

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

JOSE ROBERTO JUNIOR SOARES

**EFICIÊNCIA DE REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO: INFLUÊNCIA
DA CONCENTRAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.**

FORMIGA – MG

2017

JOSE ROBERTO JUNIOR SOARES

EFICIÊNCIA DE ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO: INFLUÊNCIA DA
CONCENTRAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro
Universitário de Formiga, como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.
Orientadora: Prof^a. Dra. Kátia Daniela Ribeiro.

FORMIGA – MG

2017

S676 Soares, José Roberto Junior.
Eficiência de reatores anaeróbios de manta de lodo: influência da
concentração dos sólidos sedimentáveis / José Roberto Junior Soares. –
2017.
57 f.

Orientadora: Kátia Daniela Ribeiro.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Ambiental e Sanitária)-Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

1. Esgoto doméstico.2. Tratamento anaeróbio. 3. Reatores UASB.
I. Título.

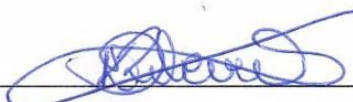
CDD 628.3

José Roberto Junior Soares

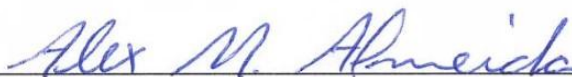
EFICIÊNCIA DE REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO: INFLUÊNCIA
DA CONCENTRAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao do Curso de Bacharelado em Engenharia
Ambiental e Sanitária do UNIFOR-MG, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª. Dra. Kátia Daniela Ribeiro
Orientadora



Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida
UNIFOR – MG



Prof. Luis Henrique Silva Soares
UNIFOR-MG

Formiga, 05 de dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me conceder a graça de alcançar este objetivo, dando-me força, coragem, sabedoria e discernimento durante toda esta longa caminhada.

Aos meus familiares, especialmente meus pais, Adriane e José Roberto (*in memoriam*), fonte de inspiração, amor e determinação.

À minha namorada Danila, obrigado por tudo o que você transformou na minha vida. Obrigado pelo teu carinho, tua alegria, tua atenção, tua vibração com a minha conquista.

Agradeço imensamente à minha orientadora, Prof^a. Dr^a Katia Daniela Ribeiro, pela paciência, auxílio e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos, em especial Deivid, Gabriela Silva, Luiz Fernando, Thiago e Ralph, pelo apoio no final da graduação e pelas alegrias e tristezas compartilhadas.

Ao Engenheiro Químico Fabio Prates, pelas orientações e esclarecimentos.

Aos diretores e funcionários do SAAE-LP, por consentirem a realização da minha pesquisa nessa autarquia, fornecendo os dados e apoio necessário para o desenrolar da mesma.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, a minha eterna gratidão.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo mostrar que a correta disposição do esgoto doméstico é de suma importância para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Antes do descarte do efluente em corpos hídricos, é necessário que o mesmo passe por um tratamento, e dentre os tipos de tratamentos existentes, o biológico vem ganhando destaque. O tratamento anaeróbio é uma das alternativas dos tratamentos biológicos que vem crescendo, pois possui boa eficiência no processo de remoção de matéria orgânica, tem baixa demanda de área e baixo custo de implantação. Os reatores UASB, que ganham foco neste trabalho, é um mecanismo importante e eficiente no sistema de tratamento anaeróbio. Este mecanismo está presente na estação de tratamento de esgoto de uma concessionária de água e esgoto do município de Lagoa da Prata-MG, onde o objetivo do presente estudo foi apontar a influência dos sólidos sedimentáveis na eficiência de remoção de matéria orgânica dos reatores através de análises realizadas periodicamente. Através destas análises e pesquisas, os resultados demonstraram que a presença elevada de sólidos sedimentáveis dentro do reator compromete a eficiência do mesmo, sendo proposto um descarte do lodo dentro de um período de duas semanas, a fim de restabelecer a eficiência do processo.

Palavras-chave: Esgoto doméstico, Tratamento anaeróbio, Reatores UASB.

ABSTRACT

This study aims to show that the correct disposition of domestic sewage is important for the protection of public health and the environment. Before the disposal of the effluent in water bodies, it is necessary that it goes through a treatment, and among the types of existing treatments, the biological has been gaining prominence. The anaerobic treatment is one of the alternatives of the biological treatments that has been growing since it has good efficiency in the organic matter removal process, it has low area demand and low implantation cost. The UASB reactors are an important and efficient mechanism in the anaerobic treatment system. This mechanism is present in the sewage treatment plant of a water and sewage concessionaire in the municipality of Lagoa da Prata, Minas Gerais, Brazil, where the objective of this study was to indicate the influence of sedimentable solids on the organic matter removal efficiency of the reactors through analyzes performed periodically. Results allowed observing that a high presence of sedimentable solids inside the reactor compromises its efficiency, being proposed a discard of the sludge within a period of two weeks, in order to restore the efficiency of the process.

Keywords: Domestic sewage, Anaerobic treatment, UASB reactors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço esquemático de DQO nos sistemas aeróbios e anaeróbios.	22
Figura 2 - Sistemas anaeróbios utilizados para tratamento de esgoto.....	24
Figura 3 - Representação esquemática de um digestor de baixa carga.	26
Figura 4 - Representação esquemática de um digestor de um estágio e alta carga.	27
Figura 5 - Representação esquemática de um digestor de dois estágios e alta carga..	28
Figura 6 - Representação esquemática de um tanque séptico de câmara única.....	29
Figura 7 - Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia.....	30
Figura 8 - Representação esquemática de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente ..	32
Figura 9 - Representação esquemática de um filtro anaeróbio de fluxo descendente ..	32
Figura 10 - Representação esquemática de um biodisco anaeróbio.....	33
Figura 11 - Representação esquemática de um reator de leito expandido/fluidificado..	34
Figura 12 - Representação esquemática de um reator de dois estágios.	35
Figura 13 - Representação esquemática de um reator de chicanas.	36
Figura 14 - Representação esquemática de um reator de leito granular expandido.	37
Figura 15 - Representação esquemática de um reator com recirculação interna.	38
Figura 16 - Desenho esquemático do reator UASB	40
Figura 17 - Organograma do processo de tratamento.	45
Figura 18 - Análise de sólidos sedimentáveis.	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Sólidos sedimentáveis.....	49
Gráfico 2 - Eficiência x sólidos sedimentáveis reator 1	51
Gráfico 3 - Eficiência x sólidos sedimentáveis reator 8.	52
Gráfico 4 - Eficiência x sólidos sedimentáveis reator 11	53

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Principais microrganismos presentes nos esgotos, de importância no tratamento biológico.	21
Quadro 2 - Principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios	23
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens dos reatores UASB.	39
Tabela 1 - Eficiência de remoção de DBO.	50

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBO	Carência Bioquímica de Oxigênio
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba
DAFA	Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
KOH	Hidróxido de Potássio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
SS	Sólidos Sedimentáveis
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 JUSTIFICATIVA.....	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
4.1 Esgoto doméstico	16
4.1.1 Características do esgoto doméstico	16
4.1.1.1 Características físicas	17
4.1.1.2 Características químicas	17
4.1.1.3 Características biológicas.....	17
4.2 Disposição do esgoto doméstico	18
4.3 Tipos de tratamento	19
4.3.1 Tratamento preliminar.....	19
4.3.2 Tratamento primário.....	19
4.3.3 Tratamento secundário.....	19
4.3.4 Tratamento terciário.....	20
4.4 Tratamento biológico do esgoto doméstico.....	20
4.4.1 Tratamento anaeróbio	22
4.5 Tipos de tratamento anaeróbio	24
4.5.1 Sistemas convencionais.....	25
4.5.1.1 Digestores anaeróbios de lodo	25
4.5.1.2 Digestores anaeróbios de baixa carga	25
4.5.1.3 Digestores anaeróbios de um estágio e alta carga	26
4.5.1.4 Digestores anaeróbios de dois estágios e alta carga	27
4.5.1.5 Tanque séptico	28
4.5.1.6 Lagoa anaeróbia	29
4.5.2 Sistemas de alta taxa	30
4.5.2.1 Crescimento microbiano aderido.....	30
4.5.2.1.1 Reatores anaeróbios de leito fixo	31
4.5.2.1.2 Reatores anaeróbios de leito rotatório.....	33
4.5.2.1.3 Reatores anaeróbios expandido e fluidificado	33

4.5.2.2. Crescimento microbiano disperso	34
4.5.2.2.1 Reatores anaeróbios de dois estágios	35
4.5.2.2.2 Reatores anaeróbios de chicanas	35
4.5.2.2.3 Reatores anaeróbios do leito granular expandido	36
4.5.2.2.4 Reator anaeróbio com recirculação interna.....	37
4.5.2.2.5 Reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo	38
4.6 Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB).....	39
4.6.1 Funcionamento do reator UASB	40
5 MATERIAL E MÉTODOS	44
5.1 O sistema de tratamento de esgoto da ETE - Lagoa da Prata	44
5.2 Escolha das amostras.....	46
5.3 Métodos de coleta das amostras	46
5.4 Métodos de análise	47
5.4.1 Determinação de demanda bioquímica de oxigênio (DBO _{5,20})	47
5.4.2 Determinação de sólidos sedimentáveis	47
5.5 Análise dos dados.....	48
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

O tratamento do efluente doméstico é de suma importância para qualidade de vida da população, pois além de se beneficiar com a proteção dos corpos hídricos, protege contra doenças provenientes do esgoto doméstico não tratado.

Segundo Van Haandel e Lettinga (1994), o tratamento de esgoto tem como objetivo principal a correção das características indesejáveis de tal maneira que o seu uso ou a sua disposição final possa ocorrer de acordo com os critérios apresentados na legislação e definidos pelas autoridades regulamentadoras, incluindo no tratamento a redução da concentração de pelo menos uma das categorias poluentes mais importantes do esgoto como a matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes (nitrogênio e fosforo) e patogênicos.

De acordo com Von Sperling (2016), os reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) constituem-se na principal tendência atual de tratamento de esgotos no Brasil, como unidades únicas ou seguidas de alguma forma de pós-tratamento.

O município de Lagoa da Prata - MG segue essa tendência nacional, sendo sua Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) constituída por um sistema de reatores UASB.

O tratamento de qualquer efluente requer eficiências de remoção adequadas, as quais, em muitas ETE's, não são monitoradas adequadamente. E são vários os fatores que influem nessa eficiência de remoção.

No caso dos reatores UASB, os sólidos sedimentáveis tendem a afetar a eficiência de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, comprometendo, por conseguinte, o sistema como um todo.

Avaliar a influência da concentração dos sólidos sedimentáveis na eficiência de remoção de matéria orgânica de reatores UASB torna-se importante, sendo este o objeto de estudo do presente trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência de sólidos sedimentáveis na eficiência da remoção de carga orgânica do esgoto doméstico através de três reatores UASB instalados na Estação de Tratamento de Esgoto da concessionária de água e esgoto do município de Lagoa da Prata – MG.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo exploratório, a partir de pesquisas bibliográficas, sobre a remoção de carga orgânica do esgoto doméstico através de reatores UASB;
- Analisar o comportamento específico de cada reator;
- Avaliar e interpretar as análises de Sólidos Sedimentáveis (SS) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dos reatores estudados;
- Programar o descarte do lodo gerado durante o processo de tratamento em leitos de secagem.

3. JUSTIFICATIVA

Atualmente, o descarte do lodo gerado na ETE de Lagoa da Prata-MG durante o processo de tratamento é realizado apenas com base na análise de sólidos sedimentais sem verificar se o reator está na sua eficiência de remoção.

Este procedimento é realizado sem nenhuma programação, desta forma é possível encontrar desvantagens neste procedimento. Na maioria dos casos, os descartes são precoces gerando prejuízos no sentido de ocupação de mão de obra, de leitos de secagem e de tempo, pois o colaborador poderia estar realizando outra atividade.

Assim, subsidiado pela hipótese de que os sólidos sedimentáveis influem na eficiência de remoção de DBO de reatores UASB, o presente estudo permite confirmar ou não tal hipótese e determinar o tempo de perda de eficiência de remoção de carga orgânica dos reatores, podendo-se assim programar o descarte correto do lodo e obter as seguintes vantagens para a concessionária: ganho de tempo para outras atividades e o sistema não perde eficiência de tratamento do efluente.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Esgoto doméstico

O termo esgoto é utilizado para caracterizar os despejos líquidos que são constituídos de esgotos:

[...] 2.5 Esgoto doméstico

Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

2.6 Esgoto industrial

Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos.

2.7 Água e infiltração

Toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1986,p.1).

Dentre os tipos de esgotos apontados acima, esta pesquisa enfatiza o esgoto doméstico.

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 9648 (ABNT, 1986), define-se esgoto doméstico como despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológica humana.

Segundo Braga et al. (2002), os esgotos domésticos são a parcela mais expressiva dos esgotos sanitários, pois provém, principalmente, de residências e de edificações públicas e comercial que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas, sendo assim, resultantes do uso de água pelo homem em função dos seus hábitos higiênicos e de suas necessidades fisiológicas. É composto basicamente das águas de banho, urina, fezes, restos de comidas, sabões, detergentes e águas de lavagem.

