



**Universidade Federal do Oeste do Pará
Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO (UASB)
COMO SISTEMA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO PARA ESGOTO
DOMÉSTICO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

VÂNIA VIEIRA VIDAL

**Santarém- Pará
2017**

VÂNIA VIEIRA VIDAL

**REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO (UASB)
COMO SISTEMA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO PARA ESGOTO
DOMÉSTICO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração:

Tratamento de Águas Residuárias

Orientador:

Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

Santarém- Pará
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFOPA

V649r Vidal, Vânia Vieira
Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) como sistema de tratamento anaeróbico para esgoto doméstico: revisão bibliográfica. / Vânia Vieira Vidal, 2017.
52f.: il.
Inclui referências bibliográficas.

Orientador: Israel Nunes Henrique.
Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas.

1. Digestão anaeróbica 2. Reator anaeróbico de alta taxa. 3. Pré-tratamento. 4. Remoção biológica. I. Henrique, Israel Nunes *orient.* II. Título.

CDD: 23.ed. 696.1

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome do Autor: VIDAL, Vânia Vieira

Título: Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) como sistema de tratamento anaeróbio para esgoto doméstico: revisão bibliográfica

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 17/03/2017

Banca Examinadora

_____ Orientador e Presidente

Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental /Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Dr. Ruy Bessa Lopes

Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Me. Amanda Estefânia de Melo Ferreira

Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus pela sua imensa bondade e força e a minha família, em especial a minha mãe Elizete por todo o carinho e dedicação e aos meus irmãos Elzeni, Ana Laura, Viviane, Núbia e Rafael.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sua infinita bondade e força e à Nossa Senhora por sempre me amparar e interceder por mim.

À Universidade Federal do Oeste do Pará por todos os auxílios financeiros, que possibilitaram minha permanência na instituição.

Aos colegas de pesquisa, ao Laboratório de Química, aos professores Lucinewton e Manoel e aos amigos Luze, Taiane, Neuza, Francisco, Samuel e à técnica Mila.

Minha imensa gratidão à professora Eveleise por todo seu carinho e companheirismo nestes últimos anos, ao laboratório de Biologia, à minha amiga Jael e às técnicas Jhéssica e Gilmara, por todo o apoio durante as pesquisas.

À todos os amigos de laboratório e de vida, pelo companheirismo e amizade que construímos. À minha amiga Paula pelos conselhos, companheirismo e amizade.

Aos professores deste curso por terem transmitido seus conhecimentos e contribuído para minha formação.

Ao meu orientador, professor Israel, por ter me acolhido em momento de aflição e ter me guiado com paciência e sabedoria neste trabalho.

À minha família, pelo amor e apoio incondicional de minha mãe Elizete e de meus irmãos Elzeni, Ana Laura, Viviane, Núbia e Rafael.

RESUMO

VIDAL, V.V. **Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) como sistema de tratamento anaeróbio para esgoto doméstico: revisão bibliográfica.** 2017. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tratamento de Esgoto) – Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

A busca por tecnologias que possibilitem atenuar a poluição hídrica pelo lançamento de esgoto deve ser considerada prioritária na preservação do meio ambiente. Diversas pesquisas foram desenvolvidas nos últimos anos a cerca de processos de tratamento que contribuíssem para melhoria das condições ambientais, sendo a aplicação de processos biológicos, quase sempre a melhor alternativa. No Brasil, destacam-se os sistemas anaeróbios, devido à alta atividade das bactérias anaeróbias em temperaturas acima de 20°C, tornando o tratamento mais atrativo em países de clima tropical e subtropical. Neste sentido, este trabalho teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os aspectos envolvidos na utilização de reatores UASB como sistema de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico, através do método de pesquisa qualitativa do tipo exploratória, sendo possível expor sobre vantagens e desvantagens do uso de reatores UASB, bem como verificar os principais subprodutos gerados pelo processo de tratamento nesses reatores, e apresentar alguns sistemas de pós-tratamento ao efluente produzido, buscando atender as exigências requeridas para seus devidos usos e descartes em corpos receptores. A partir do levantamento bibliográfico realizado, foi possível concluir, que o sistema apresenta atrativas vantagens, constituindo-se de etapa completa ou parte de um sistema de tratamento, apresentando boa relação custo-benefício, além de gerar subprodutos passíveis de reaproveitamento, sendo aplicáveis principalmente na agricultura e na produção de energia, e embora o sistema na maioria dos casos necessite de uma etapa de pós-tratamento, variados sistemas quando combinados ao reator UASB, conseguem produzir um efluente com qualidade satisfatória que atendem aos padrões da legislação vigente.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia, Reator anaeróbio de alta taxa, Pré-tratamento, Remoção biológica.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% - Por cento

\leq - menor igual

$>$ - maior

\geq - maior igual

CF – Coliformes Fecais

CH₄ – gás metano

CO₂ – dióxido de carbono

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CT – Coliformes Totais

Cter – Coliformes Termotolerantes

DAFA – Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio (cinco dias)

