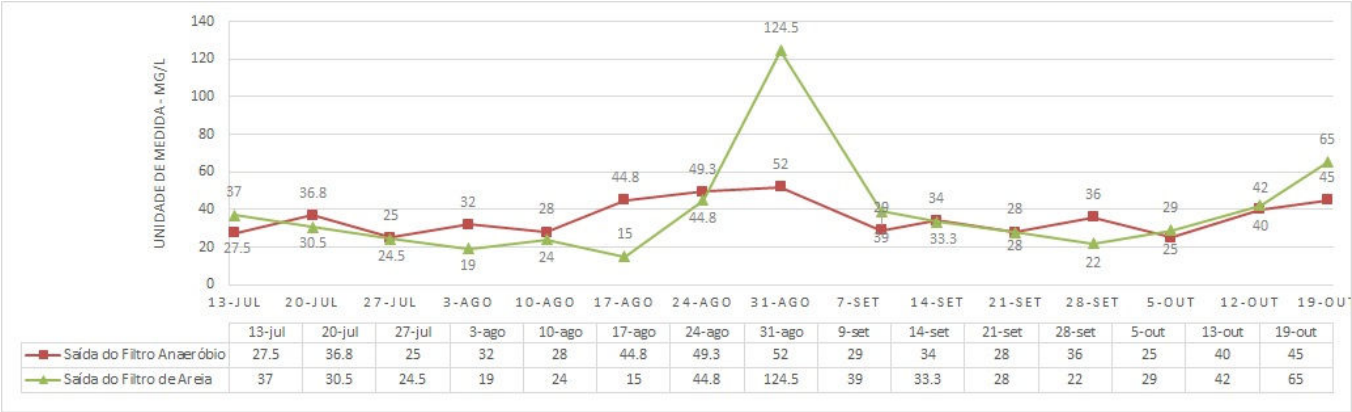
Gráfico 7: Sólidos Suspensos Fixos - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.



Fonte: Autor da pesquisa (2015).

5.6.3. Sólidos Suspensos Voláteis

Gráfico 8: Sólidos Suspensos Voláteis - Filtro anaeróbio seguido de filtro de areia.



Fonte: Autor da pesquisa (2015).

5. DISCUSSÕES PARCIAIS DOS RESULTADOS

Durante todo o estudo a ETE Piloto, os parâmetros pH e Temperatura atenderam aos limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 430/2011 onde temperatura do efluente tratado não ultrapassou 40°C e pH permaneceu na faixa entre 5 a 9.

O parâmetro de turbidez está ligado ao aspecto do efluente, sendo importantes para determinar quando o mesmo possui a condição de estado limpo. Usa-se a determinação destes parâmetros como controle operacional nas ETEs, para avaliação do efluente tratado secundário ou terciário (PACHECO & PESSOA, 2005). Nos resultados obtidos de turbidez, foi determinado o tempo de carreira de filtração (tempo entre o início da operação e o momento da retirada do filtro para lavagem) que foram ser 43 dias seguidos, quando observando as amostras, notou-se que a partir do dia 24 de Agosto, começou a ter um aumento continuo nos resultados. Neste caso, entre algumas soluções para melhor remoção de sólidos nas unidades de filtro de areia, seria a implantação de uma unidade de decantação, combinado com adição de produto químico entre o filtro de meio suporte fixo e os filtros de areia, onde proporcionará um estado de tranquilidade necessária ao efluente, melhorando assim a sedimentação e evitando a colmatção dos filtros de areia. Contudo, foi feita a retrolavagem dos filtros para a estabilização do sistema.

A Resolução CONAMA nº 430/11 cita em seu Artigo 21, inciso I, letra d que: "Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor". Com isso, pode-se presumir que o ganho de eficiência na remoção de matéria orgânica nas unidades de filtro de areia foi pequena, tornando assim as unidades pouco eficiente na remoção de DQO.

A Resolução CONAMA nº 430/11 estabelece que os efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários somente podem ser lançados nos corpos hídricos quando a concentração de sólidos sedimentáveis forem inferiores a 1 mL/L em teste de 1 hora em Cone *Inmhoff*. Conforme os resultados pode-se afirmar que os filtros de areia apresentaram uma concentração limite de 1 mL/L durante todo o estudo, sendo o valor máximo preconizado pela referida legislação.