4.1.1 Características do esgoto doméstico

As características dos esgotos domesticos estão relacionadas à função dos usos à qual foi submetida. Esses usos e a forma com que são exercidos variam com o clima, situação social e econômica e hábitos da população. Tais características podem ser divididas em três categorias: física, química e biológica. (VON SPERLING, 2014)

4.1.1.1 Características físicas

Dentre as principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos, destacam-se: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez e variação de vazão, conforme descrito abaixo:

- a) [...]Matéria sólida: os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos. É devido a esse percentual de 0,1% de sólidos que ocorrem os problemas de poluição das águas, trazendo a necessidade de se tratar os esgotos;
- b) Temperatura: a temperatura do esgoto é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento. A velocidade de decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura;
- c) Odor: os odores característicos do esgoto são causados pelo gases formados no processo de decomposição, assim o odor de mofo, típico do esgoto fresco é razoavelmente suportável e o odor de ovo podre, insuportável, é típico do esgoto velho ou séptico, em virtude da presença de gás sulfídrico;
- d) Cor e turbidez: a cor e a turbidez indicam de imediato o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor preta é típica do esgoto velho;
- e) Variação de vazão: a variação de vazão do efluente de um sistema de esgoto doméstico é em função dos costumes dos habitantes. A vazão doméstica do esgoto é calculada em função do consumo médio diário de água de um indivíduo. Estima-se que para cada 100 litros de água consumida, são lançados aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora, ou seja 80% (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006).

4.1.1.2 Características químicas

Segundo Fundação Nacional de Saúde (2006), as principais características químicas dos esgotos domésticos são: matéria orgânica e matéria inorgânica.

Cerca de 70% dos sólidos presentes nos esgotos são de origem orgânica, esses compostos geralmente são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio, podendo ocorrer também o nitrogênio. A presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas nos esgotos forma a matéria inorgânica. (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006)

4.1.1.3 Características biológicas

Segundo a Fundação Nacional de Saúde (2006), na caracterização biológica do esgoto doméstico são utilizados dois parâmetros: microrganismo de águas residuais e indicadores de poluição.

Ainda segundo Fundação Nacional de Saúde (2006), os principais microrganismos encontrados nas águas residuais são as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus e as algas, sendo as bactérias as mais importantes por serem responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza quanto nas estações de tratamento. Como indicador de poluição, são utilizados os coliformes que são típicos do intestino do homem e de outros animais de sangue quente.

4.2 Disposição do esgoto doméstico

A disposição correta dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública. Diversas infecções podem ser transmitidas de uma pessoa doente para outra sadia por diferentes meios, envolvendo excreções humanas (BRAGA et al. 2002).

Conforme salientado por Braga et al. (2002), os esgotos são meios de contaminação para água, os alimentos, os utensílios domésticos, as mãos, o solo ou até mesmo serem transportados por vetores, como moscas e baratas, podendo provocar novas infecções.

Segundo a Fundação Nacional de Saúde (2006), a destinação inadequada do esgoto está relacionada com um grande número de doenças, sendo as principais: ancilostomíase, ascaridíase, amebíase, cólera, diarreia infecciosa, disenteria bacilar, esquistossomose, estrogiloidíase, febre tifoide, febre paratifoide, salmonelose, teníase e cisticercose.

A matéria orgânica que está presente nos esgotos possui uma característica de grande importância, sendo ela a causadora do principal problema de poluição das águas, que é o consumo do oxigênio dissolvido pelo microrganismo em seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2014).

Segundo Braga et al. (2002), a exaustão de oxigênio dissolvido ocasionado pela matéria orgânica, pode causar morte de peixes e outros organismos aquáticos, provocar escurecimento da água e aparecimento de mau odores.

4.3 Tipos de tratamento

De uma forma geral, são definidos alguns níveis para o tratamento de esgotos domésticos ou sanitários, dentre eles destacam-se: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e o tratamento terciário quando for necessário (VON SPERLING, 2014).

4.3.1 Tratamento preliminar

No tratamento preliminar, ocorre a remoção de grandes sólidos e areia, com a finalidade de proteção para as demais unidades de tratamento como os dispositivos de transporte e os corpos receptores. A remoção é feita com a instalação de grades que impedem a passagem de sólidos grosseiros. Para retenção da areia, são utilizadas caixas de areia (PESTANA, 2017).

4.3.2 Tratamento primário

Mesmo após o efluente passar pelo sistema preliminar, ainda é possível que sólidos em suspensão não grosseiros estejam presentes no esgoto, podendo ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação. Nos decantadores primários, os esgotos correm em velocidade lenta, sendo possível a sedimentação gradual dos sólidos (GUIA DO PROFISSIONAL EM TREINAMENTO, 2008).

4.3.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário tem como função a remoção de matéria orgânica que está dissolvida ou em suspensão. A inclusão de uma fase biológica é a principal característica deste tratamento. Para a remoção da matéria orgânica, é essencial a ocorrência de reações bioquímicas que são realizadas por microrganismos. Dentre os principais tratamentos biológicos de esgoto destacam-se: lagoas de estabilização, filtros biológicos, reatores anaeróbios (ICLEI, 2010).

4.3.4 Tratamento terciário

O tratamento terciário é também composto exclusivamente por processos físico-químicos. Nesta fase, procedem-se à remoção de microrganismos patogênicos através da utilização de lagoas de maturação e nitrificação. Finalmente, a água resultante é sujeita à desinfecção através da adsorção com a utilização de carvão ativado, e, se necessário, tratamento com cloro e ozono (CRUZ, 2017).

4.4 Tratamento biológico do esgoto doméstico

Os processos biológicos são uma reprodução dos processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento de despejos. Nos corpos d'água, a matéria orgânica é convertida em produtos mineralizados inertes por mecanismos puramente naturais, caracterizando um fenômeno de autodepuração. (VON SPERLING, 2016).

Segundo Araújo (2009), no método de tratamento biológico, ocorre uma redução na concentração de nutrientes causadores de eutrofização nos corpos d'água, como nitrogênio e fósforo, que na maioria das vezes pode ser necessário um pós-tratamento para que os nutrientes sejam enquadrados antes de lançá-los no corpo d'água.

Conforme salientado por Von Sperling (2016), compreender a microbiologia do tratamento de esgoto, é de essencial importância para a otimização do projeto e operação dos sistemas de tratamento biológico.

É muito importante conhecer os organismos que estão envolvidos em um processo de tratamento biológico de esgoto, pois, em cada procedimento de tratamento escolhido, eles irão desempenhar papéis diferentes. Em sistemas anaeróbicos destacam-se as bactérias acidogênicas e metanogênicas, pelo fato de se adaptarem à ausência de oxigênio, e nos processos aeróbicos destacam-se as bactérias e os protozoários (BUSATO, 2004).

O QUADRO 1 a seguir apresenta os principais microrganismos presentes nos esgotos e suas características.

Quadro 1 - Principais microrganismos presentes nos esgotos, de importância no tratamento biológico.

Microrganismo	Descrição
Bactérias	<ul style="list-style-type: none"> • Organismos unicelulares. • Apresentam-se em várias formas e tamanhos. • São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. • Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Protozoários	<ul style="list-style-type: none"> • Organismos unicelulares sem parede celular. • A maioria é aeróbia ou facultativa. • Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos. • São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos. • Alguns são patogênicos.
Fungos	<ul style="list-style-type: none"> • Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos. • São também de grande importância na decomposição da matéria orgânica. • Podem crescer em condições de baixo pH.

Fonte: Von Sperling, 2016.

O tratamento biológico de esgotos é dividido em duas modalidades diferentes, sendo: os tratamentos aeróbios, que ocorrem na presença de oxigênio, e os tratamentos anaeróbios, que ocorrem na ausência de oxigênio (FERRUGIA, 2012).

De acordo com Ferrugia (2012), as bactérias heterótrofas aeróbias e facultativas, na sua maioria, são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, promovendo então uma maior eficiência de remoção da matéria orgânica no tratamento aeróbio.

No tratamento anaeróbio, a decomposição da matéria orgânica apresenta um grau de maior complexidade sendo necessária a participação de diferentes grupos microbianos com funções diferenciadas (SANT'ANNA, 2013).

Segundo Ferrugia (2012), o tratamento anaeróbico é indicado para efluentes com uma alta concentração de substâncias orgânicas.

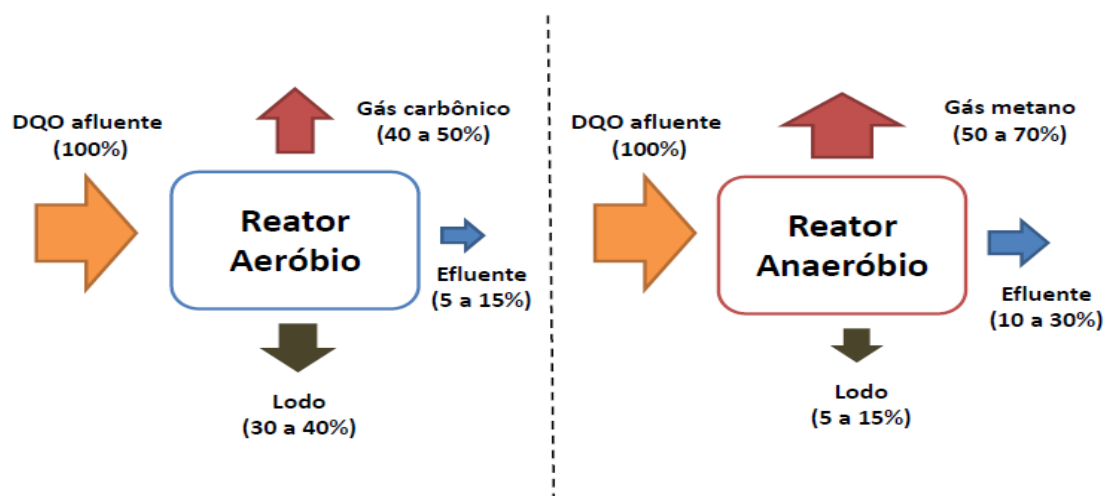
Ainda segundo a autora, cada processo possui suas vantagens e desvantagens, sendo assim, cada um recomendado para situações específicas.

4.4.1 Tratamento anaeróbico

Segundo Foresti et al. (1999 apud BUSATO, 2004), para uma maior aceitação dos processos anaeróbios de digestão, dois fatores fundamentais foram levados em conta, são eles: as vantagens dos processos de tratamentos anaeróbios quando comparados com os sistemas aeróbios e a melhoria do desempenho dos sistemas anaeróbios atuais.

Ainda segundo os autores, este melhor desempenho é resultado da melhor compreensão do processo, permitindo assim, sistemas que tenham maior eficiência na remoção da matéria orgânica e o aumento da velocidade de remoção desse material. A FIG. 1 possibilita uma visualização mais clara dessas vantagens.

Figura 1 - Balanço esquemático de Demanda Química de Oxigênio (DQO) nos sistemas aeróbios e anaeróbios.



Fonte: Chernicharo, 2016.

Conforme pode ser analisado na FIG. 1, nos sistemas de tratamento aeróbio, ocorre a degradação biológica de aproximadamente 40 a 50% da matéria orgânica presente, resultando em conversão de gás carbônico (CO₂). Ocorre também, uma grande incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 30 a 40%), constituindo assim o lodo excedente do sistema (CHERNICHARO, 2016).

Segundo o mesmo autor, para os sistemas anaeróbios, o processo biodegradável da matéria orgânica corresponde de 50 a 70 %, tendo como resultado do processo o metano que é removido da fase líquida, saindo do reator em forma de gás. Quanto à formação da biomassa microbiana, esta corresponde apenas a uma parte pequena do material orgânico, cerca de 5 a 15%, constituindo o lodo excedente, apresentando melhor condição de desidratação.

Em princípio, todos os compostos orgânicos podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são facilmente biodegradáveis (CHERNICHARO, 2016).

Como todo processo de tratamento, a digestão anaeróbia possui suas principais vantagens e desvantagens, conforme QUADRO 2 a seguir.

Quadro 2 - Principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios. • Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos. • Baixa demanda de área. • Baixos custos de implantação, da ordem de R\$ 20 a R\$ 40,00 <i>per capita</i>. • Produção de metano, um gás combustível de elevado poder calorífico. • Possibilidade de preservação da biomassa sem alimentação do reator, por vários meses. • Tolerância a elevadas cargas orgânicas. • Aplicabilidade em pequena e grande escala. • Baixo consumo de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de nitrogênio, fosforo e patógenos insatisfatória. • Produção de efluente com aspecto desagradável e usualmente com qualidade insuficiente para atender os padrões ambientais. Em decorrência, alguma forma de pós-tratamento é normalmente necessária. • Possibilidade de distúrbios devido a choques de carga orgânica e hidráulica, presença de compostos tóxicos ou ausência de nutrientes. • A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas. • A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado. • Possibilidade de geração de maus odores e de problemas de corrosão, porem controláveis.