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FAN – Filtro Anaeróbico

FaFint – Filtro de areia de Fluxo intermitente

h – hora

H₂O – água

H₂S – gás sulfídrico

L/Hab.Dia – Litro por habitante ao dia

m³/Dia – metro cúbico por dia

mg/L – miligrama por litro

mgN/L – miligrama de nitrogênio por litro

mgP/L – miligrama de fósforo por litro

mL/L – mililitro por litro

N – nitrogênio

N-org – nitrogênio orgânico

NTK – nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal (nitrogênio total Kjeldahl)

N_{total} – nitrogênio Total

°C – Graus Celsius

OD – Oxigênio Dissolvido

Org/100ml – organismos por cem mililitros

P – Fósforo

pH – Potencial hidrogeniônico

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SSed – Sólidos Sedimentáveis

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

ST – Sólidos Totais

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sequencias metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia, com redução de sulfato.	25
Figura 2: Fluxograma típico de um sistema de reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB).....	28
Figura 3: Esquema do funcionamento de um reator UASB.	29
Figura 4: Fluxograma de atividades.	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Constituintes do esgoto doméstico.	16
Quadro 2: Principais parâmetros de caracterização dos esgotos.	18
Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos reatores UASB.	34
Quadro 4: Experiências de reaproveitamento de produtos e subprodutos gerados pelo tratamento anaeróbio em reator UASB.	37
Quadro 5: Experiências com sistemas de pós-tratamento de efluente de reator UASB.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de água e geração de esgoto <i>per capita</i> (dados de 2014 e média dos anos 2012, 2013 e 2014).	15
Tabela 2: Principais parâmetros a serem mantidos em corpos receptores de classe 2.	20
Tabela 3: Padrões para utilização de efluente na agricultura e/ou piscicultura.	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Produção de Águas Residuárias no Brasil.....	15
3.2 Histórico da Tratabilidade de Águas Residuárias	16
3.3 Aspectos Legais do Tratamento de Esgoto e Disposição.....	18
3.4 Características de Tratamento de Águas Residuárias.....	21
3.4.1 Tipos de Tratamento.....	21
3.5 Sistemas Biológicos de Tratamento Anaeróbio	22
3.5.1 Digestão Anaeróbia.....	23
3.5.2 Sistemas Convencionais e de Alta Taxa.....	26
3.6 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB)	27
3.6.1 Remoção de Constituintes de Esgoto	29
3.6.2 Fatores que Afetam a Remoção Biológica dos Constituintes	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Delineamento da Pesquisa.....	32
4.2 Tipo de Pesquisa	32
4.3 Procedimentos da Pesquisa	33
4.4 Coleta e Análise de Dados	33
4.5 Apresentação de Resultados.....	33
5 DISCUSSÃO.....	34
5.1 Vantagens e Desvantagens dos reatores UASB.....	34
5.2 Geração de Subprodutos.....	36
5.3 Pós-Tratamento	38
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

O entendimento sobre a valorização da água tem sido cada vez mais difundido à medida que se reduz a disponibilidade de água de qualidade para o consumo humano. No entanto, o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e o próprio ciclo hidrológico, tem sido comprometido com a poluição, através das descargas impróprias como águas residuárias, produtos tóxicos, nutrientes – nitrogênio e fósforo, além de tantos elementos que prejudicam a qualidade das águas (DANTAS *et al.*, 2012).

A disposição inadequada dos esgotos propicia o escoamento a céu aberto, poluindo o solo, contaminando as águas superficiais e subterrâneas e constituindo-se em perigosos focos de disseminação de doenças. De forma a proteger a saúde humana e o meio ambiente, os dejetos gerados pelas atividades humanas, comerciais e industriais necessitam ser coletados, transportados, tratados e dispostos adequadamente (BRASIL, 2008).

Embora existam esforços para melhorar o saneamento básico do País, ainda há um longo caminho à percorrer, para que seja alcançado a universalização do saneamento (GALVÃO JUNIOR, 2009). Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) tinham serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em 2008, sendo que do total de municípios, apenas 28,5% fizeram tratamento de seu esgoto (BRASIL, 2010).

O esgoto sanitário é composto normalmente por 99,9% de água e cerca de apenas 0,1% de sólidos (SAMUEL, 2011). De modo geral, o propósito das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) é retirar a maior parte do material sólido da água, possibilitando retorná-la, mais limpa, ao meio ambiente. São as estações que tratam o esgoto doméstico, também denominado de esgoto sanitário, normalmente após tratar o efluente, o líquido é lançado em um corpo hídrico receptor, sendo córrego, rio, mar, dentre outros, de modo a atender os padrões de qualidade e de lançamento de efluentes, conforme legislação vigente (BRASIL, 2009).

De acordo com Dantas *et al.* (2012), a necessidade de se tratar o esgoto foi intensificada com o aumento da população em áreas urbanas, de maneira concentrada, provocando lançamentos de altas cargas orgânicas de forma mais pontual. Assim, houve a necessidade de se criar tecnologias otimizadas para se garantir o tratamento eficiente de grandes volumes de resíduos sólidos e líquidos.

Lima (2006) descreve que a busca por tecnologias que possibilitem atenuar a poluição hídrica pelo lançamento de esgoto sem tratamento, pode ser considerada prioritária na preservação do meio ambiente. Para tanto, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas nos últimos anos a cerca de processos de tratamento que contribuem para melhores condições ambientais, sendo a aplicação de processos biológicos, quase sempre a melhor alternativa.