Os sólidos nos esgotos são medidos através de sua concentração em mg/L, e de acordo com a vazão contribuinte, é calculada sua massa, kg/d. As concentrações e respectivas massas de Sólidos em Suspensão (SS), de Sólidos Totais (ST), de Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF) são de interesse para o projeto e controle operacional das ETEs. Normalmente a concentração de sólidos em suspensão em esgotos domésticos se acha na faixa de 120 a 360 mg/l, sendo que em geral o objetivo é alcançar um efluente tratado com 30mg/l (PACHECO & PESSOA, 2005). Os resultados obtidos nas análises de Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis, mostrou que a remoção desses poluentes foi mínima, não havendo uma melhoria significativa no efluente.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Os resultados obtidos com o estudo, os filtros de areia não se mostraram eficientes, tendo remoção de matéria orgânica expressa como DQO 181,87mg/L e de Sólidos Suspensos Totais 38,51mg/L frente o reator e filtro anaeróbios, que apresentaram um desempenho satisfatório na remoção de DQO 179,67mg/L e de Sólidos Suspensos Totais 35,49mg/L, havendo remoção apenas de 2,2 mg/L.
- Diante dos resultados, notou-se que a carreira de filtração utilizada de 43 dias não foi ideal para determinar a eficiência dos filtros de areia. Assim, o período ideal para determinar a lavagem do mesmo deve ser de 34 dias.
- A aplicação dos filtros de areia como pós-tratamento do sistema anaeróbio no regime operacional analisado mostrou-se ineficiente, com percentual médio de remoção de sólidos totais de apenas 1,01%, e em alguns casos a concentração final deste parâmetro foi superior ao valor de entrada;
- A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa recomenda-se a continuidade deste trabalho considerando as seguintes possibilidades:
 - Instalação de um decantador antes dos filtros de areia para redução da carga de sólidos e, por conseguinte, evitar colmatação das referidas unidades e elevar a carreira de filtração;
 - Adicionar um produto químico (cloreto férrico) na unidade de decantação, visando melhorar a sedimentação dos sólidos e a remoção do fósforo através da precipitação;
 - Avaliar o desempenho dos filtros de areia utilizando outras granulometrias para o meio filtrante;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M. M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

APHA/AWWA/WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19. ed. Washington, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: **Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: **Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: **Tanques sépticos . unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos; projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL (2011). **Resolução CONAMA nº 430**, 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357**, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Brasília/DF.

CAMARGO, S. A.. R.; NOUR, E. A. A. **Tratamento de esgoto sanitário por filtro anaeróbio utilizando o bambu como meio suporte: partida do sistema**. In: IX SIMPOSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Seguro, BH, Brasil. Anais eletrônicos, 2000.

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

CAMPOS, J. R. (1998) – **Notas da aula de Tratamento de Águas Residuárias**, Pós Graduação em Hidráulica e Saneamento na Escola de Engenharia de São Carlos.

CAMPOS, J. R.; PEREIRA, J. A. R. Reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. [s.l.: s.n.], 1999. p.199-219.

CHERNICHARO, C. A.; ARAÚJO, V. L.; GONÇALVES, R.F. **Estudos sobre o pós-tratamento de efluentes de reatores UASB através de biofiltros aerados submersos**.

EMPRESA DE ENGENHARIA AMBIENTAL (EAA). **Curso de Tratamento de Esgoto**. [s.l]: [s.n],[s.d]. Disponível em : <.....>. Acesso em : 02 set. 2014.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEL, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). 187 **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. [s.l.: s.n.], 1999. p.29-52.

GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L. ; ANDRADE NETO, C. O. ; ALEM SOBRINHO, P. ; KATO, M. T. ; RIBEIRO DA COSTA, R. H. ; AISSE, M. M. ; ZAIAT, M. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme**. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: [s.n.], 2001. p.171-278.

HAANDEL, A. V.; CATUNDA, P. F. C.; OLIVEIRA, M. G.; SOUZA, J. T. **Influência do tempo de permanência sobre o desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL-ABES, n.17, 1993, Foz do Iguaçu (ver local). Anais. Tomo I, p.497- 512.

HAANDEL, A. V., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos - um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Guerreiro e Catunda, 1994.

HAANDEL, A. V., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos - um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Guerreiro e Catunda, 1994.

IMHOFF, K. R. (1986) – **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. São Paulo.

IMHOFF, K. & IMHOFF, K.R., 1985. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. In: CONGRESO ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 25., 1997.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

JORDÃO, E.P & PESSÔA, C.A. (1995). **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª ed. ABES-RJ, 682p.

KRISTIANSEN, R. Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent: III. The micro flora, **Journal of Environmental Quality**, n. 10, p. 361–364, 1981c.

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

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4º. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4th ed. New Delhi, McGraw-Hill Inc. 2003. 1500p.

METCALF; EDDY. (2003) **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, International Editions.

SANTOS, A.S.P. **Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos**. 2005. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

VON SPERLING, M., 1996. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 2. Princípios do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG.

VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C.A.L. **Tendências no tratamento simplificado de águas residuárias. Tópicos de relevância**. In: Seminário Internacional Tendências No Tratamento Simplificado de Águas Residuárias. Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte, MG: DESA/UFMG, 1996. p. 3-11.

VON SPERLING, M. (2009) **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2º ed. Belo Horizonte: UFMG. p. 452.