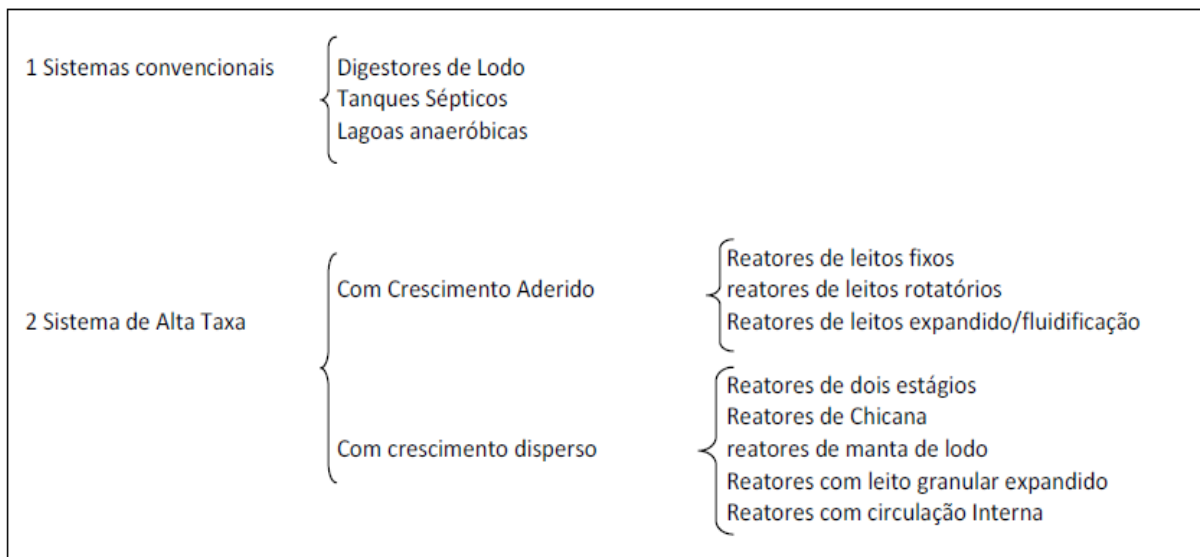
Fonte: Chernicharo, 2016.

4.5 Tipos de tratamento anaeróbico

A particularidade dos processos de tratamento de esgoto por meio biológico está na capacidade dos microrganismos que estão envolvidos no processo de utilizarem os compostos orgânicos biodegradáveis, gerando assim subprodutos que são removidos do sistema de tratamento. Estes subprodutos, podem se apresentar na forma sólida, que corresponde ao lodo biológico; líquida, que é a água; ou na forma gasosa (gás carbônico, metano, etc). (CHERNICHARO, 2016).

Segundo Busato (2014), a partir do desenvolvimento de novos reatores, a tecnologia em tratamentos anaeróbios obteve grandes avanços, pois buscavam configurações em que fosse possível uma melhor eficiência na remoção da matéria orgânica em um período curto e volume menor, e proporcionar um maior tempo de retenção celular, a fim de aumentar o contato entre a biomassa ativa e o esgoto que será tratado. A FIG. 2 a seguir apresenta os sistemas anaeróbios de tratamento.

Figura 2 - Sistemas anaeróbios utilizados para tratamento de esgoto.



Fonte: Chernicharo, 2016.

4.5.1 Sistemas convencionais

Sistemas convencionais são sistemas onde os reatores são operados com cargas orgânicas volumétricas baixas, pois os reatores não possuem mecanismos para reter grandes quantidades de biomassas de elevada atividade. A falta de

mecanismos de retenção de sólidos no sistema faz com que os reatores convencionais sejam projetados e operados para tempos de detenção hidráulica elevados, a fim de possibilitar a permanência de biomassa no sistema por tempo suficiente para o seu crescimento e baixas cargas volumétricas (CHERNICHARO, 2016).

4.5.1.1 Digestores anaeróbios de lodo

A principal utilização dos digestores anaeróbios está ligada à estabilização de lodos primários e secundários, originados do tratamento de esgotos. Também são utilizados no tratamento de efluentes industriais onde a concentração de sólidos suspensos é elevada (CHERNICHARO, 2016).

Conforme o autor supracitado, os digestores anaeróbios são construídos em forma de tanques circulares cobertos, em concreto armado, seu diâmetro pode variar de 6 a 38 metros e sua profundidade entre 7 e 14 metros. Possuem paredes inclinadas com relação vertical/horizontal de 1 para 4, com a finalidade de favorecer a sedimentação e a retirada de sólidos mais concentrados. Sua cobertura pode ser fixa ou flutuante (móvel).

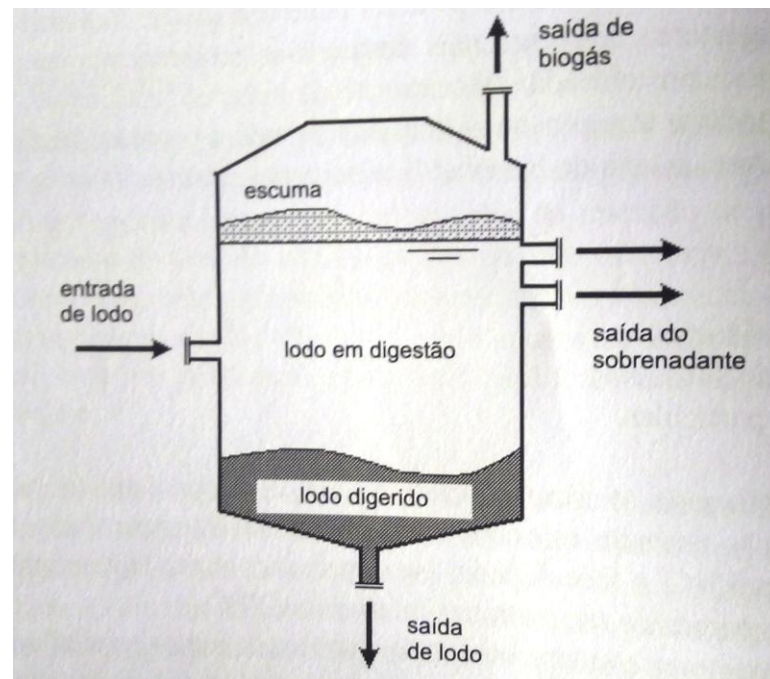
4.5.1.2 Digestores anaeróbios de baixa carga.

O digestor anaeróbio de baixa carga possui tanque cilíndrico com fundo inclinado; possui uma cobertura plana, geralmente não é fornecida uma fonte de calor externa, não possui sistema de mistura que resulta numa estabilização estratificada dentro do digestor (LEONARDO, 2012).

Segundo Chernicharo (2016), o lodo bruto deve ser inserido à zona de digestão ativa, ocorrendo à formação de biogás. O biogás formado se desloca de forma ascendente, uma vez que não há agitação dentro do reator, onde partículas de lodo e outros minerais flutuantes são transportados para a superfície do reator, formando assim as camadas de espuma e líquido sobrenadante.

A estratificação do lodo que ocorre abaixo da camada de espuma é o resultado da digestão, configurando quatro zonas distintas dentro do reator: zona de espuma, de sobrenadante, de digestão ativa e lodo estabilizado, conforme FIG. 3 a seguir.

Figura 3 - Representação esquemática de um digestor de baixa carga.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.130.

4.5.1.3 Digestor anaeróbio de um estágio e alta carga.

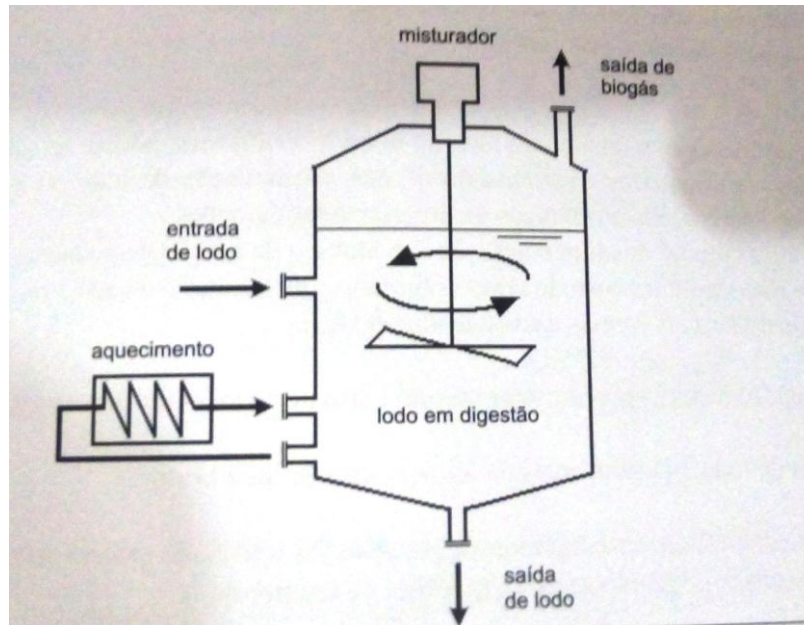
Digestores anaeróbios de estágio único e alta carga são compostos por mecanismos de mistura e aquecimento, sua operação se dá a partir de taxas de alimentação invariáveis e com adensamento prévio do lodo cru, garantindo assim uma melhor uniformidade no funcionamento do digestor, sendo possível reduzir o volume e a melhora da estabilidade do processo (CHERNICHARO, 2016).

Segundo Nuvolari (2011), com a eficiência do sistema de mistura realizada por esse tipo de digestor, não há formação de espumas e de sobrenadantes. Possui redução de sólidos voláteis da ordem de 45 a 50% e a alimentação e descarga de lodo ocorrem normalmente de forma contínua e de mesmo valor, pelo fato de não haver remoção de sobrenadantes.

Conforme Chernicharo (2016), técnicas como recirculação de gás, recirculação de lodo ou agitação, podem ser utilizadas para conseguir a mistura do lodo dentro do digestor. A alimentação do digestor pode ocorrer a partir da adição de pequenas quantidades de lodo, com intervalos de tempos regulares.

A FIG. 4 apresenta uma esquematização de um digestor de um estágio e alta carga.

Figura 4 - Representação esquemática de um digester de um estágio e alta carga.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.131.

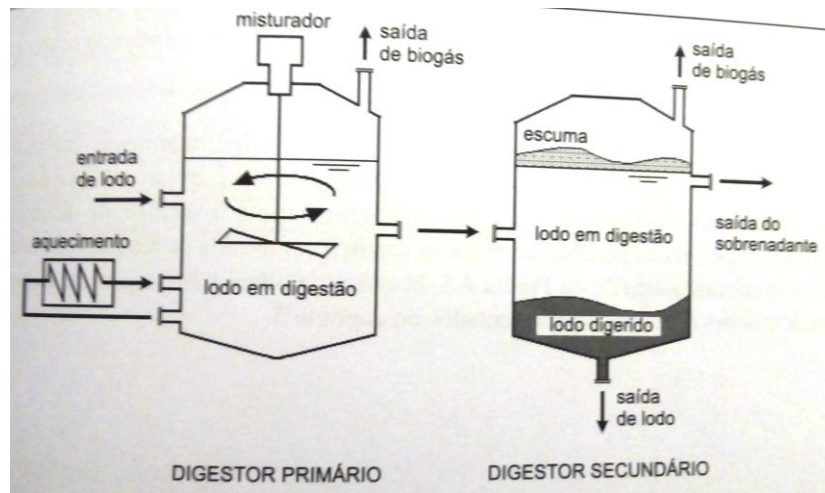
4.5.1.4 Digestor anaeróbio de dois estágios e alta carga

É a combinação de um digester de alta taxa trabalhando em série com outro digester, funcionando como digester anaeróbio convencional, formando assim, um digester anaeróbio de duplo estágio. No primeiro digester, são operados os sistemas de mistura e aquecimento e, no segundo, ocorre a separação dos sólidos que são digeridos do líquido sobrenadante (NUVOLARI, 2011).

Geralmente, os tanques são projetados de forma idêntica, onde ambos podem ser utilizados como digester primário e, em outros casos, o digester secundário pode ser um tanque aberto, sem aquecimento, ou até uma lagoa de lodo (CHERNICHARO, 2016).

A FIG. 5 a seguir apresenta uma esquematização de um digester de dois estágios e alta carga.

Figura 5 - Representação esquemática de um digestor de dois estágios e alta carga



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.133.

4.5.1.5 Tanque séptico

A utilização de tanques sépticos tem sido aplicada para tratamento de esgotos em áreas urbanas ainda desprovidas de rede coletora pública de esgotos, em vilas, conjuntos residenciais e comunidades que tem como características a geração de pequenas vazões de esgoto (BUSATO, 2004).

Ainda conforme a autora, os tanques sépticos são tanques simples ou até mesmo divididos em compartimentos, sendo eles verticais ou horizontais, com a função de decantar e digerir em uma única unidade. Possui funções múltiplas como decantação, flotação, desagregação e digestão de sólidos sedimentados e material flotante.

Segundo Chernicharo (2016), o funcionamento dos tanques sépticos pode ser descrito da seguinte maneira:

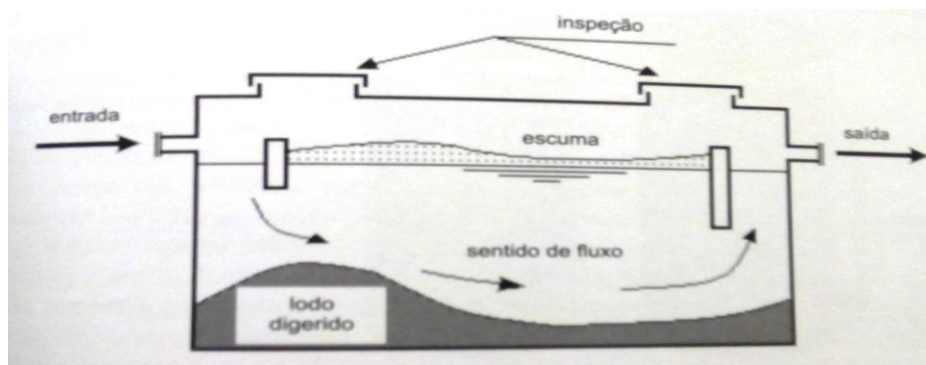
- os sólidos sedimentáveis presentes no esgoto afluente vão ao fundo do tanque, passando a constituir uma camada de lodo;
- os óleos, graxas e outros materiais mais leves presentes no esgoto afluente flutuam até a superfície do tanque, vindo a formar uma camada de espuma;
- o esgoto, livre dos materiais sedimentáveis e flutuantes, flui entre as camadas de lodo e espuma, deixando o tanque sépticos 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 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 lado 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. (CHERNICHARO, 2016, p.134).