Embora não haja uma solução que atenda a todos os requisitos, existem alternativas que atendem em menor ou maior grau as principais condições que devem ser apreciadas em um estudo técnico-econômico de escolha de alternativas (LIMA, 2006).

Atualmente no Brasil, destacam-se os sistemas anaeróbios com grande aplicabilidade devido à alta atividade das bactérias, que sobrevivem em temperaturas superiores à 20°C, tornando o tratamento anaeróbio de esgoto doméstico bem mais atrativo em países de clima tropical e subtropical (CHERNICHARO, 2010; LIMA, 2006).

Assim, em decorrência da ampliação de conhecimento na área, os sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto, notadamente os Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), passaram a ocupar lugar de destaque no Brasil devido as suas vantagens referentes às condições climáticas, simplicidade operacional, baixa produção de sólidos, além de operar com menor tempo de detenção hidráulica e baixo custo (CHERNICHARO, 2010; LIMA, 2006; FAGUNDES, 2010). Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os mecanismos envolvidos na utilização de reatores UASB como um sistema de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico fornecendo subsídios para o entendimento do funcionamento e aplicação deste sistema a partir do estudo da literatura e de trabalhos desenvolvidos acerca do assunto.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Realizar um levantamento bibliográfico sobre os aspectos envolvidos na utilização de reatores UASB como sistema de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico.

2.2 Específicos

- Apresentar as principais vantagens e desvantagens dos reatores UASB;
- Expor os principais subprodutos gerados a partir do tratamento de esgoto doméstico em reator anaeróbio de manta de lodo;
- Averiguar a necessidade do uso de pós-tratamento de esgoto doméstico em reator UASB e apresentar seus respectivos sistemas;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Produção de Águas Residuárias no Brasil

O esgoto doméstico, também denominado de esgoto sanitário, é definido por Nunes (2012) como todas as águas servidas de qualquer edifício originadas de pia de cozinhas, máquinas de lavar roupas, lavagens de pisos, lavatórios, banheiros e descargas de vasos sanitários, podendo conter grande variedade de microrganismos, oriundos principalmente das descargas dos vasos sanitários.

O volume de esgotos gerados por pessoa depende da quantidade de água consumida, correspondendo normalmente a 80% desta (VON SPERLING, 2005). Os dados mais recentes sobre os serviços de água e esgoto no Brasil foram divulgados por um diagnóstico do Ministério das Cidades, publicando em 2016 informações sobre o consumo *per capita* de água no País, permitindo apresentar uma estimativa da geração de águas residuárias produzidas em municípios cujos dados são fornecidos ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. A Tabela 1 mostra os valores médios *per capita* de consumo de água encontrados para a média dos anos 2012, 2013 e 2014 (BRASIL, 2016), e uma estimativa da geração de esgoto para os mesmos períodos, segundo cada região do Brasil.

Tabela 1: Consumo de água e geração de esgoto *per capita* (dados de 2014 e média dos anos 2012, 2013 e 2014).

Região/País	Consumo Per Capita de Água (L/Hab.Dia) Média dos anos 2012, 2013 e 2014	Consumo Per Capita de Água (L/Hab.Dia) Ano 2014	Produção Per Capita de Esgoto (L/Hab.Dia) Média dos anos 2012, 2013 e 2014	Produção Per Capita de Esgoto (L/Hab.Dia) Ano 2014
Norte	155,3	154,2	124,24	123,32
Nordeste	125,3	118,9	100,24	95,12
Sudeste	192,2	187,9	153,73	150,32
Sul	150,9	153,6	150,90	122,88
Centro-Oeste	158,7	158,8	126,96	127,04
Brasil	165,3	162,0	132,24	129,60

Fonte: Adaptado de Brasil (2016).

Nunes (2012), ressalta que as características biológicas e físico-químicas do esgoto doméstico variam de acordo com as condições de saúde e socioeconômicas da população, da natureza da água, contribuição de despejos industriais, dentre outros. Quanto às características físicas, químicas e biológicas, os principais constituintes do esgoto doméstico podem ser apresentado de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Constituintes do esgoto doméstico.

CONSTITUINTE	CARATERÍSTICAS	
Propriedades Físicas	Cor, Temperatura e Sólidos	
Propriedades Químicas	Orgânicas	Carboidratos, Compostos Orgânicos Voláteis, Gorduras, óleos e graxas, Poluentes Prioritários, Proteínas e Surfactantes
	Inorgânicas	Alcalinidade, Cloretos, Enxofre, Fósforo, Nitrogênio, pH, Poluentes Prioritários e Potássio
Constituintes Biológicos	Helmintos (vermes) e Vírus	
	Protistas (arque bactérias e eubactérias)	

Fonte: METCALF; EDDY, 2016.

3.2 Histórico da Tratabilidade de Águas Residuárias

Ao longo da história, o setor de tratamento de esgoto vem sendo intimamente relacionado com a preocupação na saúde humana e no meio ambiente. Inicialmente, os métodos de tratamento de esgoto, foram desenvolvidos justamente com enfoque na saúde pública e ambiental. Com o desenvolvimento das cidades e a indisponibilidade de áreas necessárias para tratamento e disposição dos esgotos, tornou-se necessário desenvolver novos métodos de tratamento em condições controladas, visando acelerar os processos naturais, em

estações de tratamento projetadas para utilizar menores áreas para instalação (RIBEIRO; ROOKE, 2010; METCALF; EDDY, 2016).