Segundo Busato (2004), o tanque séptico possui uma semelhança com a lagoa anaeróbia quanto à configuração e ao funcionamento, porém em dimensões menores. Como o contato entre biomassa-esgoto é pequeno, a remoção da DBO total fica limitada. A FIG. 6 a seguir apresenta um tanque séptico de câmara única.

Figura 6 - Representação esquemática de um tanque séptico de câmara única.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.135.

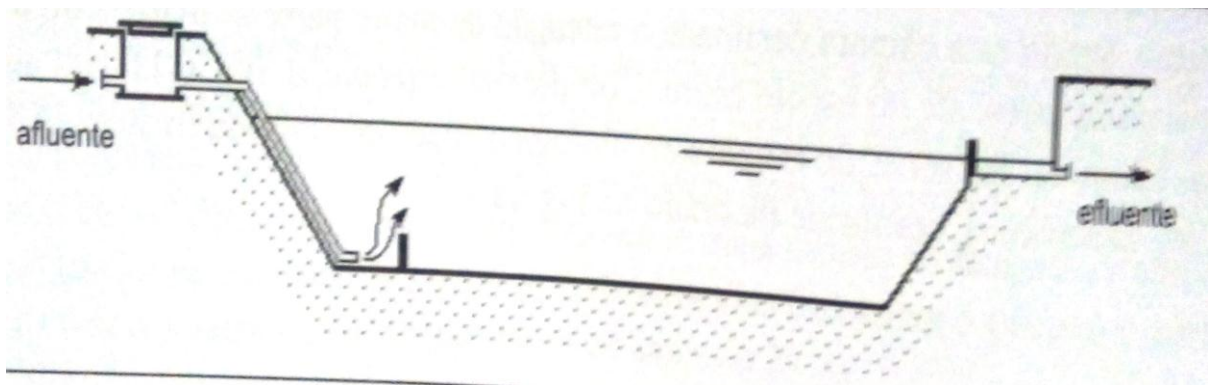
4.5.1.6 Lagoa anaeróbia

As lagoas aeróbias possuem uma eficiência satisfatória, porém requerem uma grande área para serem construídas, áreas essas que nem sempre estão disponíveis nas localidades em questão. Sendo assim, é importante a busca de soluções no que tange à redução de área total requerida, e uma dessas soluções é a implantação de lagoas anaeróbias seguidas de facultativas, também denominadas de secundárias, pois recebe o afluente de uma unidade de tratamento a montante e não de esgoto bruto (VON SPERLING, 2014).

Este tipo de lagoa também é utilizado com frequência para tratamento de efluentes industriais como frigoríficos e laticínios, pois seus despejos possuem uma alta concentração de matéria orgânica (CHERNICHARO, 2016).

Segundo Von Sperling (2014), como as bactérias anaeróbias possuem uma taxa metabólica e de reprodução lenta, a decomposição da matéria orgânica é apenas parcial para uma permanência de 2 a 5 dias na lagoa, sendo assim, a remoção da DBO varia entre 50 e 70%, que, mesmo sendo insuficiente, contribui para a redução da carga que vai para a lagoa facultativa. A FIG. 7 a seguir ilustra uma lagoa anaeróbia típica.

Figura 7 - Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.136.

4.5.2 Sistemas de alta taxa

A incorporação de mecanismos de retenção de biomassa aos reatores anaeróbios é de suma importância para que estes sejam operados com tempo de detenção hidráulica baixo e retenção celular elevada, classificando-os de sistemas de alta taxa. Diferentes configurações de reatores anaeróbios de alta taxa podem ser utilizadas para o tratamento de esgoto, podendo ser classificadas em dois grandes grupos, relacionados ao tipo de crescimento de biomassa, sendo eles: crescimento aderido e disperso (CHERNICHARO, 2016).

4.5.2.1 Crescimento microbiano aderido

Segundo Chernicharo (2016), o crescimento microbiano aderido implica no desenvolvimento agregado a um material inerte, formando assim um filme biológico. Este sistema pode ser dividido em reatores anaeróbios de leito fixo, leito rotatório e leito expandido.

4.5.2.1.1 Reatores anaeróbios de leito fixo

Os reatores anaeróbios de leito fixo são conhecidos também como filtros biológicos. São caracterizados pela presença de material com preenchimento inerte, onde os sólidos biológicos podem aderir ou até mesmo ficarem retidos nos intervalos. A biomassa que fica aderida ou retida realiza a degradação do substrato que está contido no fluxo de esgotos. Os sólidos permanecem no reator por um período superior a 20 dias (CHERNICHARO, 2016).

Conforme salienta Busato (2004), os reatores de leito fixo, podem apresentar fluxo ascendente, onde o líquido é introduzido pela base que flui por meio do material de enchimento e descartado pelo topo, e o fluxo descendente, que tem o funcionamento inverso do ascendente, podendo trabalhar afogado ou não afogado.

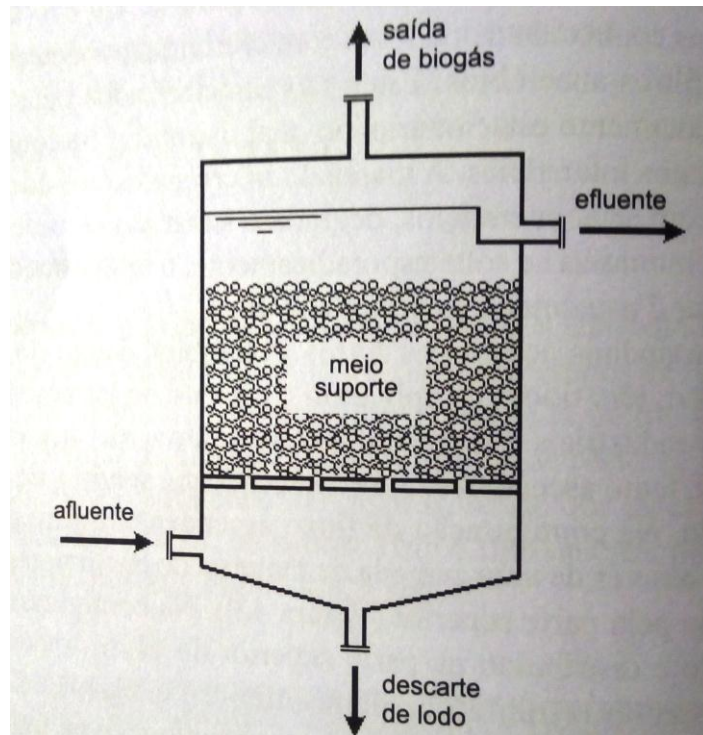
Segundo Von Sperling (2014), o reator anaeróbio de leito fixo, possui algumas características e diferenças:

- [...]o fluxo do líquido é ascendente, ou seja, a entrada é na parte inferior do filtro e a saída na parte superior;
- o filtro trabalha afogado, ou seja, os espaços vazios são preenchidos com líquido;
- além do crescimento bacteriano na forma de biofilme no entorno do meio suporte, há também biomassa suspensa intersticial, nos espaços vazios do leito;
- a carga de DBO aplicada por unidade de volume é bastante elevada, o que garante as condições anaeróbias e repercute na redução de volume do reator;
- a unidade é fechada.(SPERLING, 2014, 309).

A principal desvantagem deste sistema é o acúmulo de biomassa no fundo e no meio suporte dos reatores de fluxo ascendente e, como consequência, apresenta entupimento ou a formação de caminhos preferenciais. Portanto, os reatores de fluxo descendentes são os indicados para tratamentos de despejos que possuem uma maior concentração de sólidos suspensos (CHERNICHARO, 2016).

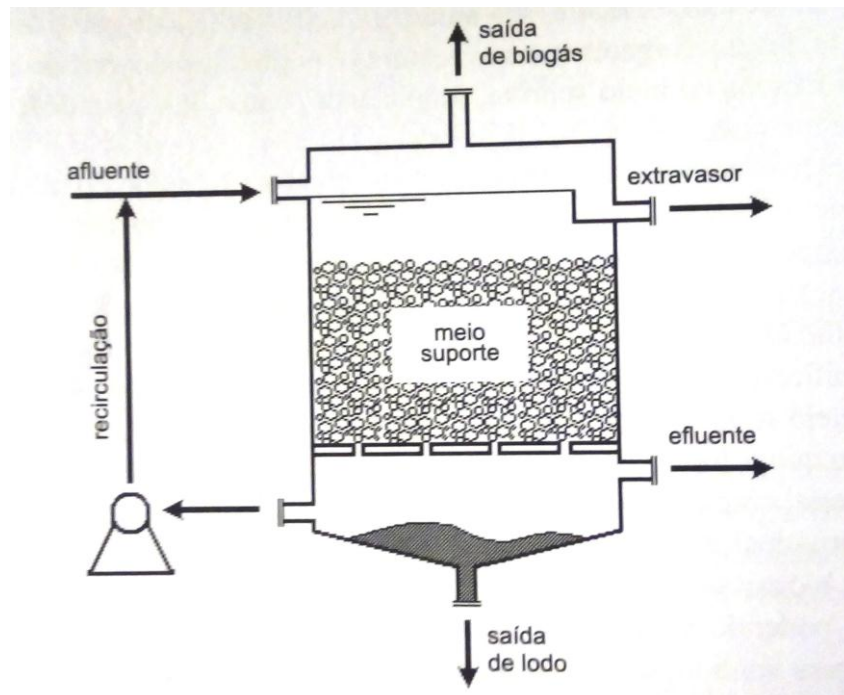
Nas FIG. 8 e 9 são apresentadas ilustrações dos modelos de filtros anaeróbios de fluxo ascendente e descendente.

Figura 8 - Representação esquemática de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.140.

Figura 9 - Representação esquemática de um filtro anaeróbio de fluxo descendente.



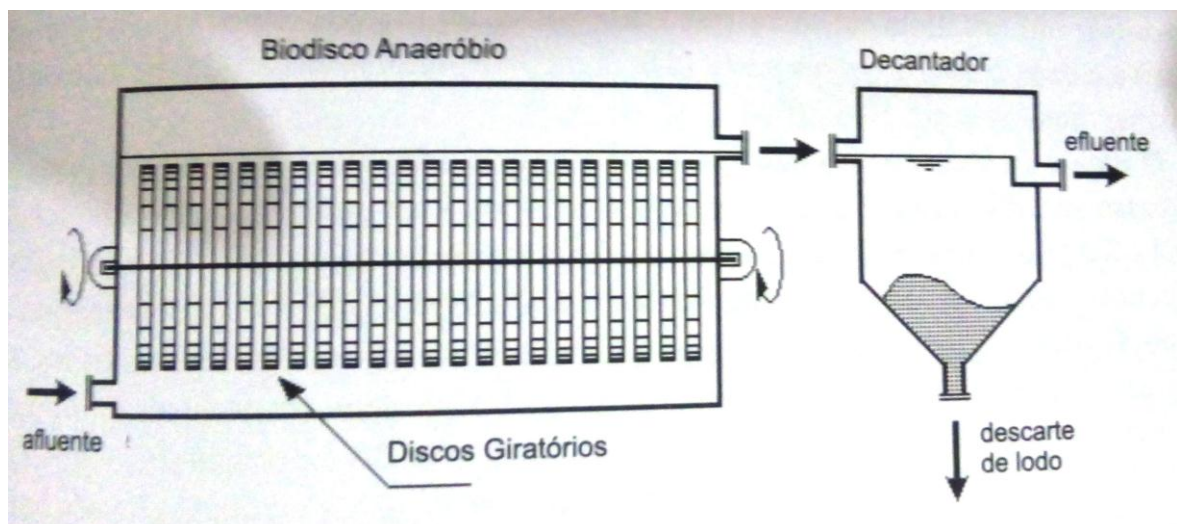
Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.140.

4.5.2.1.2 Reator anaeróbio de leito rotatório

Este sistema é também conhecido como biodisco anaeróbio. Nele os microrganismos ficam aderidos ao meio suporte inerte, originando um filme biológico. Possui uma sequência de discos que podem estar parcialmente ou totalmente submersos e girando lentamente em torno de um eixo horizontal, dentro de um tanque, o qual flui o esgoto (CHERNICHARO, 2016).

Segundo Cammarota (2017), dentre os problemas mais comuns deste sistema estão a dificuldade de controle da biomassa aderida e a distribuição não uniforme do afluente. A FIG. 10 ilustra um esquema de reator anaeróbio de leito rotatório.

Figura 10 - Representação esquemática de um biodisco anaeróbio.



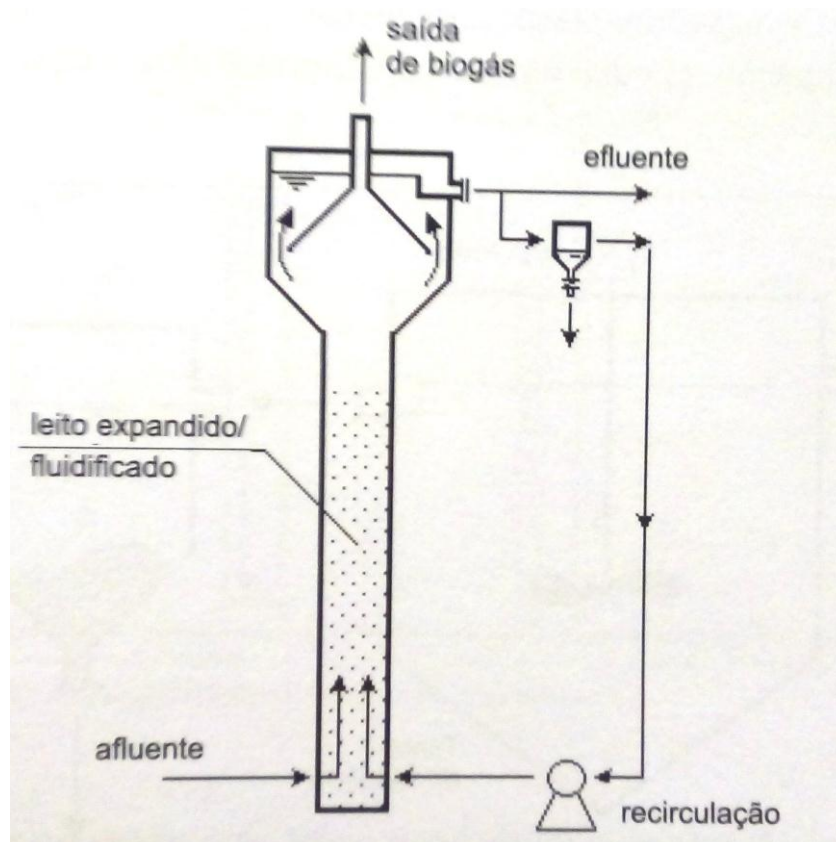
Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.141.

4.5.2.1.3 reatores anaeróbios de leito expandido e fluidificado

Segundo Chernicharo (2016), nos reatores anaeróbios de leito expandido e fluidificado, a biomassa cresce aderida em filmes de espessuras bem reduzidas que são aderidos a partículas de tamanho muito pequeno. Neste sistema, o problema de entupimento é eliminado, pois possui um aumento da retenção de biomassa e do contato da biomassa com o substrato, reduzindo assim o tempo de detenção hidráulica dentro dos reatores.

Segundo Busato (2004), a expansão das partículas ocorre devido à velocidade ascensional do esgoto, a qual é aumentada devido à elevada taxa de recirculação que é aplicada, fazendo com que o crescimento do biofilme entre os grãos do meio de suporte sejam de pequenas espessuras, facilitando a transmissão do substrato ao interior do reator. A FIG. 11 apresenta um esquema de um reator de leito expandido e fluidificado

Figura 11 - Representação esquemática de um reator de leito expandido/fluidificado.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.143.

4.5.2.2 Crescimento microbiano disperso

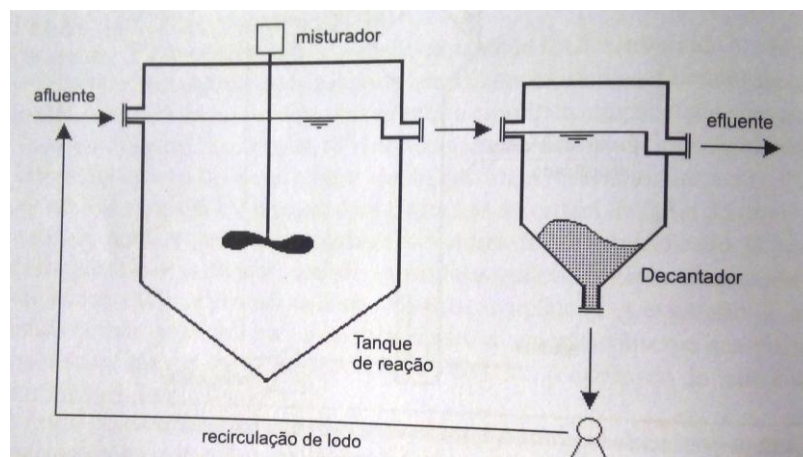
A capacidade da biomassa em formar flocos e de sedimentar é fundamental para uma melhor eficiência dos sistemas com crescimento microbiano disperso. Dentre esses sistemas destacam-se: reatores de dois estágios, reatores com chicanas e reatores de manta de lodo e suas variantes (leito granular expandido e com recirculação interna) (CHERNICHARO, 2016).

4.5.2.2.1 Reator anaeróbio de dois estágios

Segundo Chernicharo (2016), reator anaeróbio de dois estágios é um sistema de tratamento combinado entre um tanque de mistura completa e um dispositivo para separação e retorno de sólido. Neste processo, parte da biomassa floculada, juntamente com os sólidos afluentes que não foram digeridos e que foram arrastados para fora do sistema, é retida através de um dispositivo de separação de sólidos, retornando ao primeiro estágio, onde é misturada com o esgoto.

Ainda segundo o autor, as dificuldades deste sistema estão na separação e na concentração dos sólidos, pois a presença de partículas que produzem gás provocam a flutuação e não a sedimentação dos flocos de biomassa. Uma representação esquemática desse sistema é apresentada na FIG. 12 a seguir.

Figura 12 - Representação esquemática de um reator de dois estágios.



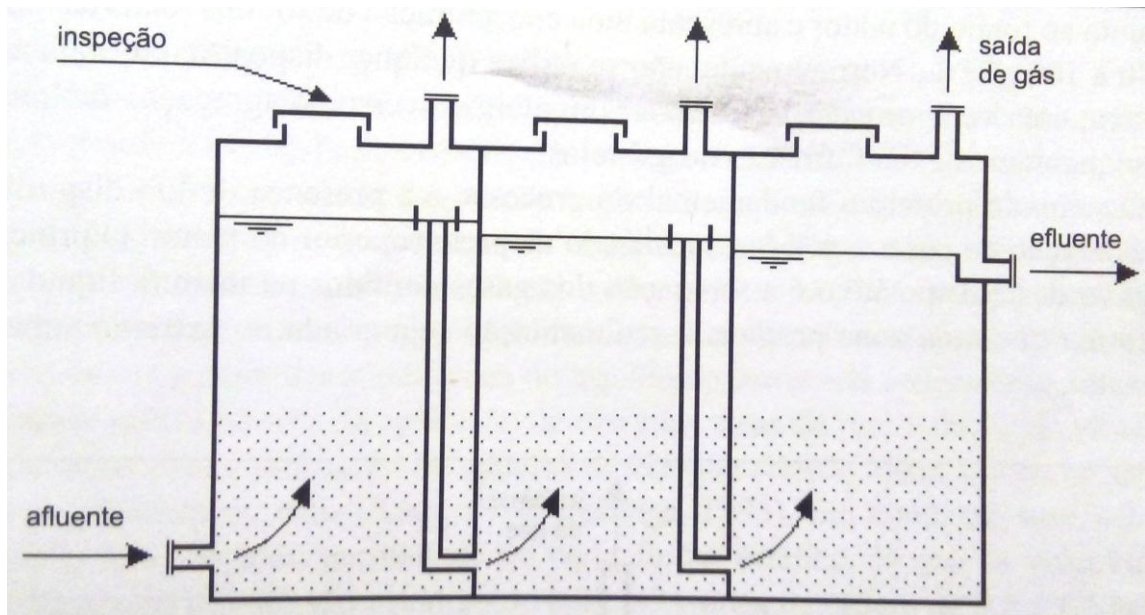
Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.144.

4.5.2.2.2 Reator anaeróbio de chicanas

O reator anaeróbio de chicanas possui semelhança com o tanque séptico com múltiplas câmaras em série e dispositivos de alimentação com mais eficácia. Esse sistema é equipado com chicanas verticais, impondo ao líquido um movimento sequencial, sendo ele descendente e ascendente, garantindo um maior contato entre o despejo e a biomassa presente no fundo do reator. Porém, para uma unidade de grande porte, as características do projeto podem não ser suficientes a fim de garantir boas condições de funcionamento (CHERNICHARO, 2016).

Segundo Chernicharo (2016), o reator de chicanas apresenta diversas das principais vantagens dos reatores UASB, podendo ser construído sem o separador de gases, menores profundidades, o que facilita sua execução e redução dos custos de implantação. Um modelo do reator anaeróbico de chicanas pode ser visto na FIG. 13.

Figura 13 - Representação esquemática de um reator de chicanas.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.145.

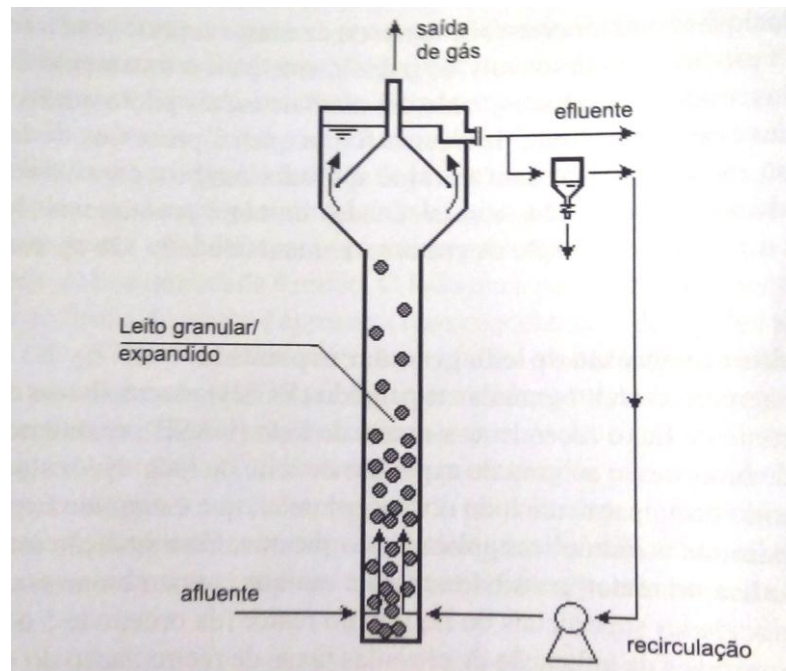
4.5.2.2.3 Reator anaeróbico de leito granular expandido

O reator anaeróbico de leito granular expandido implica na movimentação ou na expansão de uma camada de lodo de granulação efetiva, possuindo uma semelhança ao reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB), podendo ser operado com velocidades ascensionais de líquido de 4 a 10 m/h e uma carga hidráulica acima de 40 kgDQO/m³. Sua intensa produção de gás contribui para o grau de mistura e o contato entre as fases no interior do sistema (SANT'ANNA, 2013).

Segundo Chernicharo (2016), os reatores anaeróbios de leito granular expandido possuem uma aplicabilidade maior ao tratamento de efluentes solúveis, pois as elevadas velocidades superficiais do líquido no interior do reator impossibilita uma remoção mais eficiente dos materiais orgânicos particulados e a presença em

excesso de sólidos suspensos pode ser prejudicial à manutenção do lodo granular no reator. A FIG. 14 apresenta o esquema de um reator de leito granular expandido.

Figura 14 - Representação esquemática de um reator de leito granular expandido.



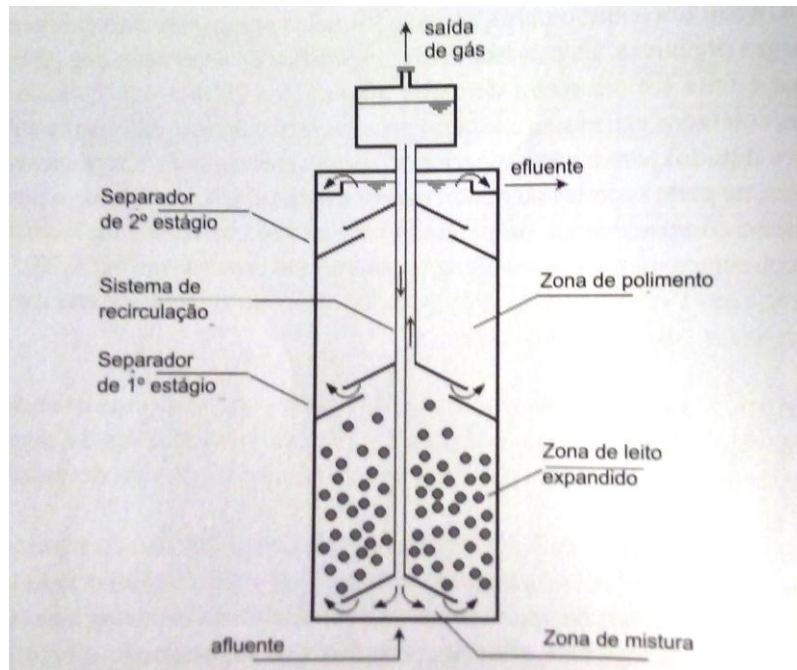
Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.148.

4.5.2.2.4 Reator anaeróbio com recirculação interna

Este reator é composto por dois sistemas de separação de gás, líquido e sólido. O gás que é gerado dentro do reator é coletado e segue por tubulação até a parte superior do reator, onde o gás é recuperado e o líquido e sólido transportado por gravidade através de uma tubulação vertical até a base do reator. Este movimento descendente provoca uma agitação intensa, levando ao aumento do contato entre a fase líquida e a massa microbiana. (SANT'ANNA, 2013)

O reator anaeróbio com recirculação interna pode ser considerado uma variação do reator UASB, seu desenvolvimento teve como objetivo a garantia de uma eficiência maior quando este é submetido a cargas orgânicas elevadas (CHERNICHARO, 2016). A FIG. 15 apresenta o esquema de um reator de circulação interna.