As primeiras ETE's são datadas de 1914 em Salford, Inglaterra, com uma vazão média de 303 m³/dia e em 1915 em Davyhulme, com vazão média de 378 m³/dia (LINS, 2010). Mesmo no fim do século vinte, a disposição de esgotos brutos no solo ou em corpos receptores naturais ainda era empregada de forma muito intensa (ANDRADE-NETO; CAMPOS, 1999).

Embora os processos biológicos, aeróbio e anaeróbio, fossem aplicáveis ao tratamento de esgoto, nas últimas duas décadas do século XX, verificou-se uma verdadeira revolução nos conceitos inerentes ao tratamento de águas residuárias. Neste período, além de ampliar e valorizar a aplicabilidade do processo anaeróbio, também foi aumentado significativamente o número de alternativas para concepção física das unidades para conversões biológicas (ANDRADE-NETO; CAMPOS, 1999).

Dentre os sistemas anaeróbios, os reatores de manta de lodo (UASB), ocupam uma posição de destaque no mundo e principalmente no Brasil devido a fatores como a predominância em elevadas temperaturas (LIMA, 2006). O desenvolvimento do processo em reatores de manta de lodo foi concebido na Holanda, pelo Professor Gatzke Lettinga e sua equipe, na década de setenta (COSTA; BARBOSA-FILHO; GIORDANO, 2014; CHERNICHARO, 2010).

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo é uma unidade de fluxo ascendente que possibilita o transporte das águas residuárias através de uma região que apresenta elevada concentração de microrganismos anaeróbios. Esse reator oferece condições para que uma grande quantidade de lodo biológico fique retida em seu interior em decorrência das características hidráulicas de escoamento e também da natureza desse lodo. O UASB não contém nenhum meio suporte; ao invés disso possui na parte superior um dispositivo destinado à sedimentação de sólidos e à separação das fases sólida-liquida-gasosa. Esse dispositivo é de fundamental importância, pois é responsável pelo retorno de lodo e consequentemente pela garantia do alto tempo de detenção celular do processo (LIMA, 2006).

Atualmente, existem inúmeros processos para o tratamento de esgoto, individuais ou combinados. A decisão pelo processo a ser empregado, deve-se levar em consideração, principalmente, as condições do curso d'água receptor (estudo de autodepuração e os limites definidos pela legislação ambiental) e da característica do esgoto bruto gerado (MELLO, 2007).

Assim, ressalta-se a necessidade de se conhecer a legislação federal e em casos específicos, legislação estadual, para determinar o nível de eficiência do tratamento de acordo com as características do corpo receptor e a classe a que pertence (ANDRADE-NETO; CAMPOS, 1999).

3.3 Aspectos Legais do Tratamento de Esgoto e Disposição

As águas efluentes das atividades humanas adquirem características próprias de acordo com o uso que sofreram, e quando retornadas ao ambiente tendem a alterar as propriedades do corpo hídrico receptor, podendo resultar em poluição, contaminação por microrganismos patogênicos, eutrofização, entre outras consequências indesejáveis (CERQUEIRA, 2004).

Para traduzir o caráter ou o potencial poluidor dos esgotos, são utilizados parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os principais parâmetros de caracterização dos esgotos, agrupados em função do seu potencial como poluidor e contaminador de um curso d'água, são apresentados no Quadro 2 (BRASIL, 2008).

Quadro 2: Principais parâmetros de caracterização dos esgotos.

PARÂMETRO	FORMA DE ESTIMAÇÃO	FAIXAS TÍPICAS NO ESGOTO BRUTO
Sólidos	Os sólidos presentes nos esgotos podem ser estimados a partir dos sólidos totais (ST) e sólidos sedimentáveis (SSed).	ST = 700 – 1350 mg/L Ssed = 10-20mg/L
Indicadores de matéria orgânica (DBO, DQO)	A quantificação da matéria orgânica presente nos esgotos é, usualmente, realizada de forma indireta através das análises laboratoriais da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO).	DBO = 250 – 400 mg/L DQO = 450 - 800 mg/L
Nutrientes	Os principais nutrientes de interesse para a engenharia sanitária, na caracterização de esgotos sanitários, são: o Nitrogênio (N) e o Fósforo (P).	N _{total} = 35 – 60 mgN/L P = 4 – 15 mgP/L
Indicadores de contaminação fecal	Os principais parâmetros empregados para a avaliação do potencial do esgoto como contaminador das águas são os coliformes termotolerantes (Cter) e os ovos de helmintos.	Cter = 106 a 109 org/100mL Ovos de helmintos = 0 a 1.000 org/100MI

Fonte: BRASIL, 2008.

A legislação brasileira dispõe de normas e padrões que regulamentam o lançamento de águas residuárias em corpos hídricos receptores. O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, publicou a Resolução 357/05 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Dentre outras considerações, a Resolução 357/05, classifica as águas em doces, salobras e salinas e considera essa classificação como essenciais à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes.