Figura 15 - Representação esquemática de um reator com recirculação interna.



Fonte: CHERNICHARO, 2016, p.150.

4.5.2.2.5 Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo é um modelo de reator totalmente fechado, onde o tratamento biológico acontece pelo processo anaeróbio, sem a presença de oxigênio. A dinâmica do seu processo dá-se na entrada do esgoto pela base do reator, passando por uma manta de microrganismos anaeróbios ocorrendo à deposição da matéria orgânica. Depois de tratado, o esgoto é coletado por calhas instaladas na parte superior. É uma tecnologia que exige uma área pequena para instalação. Por ser um processo de tratamento fechado, ocorre liberação de gás, o qual é coletado e queimado (CESAN, 2013).

Segundo Nuvolari (2011), este modelo de reator pode receber outras nomenclaturas diferentes como: UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) em inglês; RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) e DAFA (Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente) em português.

4.6 Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB)

O reator UASB foi desenvolvido pelo professor Gatzte Lettinga, com apoio de sua equipe na Universidade de Wageningen na Holanda, durante a década de 70. Mais tarde, espalhou-se por vários países, especialmente os de clima quente, onde temperaturas elevadas são aliadas para que esse sistema anaeróbio tenha uma eficiência satisfatória (RISSOLI, 2004).

A caracterização do reator UASB se deu pelo fato do esgoto entrar pelo fundo do reator, em fluxo ascendente, e também por possuir um sistema de separação das fases líquidas, sólidas e gasosas, localizado na sua parte superior, com o lodo suspenso e formando flocos de grânulos (JORDÃO, PESSOA, 2011).

Segundo Chernicharo (1997 apud ARAÚJO, 2009), no início da década de 80, o tratamento realizado através de reatores UASB passou por um período de descrédito, porém obtiveram uma eficiência comprovada, obtendo reconhecimento privilegiando diante das demais formas de tratamentos de esgoto sanitário.

A utilização de reatores UASB para tratamento de esgoto doméstico já é considerada uma realidade no Brasil e em outros países de clima tropical e, recentemente, em países do oriente médio e África. Este processo apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, quando são aplicados em locais de clima quente (CHERNICHARO, 2016).

Segundo o autor supracitado, algumas vantagens e desvantagens são apontadas nesse sistema, conforme QUADRO 3 abaixo.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens reatores UASB.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema compacto, com baixa demanda de área; • Baixo custo de implantação e de operação; • Baixa produção de lodo; • Baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada, quando for o caso); • Satisfatória eficiência de remoção de DQO e DBO, da ordem de 65 a 75%; • Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações; • Elevada concentração e boa desidratabilidade do lodo excedente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de emissão de maus odores; • Baixa capacidade do sistema de tolerar cargas tóxicas; • Elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema; • Necessidade de uma etapa pós-tratamento.

Fonte: Chernicharo, 2016.

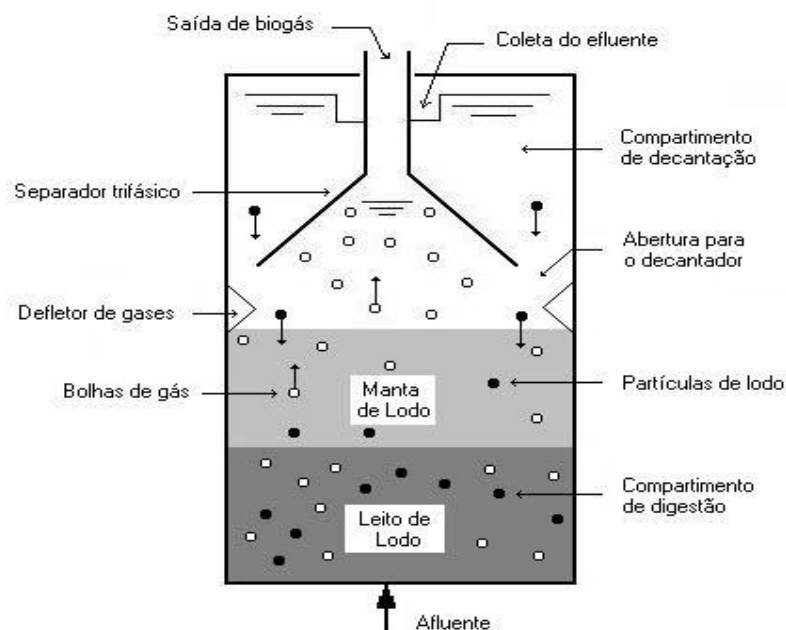
Portanto, o emprego de reatores UASB no tratamento de esgoto sanitário já é considerado uma realidade em vários países, inclusive no Brasil, pois vem sendo evidenciado pelas inúmeras experiências de sucesso no uso desses reatores em varias localidades do país (FRANCISQUETO, 2007).

4.6.1 Funcionamento do reator UASB

O início do processo de operação de um reator UASB é a fase mais importante, acontecendo primeiramente a inoculação do reator com lodo anaeróbio em quantidade suficiente. Este lodo pode ser obtido de outro sistema de tratamento de esgoto que possui as mesmas características. Em seguida, o reator começa a ser alimentado em baixa taxa, no sentido ascendente, sendo sua alimentação aumentada progressivamente, de acordo com a resposta do sistema. Após alguns meses de operação, espera-se a presença de um lodo no fundo do reator bastante concentrado (4% a 10%, ou seja, em torno de 40 a 100 g de sólidos totais por litro) e deve apresentar excelentes características de sedimentação. A todo esse processo, dá-se o nome de *start up* ou partida do sistema (CHERNICHARO, 2016).

Segundo Pelaéz (2007 apud ARAÚJO, 2009), um reator UASB consiste de três seções distintas em seu interior: leito de lodo, manta de lodo e separador trifásico, conforme mostra a FIG. 16.

Figura 16 - Desenho esquemático o reator UASB.



Fonte: CHERNICHARO, 1997.

Na parte inferior do reator UASB encontra-se a camada de lodo chamada leito de lodo, local onde há a maior concentração de biomassa microbiana e onde também há uma alta taxa de sedimentação. No reator UASB, a biomassa cresce dispersa no meio e não aderida a um meio suporte (VON SPERLING, 2014).

Após o leito de lodo, em sentido ascendente, em direção ao topo do reator, desenvolve-se uma zona de crescimento bacteriano mais disperso, chamada de manta de lodo, onde permanece o lodo mais disperso e leve. Nesta zona, os sólidos apresentam uma velocidade de sedimentação mais baixa e uma variação de 1,5 a 3% de concentração de lodo (CHERNICHARO, 2016),

Ainda segundo o autor supracitado, a estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas.

O deslocamento ascendente do esgoto e das bolhas de gás promove um arraste do lodo para cima. Para evitar que o lodo seja carregado com o efluente, é imprescindível a instalação de um separador trifásico, de gases, sólidos e líquidos, na parte superior do reator, garantindo a retenção e o retorno do lodo (BUSATO, 2014).

Segundo Von Sperling (2016), a coleta do gás gerado é realizada na parte superior do separador, no compartimento de gases, de onde pode ser retirado para reaproveitamento ou queima. A sedimentação dos sólidos ocorre na parte superior externa desta estrutura, no compartimento de sedimentação, onde deslizam pelas paredes que possuem grande inclinação, até chegarem ao corpo do reator.

Com a instalação do separador trifásico, como resultados, os reatores UASB apresentam elevados tempos de residência celular que correspondem à idade do lodo, bem superiores ao tempo de detenção hidráulica. Habitualmente, a idade do lodo é superior a 30 dias, propiciando que o lodo excedente descartado do sistema já se encontre estabilizado (CHERNICHARO, 2016).

Conforme Subtil (2007 apud ARAÚJO, 2009), a parte líquida, que já está tratada e sem a presença de gases, segue seu fluxo ascendente até atingir o dispositivo de coleta. Este efluente tratado pode ser encaminhado ao corpo receptor ou a um pós-tratamento adequado quando necessário.

Conforme saliente Von Sperling (2016), a retirada do lodo se dá por meio de tubulações laterais, próximo ao fundo e em níveis diferentes, e com saída pela parede lateral, na face externa do reator, sendo possível ao operador selecionar o

melhor nível de retirada do lodo e a quantidade desejada. Este lodo é desidratado em leitos de secagens.

Segundo Chernicharo (2016), alguns procedimentos devem ser observados para um eficiente tratamento utilizando-se o reator UASB:

- As características do fluxo ascendente devem assegurar o máximo contato entre a biomassa e o substrato;
- Os curtos-circuitos devem ser evitados, de forma a garantir tempos de retenção suficientes para degradação da matéria orgânica;
- O sistema deve ter um separador trifásico bem projetado, capaz de separar de forma adequada o biogás, o líquido e os sólidos, liberando os dois primeiros e permitindo a retenção do último;
- O lodo na região da manta deve ser bem adaptado, com alta atividade metanogênica específica (AME) e excelente sedimentabilidade. Se possível, o lodo deve ser granulado, uma vez que este tipo de lodo apresenta características bem melhores que a do lodo floculento. (CHERNICHARO, 2016, p.199).

Na prática, os valores verificados de remoção de matéria orgânica em reatores UASB, se situam, segundo Chernicharo et al. (1999), na faixa de 65% a 75%. Vieira et al. (1994), relatando experiência de operação de reator UASB com vazão média de 9,5 m³/h, indica que foram obtidas remoções médias de 80% para a DBO e de 87% para sólidos suspensos totais. (RISSOLI, 2004, pg.27).

O reator UASB é um sistema de tratamento de esgotos domésticos bem simples pelo fato de não utilizar qualquer equipamento sofisticado ou de meios de suporte para a retenção da biomassa.

Segundo Rodrigues et al (2008), em estudo sobre o desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura, após todo processo de pesquisa e análise, concluiu-se que o sistema de tratamento que foi avaliado ofereceu altas eficiências de remoção de DBO e DQO, sendo possível a condição operacional imposta, conseguindo valores médios acima de 90%, atendendo aos padrões preestabelecidos pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (2005) quanto à eficiência de remoção do sistema de tratamento.

Araújo (2009), após analisar a eficiência de remoção de DBO e DQO em uma estação de tratamento anaeróbio de esgoto pelo sistema de reatores UASB de uma

mineradora, conclui que, para esse caso, a eficiência de remoção mostrou-se modesta, atribuindo a baixa eficiência às constantes variações no sistema.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido através de análises de sólidos sedimentáveis e demanda bioquímica de oxigênio de amostras de esgoto doméstico bruto e tratado coletadas em reatores UASB da Estação de Tratamento de Esgoto que pertence à concessionária de água e esgoto do município de Lagoa da Prata-MG, com a finalidade de identificar a influência de sólidos sedimentáveis na eficiência de remoção de carga orgânica.

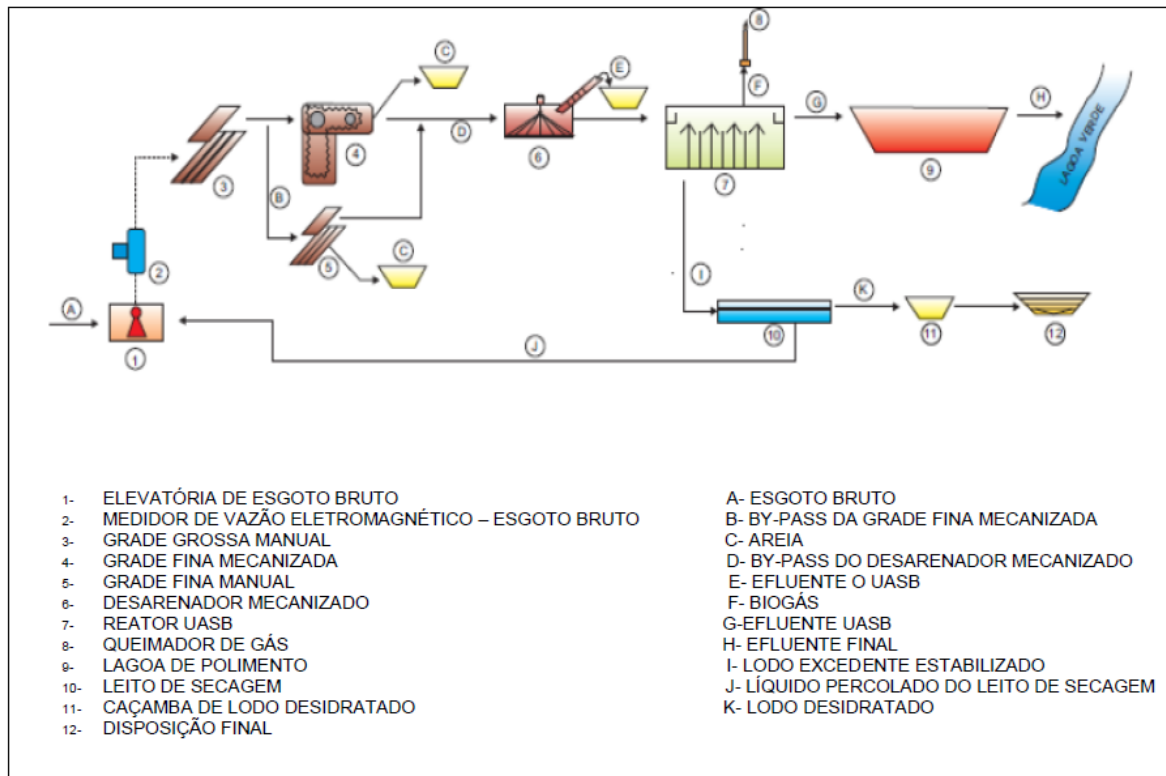
5.1 O sistema de tratamento de esgoto da ETE-Lagoa da Prata

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Lagoa da Prata iniciou sua operação no ano de 2014. Esta obra foi realizada através de recursos do Governo Federal através da CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba.