O estabelecimento de condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos garante que os padrões de qualidade a serem obedecidos no corpo receptor serão os que constam na classe na qual o corpo receptor estiver enquadrado. Neste sentido, cita-se também a Resolução 430/11 que altera parcialmente e complementa a Resolução 357/05, dispondo de condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores.

Além da resolução federal, alguns estados brasileiros, como São Paulo e Minas Gerais, também dispõem de padrões que podem restringir ainda mais alguns valores de lançamento de alguns parâmetros, como a DBO do efluente que é limitada em 60 mg/L nos referidos estados, sendo este parâmetro o de maior destaque para órgãos de controle ambiental (FAGUNDES, 2010).

A legislação federal classifica os seus corpos de água, em função de seus usos preponderantes, tendo sido estabelecidos, para cada classe de água, os padrões de qualidade a serem obedecidos. A maioria dos corpos d'água receptores, no Brasil, se enquadra na classe 2 (KATO; SOBRINHO, 1999) em que destacam-se alguns parâmetros da Resolução CONAMA 357/2005, como padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor, como indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Principais parâmetros a serem mantidos em corpos receptores de classe 2.

PARÂMETRO	VALOR LIMITE NO CORPO RECEPTOS
DBO₅	até 5 mg/L O ₂ , para Temperatura a 20°C
OD	superior a 5 mg/L O ₂
Fósforo	até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários
Nitrogênio Amoniacal	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH > 8,5

Fonte: BRASIL, 2005.

Em casos em que a destinação final do efluente seja seu reaproveitamento na agricultura e na piscicultura a Organização Mundial da Saúde (OMS) define valores limites para a presença de coliformes fecais e ovos de helmintos, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Padrões para utilização de efluente na agricultura e/ou piscicultura.

DESTINO	VALOR LIMITE PARA COLIFORMES FECAIS (CF)	VALOR LIMITE PARA OVOS DE HELMINTOS
Irrigação irrestrita	≤ 103 CF.100 mL ⁻¹	<1 ovo de helminto.L ⁻¹ ou <0,1 ovos helmintos.L ⁻¹ em situações de risco mais evidente
Irrigação restrita	≤ 105 CF.100 mL ⁻¹	<1 ovo de helminto.L ⁻¹
Piscicultura	≤ 103 CF.100 mL ⁻¹ no tanque de piscicultura ou ≈104 CF.100 mL ⁻¹ no afluente ao tanque de piscicultura	ausência de ovos de helmintos (trematóides)

Fonte: WHO, 1987¹ *apud* Bastos *et al.*, 2005.

¹WHO - World Health Organization. Health guidelines for wastewater use in agriculture and aquaculture. Geneva: WHO, 1989 (Technical Report Series, 778).

Para que os processos de tratamento ocorram adequadamente, e o efluente atenda aos padrões estabelecidos para seu corpo receptor, é necessário que os sistemas sejam projetados corretamente, para tanto, existem normas que regulamentam esses projetos, das quais cita-se a ABNT-NBR 12209/11 que define a elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitário, esta norma define, dentre outros sistemas, como deve proceder o tratamento do esgoto em reatores UASB.

Além da norma já mencionada, cabe citar outras normas que auxiliam na elaboração de projetos de esgotamento sanitário tais como: ABNT-NBR 9648/86, 9649/86, 12207/92, 12208/92. Estas normas conduzem à concepção e execução do projeto, de forma a contribuir para um melhor tratamento do esgoto, resultando em efluentes de maiores qualidades de modo a atender aos padrões de lançamento em corpos receptores.

3.4 Características de Tratamento de Águas Residuárias

Von Sperling (1996), cita que os aspectos importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgotos são: eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custos de operação, custos de implantação, sustentabilidade e simplicidade. Cada sistema deve ser analisado individualmente, adotando-se a melhor alternativa técnica e econômica.

3.4.1 Tipos de Tratamento

Existem diferentes tipos de tratamento, a escolha do processo de tratamento de esgoto pode basear-se em aspectos técnicos e operacionais, baseando-se principalmente no nível de eficiência desejado, pois a qualidade do efluente final deve ser compatível com a necessidade do corpo receptor, devem ser verificados a disponibilidade de área para sua implantação, o custo e a complexidade de implantação e operação de cada processo, as condicionantes ambientais relativas à locação da unidade, na produção e disposição de lodos e na dependência de insumos externos (BRASIL, 2009).

Nunes (2012), classifica os processos de tratamento de águas residuárias em dois tipos, físico-químicos e biológicos, descrevendo-os da seguinte forma:

a) Processos Físico-Químicos

▪ **Processos Físicos**

São processos de tratamento em que se aplicam fenômenos de natureza física, tais como: gradeamento, peneiramento, sedimentação, floculação, flotação, decantação, filtração, osmose reversa, resfriamento, dentre outros.

▪ **Processos Químicos**

São processos conseguidos através da aplicação de produtos químicos ou de reações e interações químicas, tais como: coagulação, correção de pH (neutralização), equalização (homogeneização), precipitação, oxidação, redução, adsorção, troca iônica, eletrodialise, desinfecção, dentre outros.

b) Processos Biológicos

São processos de tratamento que são conseguidos através de atividades biológicas ou bioquímicas, tais como: remoção de matéria orgânica (DBO), remoção de nitrogênio e fósforo. Os processos para remoção de matéria orgânica, por exemplo, ocorrendo através da oxidação bioquímica podem ser aeróbios, anaeróbios ou facultativos, tais como: lodos ativados e reatores anaeróbios.

3.5 Sistemas Biológicos de Tratamento Anaeróbio

O tratamento biológico de esgoto como o próprio nome indica, ocorre por mecanismos biológicos, ou seja, através da atividade de microrganismo. Estes processos biológicos reproduzem os processos naturais que ocorrem em um corpo hídrico após o lançamento de despejos. No processo natural, a matéria orgânica lançada no corpo d'água, é convertida em produtos mineralizados inertes por mecanismos puramente naturais. Com a intervenção da tecnologia, as estações de tratamento de esgoto conseguem desenvolver os mesmos fenômenos básicos ocorrem no ambiente natural, com o intuito de fazer com que o processo de autodepuração se desenvolva em condições controladas e em taxas mais elevadas (VON SPERLING, 1996).

A digestão anaeróbia é um processo biológico de decomposição de matéria orgânica que, através do metabolismo dos microrganismos, é convertida em lodo biológico, líquido e

gases (COSTA; GIORDANO-FILHO; GIORDANO, 2014). Neste processo de digestão, há um grupo diversificado de microrganismos que convertem a matéria orgânica em amônia, gás carbônicos, metano, dentre outros, ocorrendo uma série de reações intermediárias até a etapa final (NUNES, 2012).

3.5.1 Digestão Anaeróbia

Lima (2006) e Nunes (2012), descrevem que a digestão anaeróbia pode ser dividida em quatro fases bem caracterizadas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Uma via alternativa pode ocorrer quando na presença de sulfato, denominada de sulfetogênese, assim, as etapas podem ser descritas da seguinte forma:

- **Hidrólise**

As bactérias fermentativas hidrolíticas atuam nesta etapa excretando enzimas para provocar a conversão de materiais particulados complexos em substâncias dissolvidas. Assim, as proteínas se convertem em aminoácidos, carboidratos em açúcares solúveis e lipídeos em ácidos graxos de cadeias de carbono.

- **Acidogênese**

Nesta fase, as substâncias oriundas da etapa anterior são metabolizadas até produtos mais simples pela atividade de bactérias fermentativas acidogênicas, originando produtos como ácidos graxos voláteis, álcoois e ácido lático e compostos inorgânicos como hidrogênio, gás carbônico, amônia, sulfeto de hidrogênio e novas células. Embora o processo seja realizado por microrganismos estritamente anaeróbios, cerca de 1% é facultativa, podendo metabolizar o material orgânico através da oxidação.

- **Acetogênese**

Esta etapa consiste na metabolização de alguns produtos da etapa anterior pelo grupo de bactérias acetogênicas, obtendo-se acetato, dióxido de carbono e hidrogênio. Destes produtos apenas o acetato e o hidrogênio são utilizados diretamente pelas bactérias metanogênicas sendo que 50% da DQO biodegradável são convertidas em propionato e butirato, que pela ação das bactérias acetogênicas são convertidos posteriormente em acetato e hidrogênio.

- **Metanogênese**

As bactérias metanogênicas utilizam os produtos gerados na fase anterior para formação do principal produto da digestão anaeróbia, que é o gás metano (CH_4), além de dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). A produção de metano ocorre pela redução do ácido acético e também pela redução do gás carbônico.

- **Sulfetogênese**

Esta fase pode ocorrer quando na presença de sulfatos, formando H_2S no meio, através da atuação de bactérias redutoras de sulfato que competem com as metanogênicas pelo mesmo substrato, o acetato.

O fluxograma da Figura 1 mostra as etapas da digestão anaeróbia:

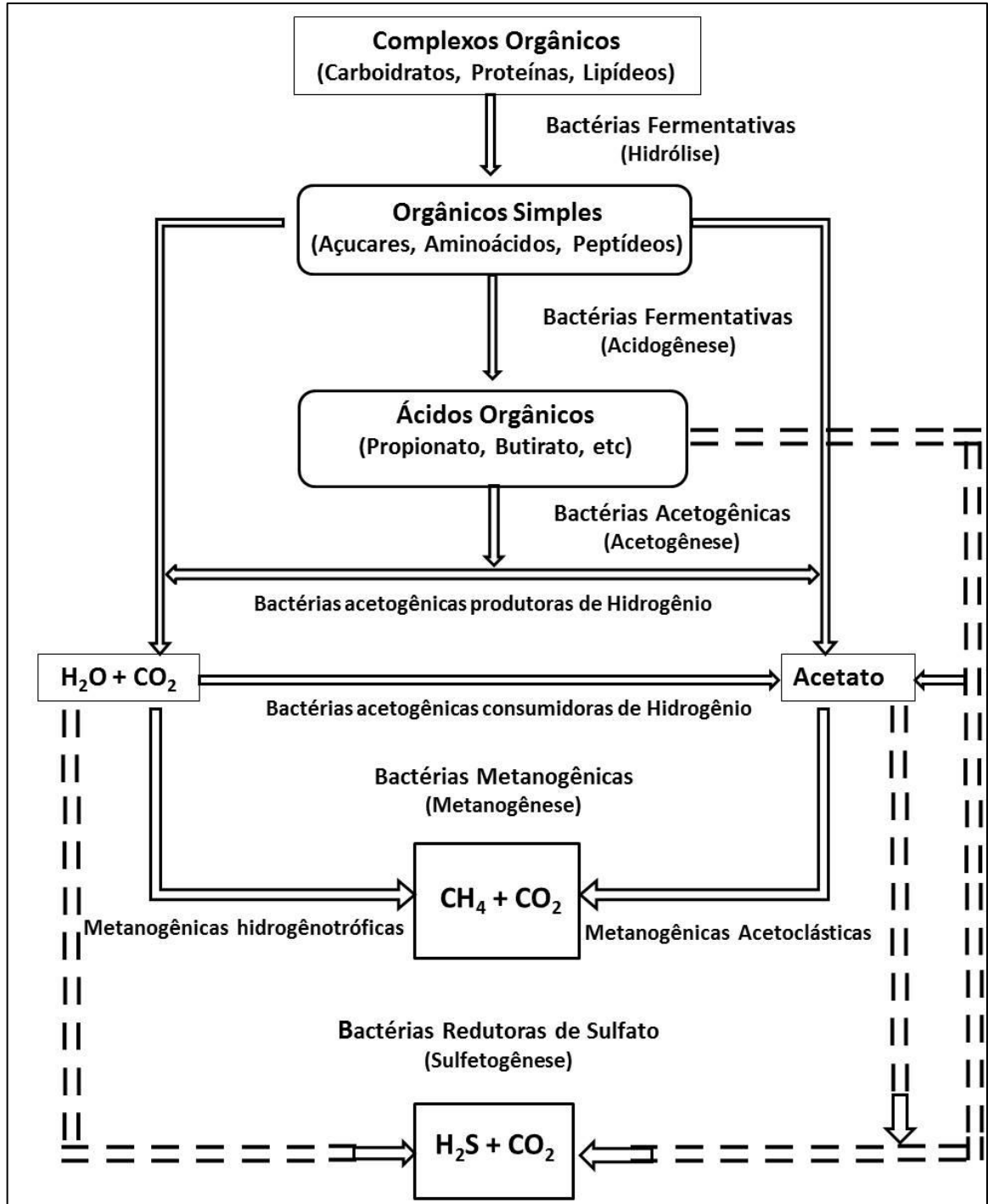


Figura 1: Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia, com redução de sulfato. Fonte: CHERNICHARO, 2010.

3.5.2 Sistemas Convencionais e de Alta Taxa

Chernicharo (2010) descreve os principais sistemas anaeróbios utilizados para o tratamento de esgotos, classificando-os em dois grandes grupos: sistemas convencionais e sistemas de alta taxa, citam-se ainda, os sistemas combinados que por constituírem-se de uma alternativa de pós-tratamento podem ser utilizados em conjunto aos sistemas anaeróbios. Estes principais sistemas são caracterizados a seguir:

a) Sistemas Convencionais

Os sistemas convencionais constituem-se de reatores que são operados com baixas cargas orgânicas volumétricas, considerando que os mesmos não dispõem de mecanismos de retenção de grandes quantidades de biomassa de elevada atividade e elevados tempos de detenção hidráulica. Dentre os sistemas convencionais, citam-se:

- Digestores de lodo;
- Tanques sépticos;
- Lagoas anaeróbias.

b) Sistemas de Alta Taxa

Os sistemas de alta taxa recebem essa denominação por serem reatores operados com baixos tempos de detenção hidráulica e elevados tempos de retenção celular. Diversos tipos de reatores de altas taxas podem ser utilizados no tratamento de esgoto, sendo classificados como:

- Sistemas com crescimento bacteriano aderido: reatores anaeróbios de leito fixo, leito rotatório, leito expandido e leito fluidificado;
- Sistemas com crescimento bacteriano disperso: reatores anaeróbios de dois estágios, de chicanas, de fluxo ascendente e manta de lodo, de leito granular expandido e reatores com recirculação interna.

c) Sistemas Combinados

Considerando os principais sistemas anaeróbios utilizados no tratamento de despejos sólidos e líquidos, têm-se os sistemas convencionais e de alta taxa. Na maioria das aplicações, os sistemas anaeróbios devem ser encarados como uma primeira etapa do tratamento, uma vez que estes não são capazes de produzir um efluente com elevado grau de qualidade, entretanto dependendo das características do esgoto e dos requisitos de qualidade do lançamento final, os sistemas anaeróbios podem se constituir de uma etapa completa de tratamento. Podendo

ocorrer também a combinação de sistemas, incorporando-se o sistema anaeróbio como primeiro estágio de tratamento seguido de uma unidade de pós-tratamento, incluindo tanto sistemas aeróbios quanto anaeróbios, assim citam-se:

- Reator UASB + filtro anaeróbio;
- Reator UASB + reator anaeróbio de leito expandido;
- Reator UASB + lagoa de sedimentação;
- Reator UASB + lagoa facultativa;
- Reator UASB + lagoa de maturação;
- Reator UASB + aplicação no solo;
- Reator UASB + filtro biológico;
- Reator UASB + filtro aerado submerso e
- Reator UASB + lodos ativados.