A coleta de todo o esgoto do município, que corresponde a 100%, é realizada através de ramais prediais que estão ligados s redes coletoras e estas encaminham o efluente até as estações elevatórias que bombeiam todo o esgoto até a estação de tratamento.

A estação é composta por estações elevatórias de esgoto bruto, tratamento preliminar (gradeamento manual com grade grossa e automático com grade fina, desarenador), reatores UASB, lagoas de polimento e leitos de secagem que são utilizados para descarga e desidratação do lodo em excesso do reator, conforme esquema mostrado na FIG. 17 a seguir:

Figura 17 - Organograma do Processo de Tratamento.



Fonte: Programa de Treinamento para Operadores de Sistemas de Esgotamento Sanitário, 2016.

Todo efluente doméstico é encaminhado através de redes coletoras até a estação elevatória de esgoto bruto. A elevatória de esgoto bruto é responsável pelo recalque do esgoto afluente à ETE bem como o líquido percolado proveniente dos leitos de secagens até o tratamento preliminar.

O efluente é bombeado até o tratamento preliminar, passando por uma grade de espessura maior onde retém sólidos grosseiros. O efluente segue passando por uma grade fina mecanizada onde acontece a remoção de sólidos menores e, por fim, passa pelos desarenadores para retirada de minerais presentes no efluente.

Após o tratamento preliminar, o efluente segue para os reatores UASB, onde acontece a decomposição da matéria orgânica presente no esgoto pela ação de bactérias anaeróbias contidas na manta de lodo formada no fundo do reator. Ao passar pelo equipamento, a carga orgânica é consumida pelos microrganismos, gerando gás metano, lodo e água.

Em seguida aos reatores UASB, o efluente segue para as lagoas de polimento, sendo seis lagoas de tamanhos diversos e todas com profundidade de 0,80 m. O pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios através de lagoas de

polimento é uma forma de manter a simplicidade operacional do sistema, estabilizar aerobicamente a matéria orgânica remanescente do efluente do reator, produzir um efluente com reduzidas concentrações de organismos patogênicos e de nutrientes, desejáveis principalmente quando o objetivo é o lançamento do efluente em corpos receptores.

O lodo em excesso é descartado em leitos de secagens, onde ocorre o processo de desidratação do mesmo e, após esse período, o lodo é descartado no aterro sanitário municipal. O gás gerado é encaminhado por tubulações até a usina de biogás, onde é queimado.

5.2 Escolha das amostras

As amostras foram coletadas em três reatores UASB de um conjunto de doze que compõem a ETE, sendo eles: reator 1, que se encontra na parte superior do conjunto; reator 11, no centro; e reator 8, na parte inferior do conjunto.

5.3 Métodos de coleta das amostras

As amostras para as análises de sólidos sedimentáveis (SS) foram coletadas diretamente nos reatores em estudo. Cada reator possui um ponto de coleta de lodo que são distribuídos em três alturas diferentes, sendo elas de 0,50 m, que corresponde ao nível baixo; 0,75 m, que corresponde ao nível médio; e 1,5 m, que corresponde ao nível alto. Para análises foram coletadas amostras no ponto localizado a 1,5 m de altura, que corresponde ao nível alto da camada de lodo no reator.

Para as análises de DBO, foram coletadas amostras de efluente bruto na caixa de distribuição na entrada de cada reator, antes de passar pelo processo de tratamento, e amostras que passaram o tempo de detenção necessário para remoção de carga orgânica, que foram coletados na saída do reator, antes do efluente cair na caixa de distribuição das lagoas de polimento.

As amostras para análise de SS foram coletadas diariamente e as amostras para análise de DBO foram coletadas quinzenalmente, ambas por um período de seis meses correspondente aos meses de novembro/2016 a abril/2017, sendo coletadas apenas amostras simples em ambos os casos.

5.4 Métodos de análise

As amostras coletadas foram submetidas às análises laboratoriais dos seguintes parâmetros: determinação de demanda bioquímica de oxigênio e determinação de sólidos sedimentáveis.

5.4.1 Determinação de demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O equipamento utilizado foi o de carência bioquímica de oxigênio (CBO), modelo AL606 – Aqualytic.

Após estimar a gama de medição das amostras e selecionar o volume, as amostras foram medidas com o balão de medição e transferidas para frasco de CBO. Em seguida, adicionou-se o inibidor de nitrificação e a vareta de agitação magnética. No receptáculo, que é inserido no frasco, foram adicionadas 4 gotas de solução de KOH. Realizados os procedimentos, os frascos foram fechados com os sensores de CBO e encaixados no suporte do equipamento.

O equipamento foi programado de acordo com os parâmetros estabelecidos na norma e colocado em uma câmara incubadora de DBO por 120 horas à 20 °C. Decorrido os cinco dias, o equipamento forneceu as leituras para cada amostra. Com o término da análise, as amostras foram descartadas e os frascos lavados e guardados para análises posteriores.

5.4.2 Determinação de sólidos sedimentáveis

Após serem coletadas, as amostras foram transferidas para cones imhoff e deixadas em processo de sedimentação por 45 minutos (FIG. 18). Passado esse tempo, foi realizada uma agitação lenta, com um bastão de vidro, e deixado sedimentar por mais 15 minutos.

Terminado o tempo de sedimentação, leu-se o volume referente ao sedimento. O resultado foi expresso em ml/L.

Figura 18 - Análise de Sólidos Sedimentáveis.



Fonte: Arquivo pessoal, 2017.

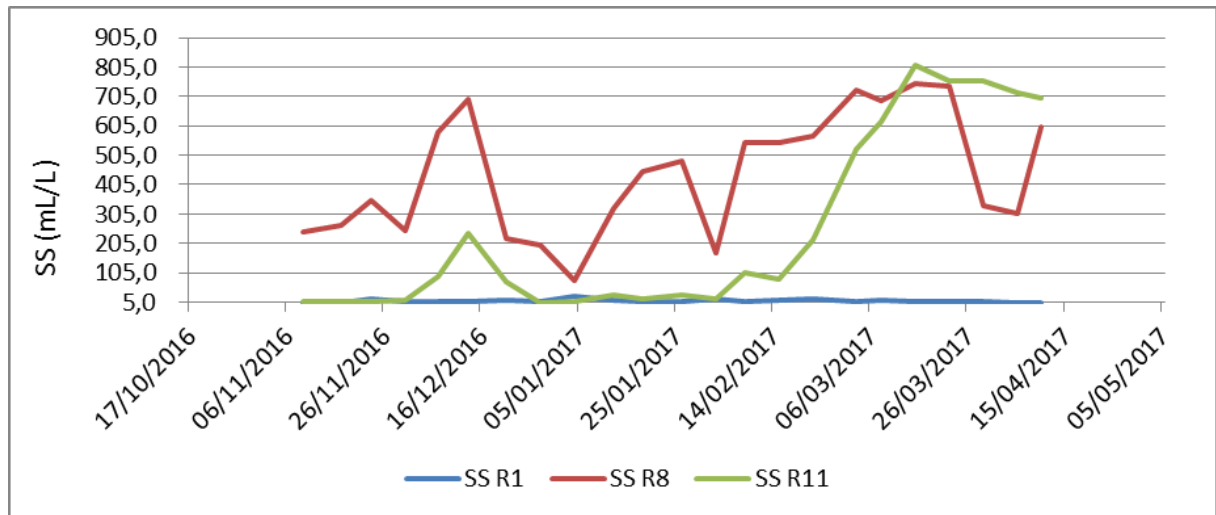
5.5 Análise dos dados

Todas as análises foram registradas em planilhas e, em seguida, foram gerados gráficos comparativos entre a eficiência de remoção de DBO e a concentração de SS de cada reator em análise. Também foi gerado gráficos relacionando os SS dos três reatores bem como tabelas de DBO de entrada e saída dos reatores.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O GRÁF.1 a seguir apresenta os valores de sólidos sedimentáveis verificados para os reatores estudados durante o período de estudo.

Gráfico 1 - Sólidos Sedimentáveis.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Observa-se que, durante o período de estudo, os reatores tiveram comportamentos bem distintos quanto à presença de sólidos sedimentáveis. O reator 1 foi o que apresentou a menor variação de sólidos sedimentáveis, onde a maior quantidade de SS verificada foi de 60 mL/L. Esse comportamento pode estar relacionado à diluição do esgoto com águas pluviais ou as vias de abastecimento do mesmo podem estar entupidadas, fazendo com que o reator seja abastecido com menos esgoto do que os demais.

Valores elevados de sólidos sedimentáveis no efluente podem ser causados por cargas hidráulicas excessivas, excesso de sólidos no reator e, para solucionar essa problemática, deve-se diminuir a vazão e realizar a descarga de lodo em excesso, procedimentos que podem ser aplicados nos reatores 8 e 11 por apresentarem uma maior variação de sólidos, chegando ao valor máximo de 1000 mL/L.

A TAB.1 a seguir apresenta os valores de DBO quantificados na entrada e saída dos reatores, bem como a sua eficiência de remoção.

Tabela 1- Eficiência de remoção de DBO.

Período		Reator 1			Reator 8			Reator 11		
Início	Término	DBO (entrada)	DBO (saída)	Eficiência de remoção %	DBO (entrada)	DBO (saída)	Eficiência de remoção %	DBO (entrada)	DBO (saída)	Eficiência de remoção %
07/11/2016	12/11/2016	276	79	71	278	51	82	233	57	76
21/11/2016	26/11/2016	93	65	30	213	58	73	89	53	40
08/12/2016	12/12/2016	144	111	23	211	83	61	138	68	51
23/12/2016	28/12/2016	101	116	- 15	87	87	0	114	50	56
18/01/2017	23/01/2017	112	81	28	68	94	- 38	79	101	- 28
01/02/2017	06/02/2017	132	151	- 14	146	101	31	142	93	35
15/02/2017	20/02/2017	141	113	20	136	93	32	107	82	23
09/03/2017	14/03/2017	120	159	- 33	110	99	10	115	84	27
06/04/2017	11/04/2017	129	125	3	146	92	37	143	98	31

Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

A partir das análises da eficiência dos reatores em estudo, observa-se que, na primeira semana, os três reatores apresentaram a eficiência esperada para reatores UASB, que é de 65-75 %, conforme informa o QUADRO 2. Essa eficiência foi possível devido à baixa concentração de sólidos sedimentáveis dentro do reator, mostrando que sua atividade metanogênica, ou seja, a degradabilidade da matéria orgânica, foi satisfatória.

Nas semanas seguintes, nota-se uma redução na eficiência dos reatores, atribuindo essa queda de eficiência ao aumento gradativo de sólidos sedimentáveis. Nas semanas em que as eficiências ficaram negativas, pode-se observar que os sólidos sedimentáveis tiveram um aumento considerável, chegando ao seu limite máximo de 1000 mL/L nos reatores 8 e 11, sendo sua DBO de saída maior que a de entrada. Isso se dá pela presença elevada de carga de sólidos no interior do reator, que influencia diretamente na eficiência do mesmo.

Segundo Chernicharo (2016), considera-se uma eficiência satisfatória para reatores UASB uma remoção de DBO na ordem de 65 a 75%, sendo assim, a partir das análises realizadas, foi possível observar que os reatores em estudo demonstraram ineficiência na maior parte do tempo em pesquisa, em desacordo com o esperado para esse tipo de reator.

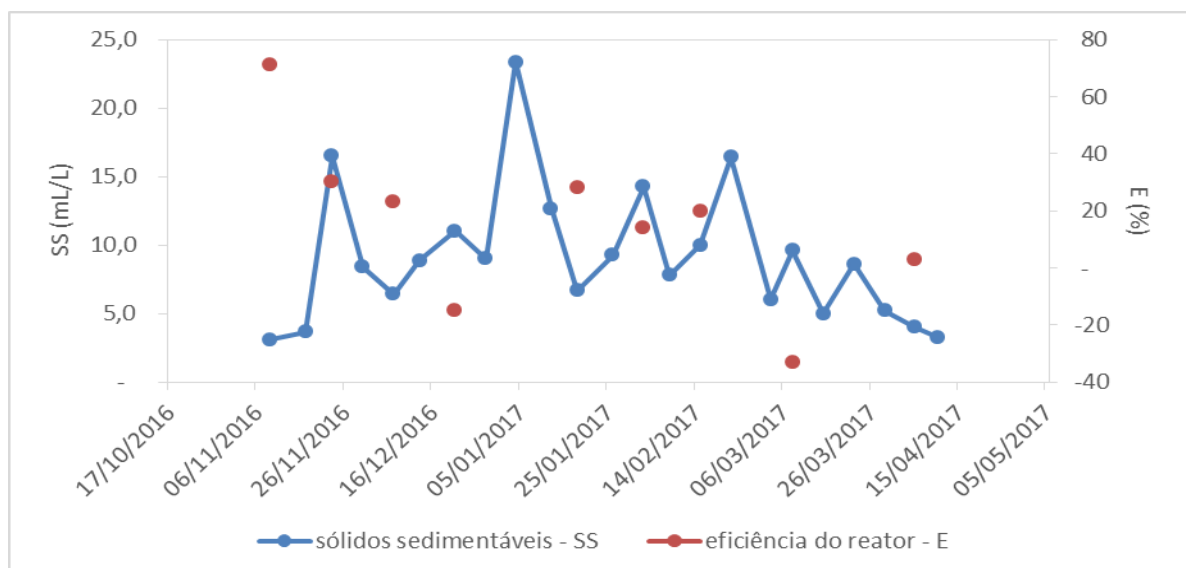
Aisse et al [2000?], em estudo realizado para a avaliação do sistema de reatores UASB da ETE Belém da SANEPAR (Curitiba-PR) por um período de 8

meses, concluiu que a remoção de DBO foi de 65 a 85%, confirmando assim a eficiência de remoção para reatores UASB estabelecida na literatura.

Grasselli [2009?], avaliando o desempenho de reator UASB no tratamento de efluente gerado por hospital da Serra Gaúcha, concluiu que a concentração de sólidos no interior do reator foi o fator que influenciou a queda da eficiência do reator UASB, pois em um período de quatro meses, a remoção de DBO de 84,67% caiu para 53,39%, ficando evidenciado que, para um bom funcionamento do reator, é importante realizar a descarga do lodo em excesso.

Os GRÁF. 2 a 4 apresentam o comportamento da eficiência de remoção de DBO em função da concentração de sólidos sedimentáveis dos reatores em estudo.

Gráfico 2 - Eficiência x sólidos sedimentáveis reator 1



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

Observa-se que as concentrações de sólidos sedimentáveis afetaram diretamente a eficiência do reator 1. Nos intervalos em que os sólidos sedimentáveis aumentaram, ocorreu uma queda na remoção de DBO, chegando a apresentar resultados negativos para a mesma. Sobre esse resultados negativos, conclui-se que o reator chegou à sua capacidade máxima de sólidos, sobrecarregando a manta de lodo.

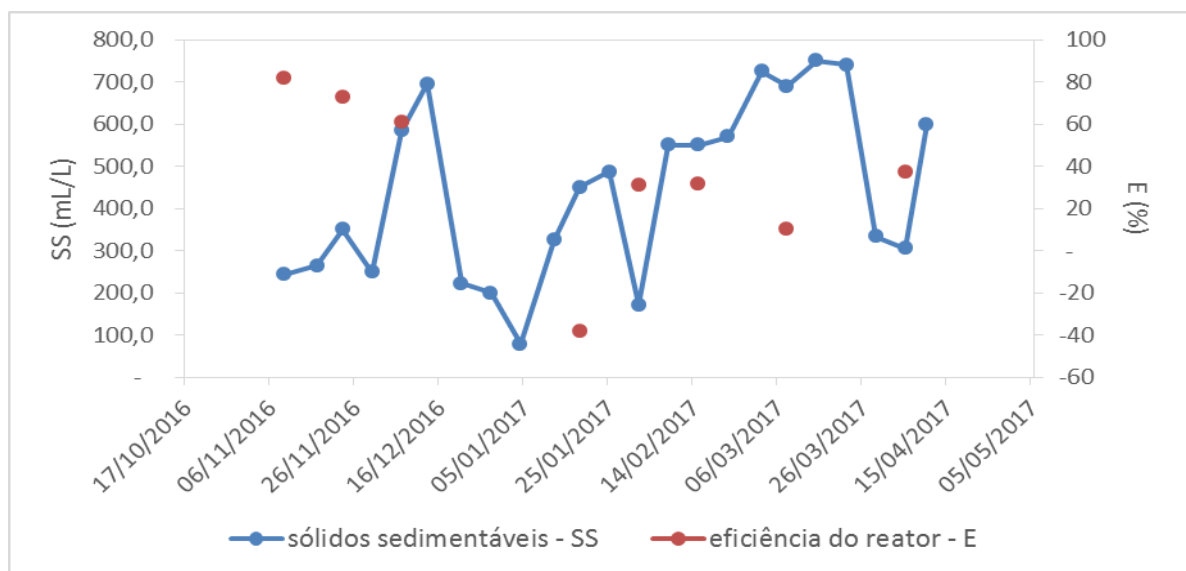
Quanto à baixa presença de sólidos sedimentáveis nesse reator quando comparado aos demais (GRÁF. 1), alguns fatores podem influenciar esse comportamento, como: o tempo de detenção hidráulica, vazão, fendas da câmara de

decantação entupidas, entre outros. Para que esse problema seja solucionado, deve-se aumentar a frequência das descargas de lodo, verificar o tempo de detenção para a vazão máxima e desobstruir as fendas.

Para o reator 1, a variação da eficiência máxima para a mínima ocorre, de um modo geral, num intervalo médio de 2 semanas.

No reator 8 (GRÁF. 3), observou-se que, entre 200 e 350 mL/L de sólidos sedimentáveis, a eficiência de remoção de DBO foi satisfatória; porém, no período em que os sólidos sedimentáveis presentes começaram a ultrapassar esses valores, foi possível verificar uma queda na eficiência, mostrando que altos índices de sólidos dentro do reator comprometem sua eficiência de remoção.

Gráfico 3 - Eficiência x sólidos sedimentáveis reator 8.

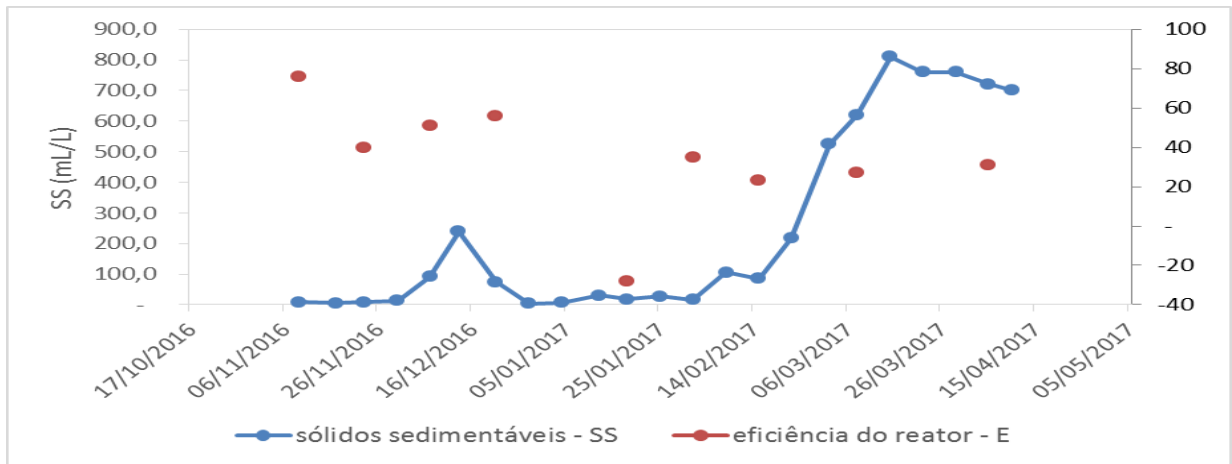


Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

No reator 8, também foi possível observar a variação da eficiência de remoção de DBO máxima para a mínima ocorrida num intervalo aproximado de duas semanas.

O reator 11 (GRÁF. 4) não apresentou comportamento diferente dos demais, sendo que os valores dos gráficos demonstraram que a elevação de sólidos sedimentáveis no seu interior influenciou a eficiência do mesmo.

Gráfico 4 - Eficiência x sólidos sedimentáveis reator 11.



Fonte: Dados da pesquisa, 2017.

No reator 11, foi possível observar que, durante as sete primeiras semanas de análise, a variação dos valores de sólidos sedimentáveis manteve-se estabilizada, o que garantiu um período de maiores valores de eficiência de remoção de DBO em comparação aos demais reatores. A partir da oitava semana, os sólidos sedimentáveis tiveram suas concentrações elevadas e a eficiência de remoção sofreu uma queda, confirmando novamente a influência da concentração de SS na eficiência de remoção de DBO de reatores UASB.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As constantes variações de sólidos sedimentáveis nos reatores UASB estudados evidenciaram sua influência direta na eficiência de remoção de DBO do esgoto doméstico tratado. Para restabelecer a eficiência de remoção de DBO é necessário realizar a descarga do lodo em excesso que é formado pelos sólidos que sedimentam no fundo do reator.

Com base nas análises dos reatores, o descarte do lodo deveria ser realizado a cada duas semanas para que a eficiência de remoção de DBO não fosse comprometida, porém, a descarga na estação de tratamento analisada está sendo realizado apenas uma vez por mês, influenciando na eficiência de remoção.

Segundo Chernicharo (2016), a frequência de descarte deve levar em consideração o processo de desidratação de lodo. Para desidratação em leitos de secagem, processo utilizado na ETE em estudo, o descarte deve ser feito em bateladas, usualmente com frequência entre duas e três semanas.

Hoje, a ETE em estudo não atende às recomendações de periodicidade de descarga do lodo em excesso por motivos operacionais como: mão de obra reduzida, uma vez que a retirada do lodo dos leitos de secagem é manual, quantidade de leitos de secagem insuficiente, questões climáticas como chuvas, entre outros.

Finalmente, para futuros trabalhos nesta área, sugere-se um estudo da produção de lodo na estação de tratamento e a viabilidade do uso do lodo desidratado como biofertilizante.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

AISSE, Miguel Mansur. *et al.* **Avaliação do sistema reator uasb e filtro biológico aerado submerso para o tratamento de esgoto sanitário**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. [2000?]

ARAÚJO, Claudemir Lima. **Avaliação da Variação na Eficiência de DBO e DQO em uma Estação de tratamento anaeróbio de esgoto**: Estudo de caso na Mineração Nacional de Grafite Ltda. 2009. 140 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário de Formiga – UNIFOR, Formiga, 2009.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**: O desafio do desenvolvimento sustentável. São Paulo. 2ª edição. 2002

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. Ver. Brasília: Fundação Nacional de saúde, 2004.

BUSATO, Rosilene. **Desempenho de um Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente como Tratamento de Efluente de Reator UASB**: Estudo de caso da ETE de Imituva. 2004. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade federal da Paraná, Curitiba, 2004.

CAMMAROTA, Profª Magali Christe. **Notas de aulas**: Tratamento de efluentes líquidos. EQB-482 Engenharia do Meio Ambiente. Escola de Química – UFRJ. 2011. TAE VII

CESAN. **Tratamento de esgoto**. Revisada em Julho de 2013. Disponível em: <http://www.cesan.com.br/wp-content/uploads/2013/08/APOSTILA_TRATAMENTO_ESGOTO.pdf>. Acesso em: 8 de Nov. de 2017.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuária**: reatores Anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997. V.5.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuária**: reatores Anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2016. V.5.

CRUZ, Luísa Paula Valente da. **Principais técnicas de tratamentos de águas residuais**. Revistas Millenium on.line. Disponível em: <http://www.ipv.pt/millenium/ect7_lpvc.htm>. Acesso em: 06 de Nov. de 2017.

FARRUGIA, Beatriz. **Sistemas biológicos para tratamento de efluentes**. Revista TAE. 2012 Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/3671-noticias>. Acesso em 26 de Out. de 2017.

FRANCISQUETO, Letícia de Oliveira Silveira. **Comportamento de Reatores UASB Frente a Variações Horárias de Vazão de Esgoto Sanitário**. 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade federal do Espírito Santo, Vitória, 2007. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp048798.pdf>>. Acesso em: 06 de nov. de 2017.

GRASSELLI, Rangel. **Avaliação do desempenho de reator uasb no tratamento de efluentes gerados por hospital da serra gaúcha**. 2017. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/downloads/ghna84.pdf>> Acesso em: 08 de Nov. de 2017.

HAANDEL, A. V.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbico de Esgotos**: um manual para regiões de clima quente. 1 ed. Campina Grande: Guerreiro & Catunda, 1994.

JORDÃO, Eduardo Pacheco, PESSÔA, Contantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6.ed. Rio de Janeiro, 2011.

LEONARDO, Susana Margarida Ferreira. **Caracterização do Digestor Anaeróbico de Lamas Biológicas da ETAR do Choupal, em Coimbra**. 2013, 165 f. Tese (Mestre em Processos Químicos e Biológicos) - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra Coimbra, Dezembro, 2012.

NUVOLARI, Ariosvaldo. **Esgoto sanitário coleta transporte e tratamento e reuso agrícola**. 2 ed. São Paulo.2011.565p.

PESTANA, Marcelo. *et al.* **Apostila de tratamento de efluentes**. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TE_Tratamento%20de%20Efluentes/Apostila%20Tratamento%20de%20Efluentes.doc>. Acesso em: 27 de out. de 2017.

GUIA DO PROFISSIONAL EM TREINAMENTO. **Processos de tratamento de esgotos**: nível 1 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília : Ministério das Cidades, 2008. 72 p.

RISSOLI, Cesar Augusto. **Estudo de parâmetros operacionais do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade do seu efluente**. 2004. 125f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2004 . Disponível em : <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp095435.pdf>>. Acesso em 01 mar. de 2017.

RODRIGUES, Luciano S. *et al.* **Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.1, p.94–100, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n1/v14n01a13.pdf>> Acesso em: 02 de Nov. de 2017.

SANT'ANNA JR, Geraldo Lippel. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.** 2 ed. Rio de Janeiro. 2013. 404p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias:** Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2014. v. 1

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias:** Princípios básicos do tratamento de esgoto. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2016. v.2.