3.6 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB)

De acordo com Costa, Barbosa Filho e Giordani (2014), no reator UASB o processo utilizado visa a segregação dos gases, sólidos e líquidos. Na literatura inglesa os “Reatores de Manta de Lodo” são especificados como “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” comumente denominados pela sigla “UASB”. No Brasil, são também conhecidos com as siglas DAFA ou RAFA, ou seja, Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo, respectivamente (VON SPERLING, 2005; CHERNICHARO, 2010).

A atividade biológica que ocorre nos sistemas anaeróbios é utilizada no processo de digestão da matéria orgânica contida no esgoto sanitário. De forma semelhante ao que ocorre em fossas sépticas, o sistema conjugado, utiliza-se de uma única unidade em seu interior onde se processam os fenômenos de decantação das águas e a digestão anaeróbia do substrato orgânico. No caso de tratamento por UASB, o sistema é precedido por um tratamento preliminar, onde os efluentes sanitários são submetidos a um gradeamento e desarenação (COSTA, BARBOSA-FILHO, GIORDANO, 2014), conforme mostra o esquema da Figura 2.

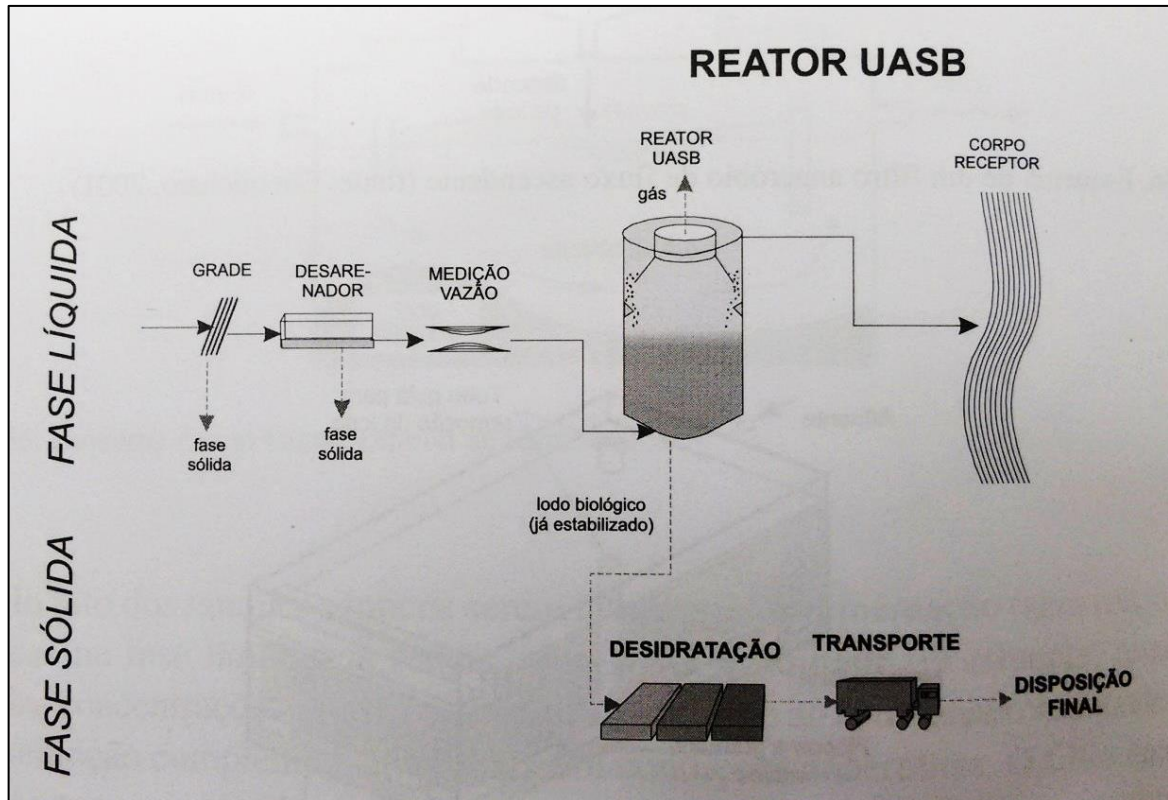


Figura 2: Fluxograma típico de um sistema de reator de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB). Fonte: VON SPERLING, 2005.

Logo após passar pelo gradeamento e o desarenador, os efluentes sanitários são encaminhados à parte inferior do reator anaeróbico de fluxo ascendente, quando o líquido entra em contato com o leito de lodo, ocorrem as atividades anaeróbicas resultando na formação de gases. Cabe ressaltar que a biomassa cresce dispersa no meio, e não aderida a um meio suporte especialmente incluído, formando pequenos grânulos, a partir da aglutinação de diversas espécies microbianas, e estes grânulos, servem de meio suporte para outras bactérias. A concentração de biomassa é bastante elevada. A parte superior dos reatores de manta de lodo apresenta uma estrutura que possibilita a separação e o acúmulo de gases e de separação e retorno dos sólidos (biomassa), esta estrutura é denominada separador trifásico, por segregar sólidos, líquidos e gases (VON SPERLING, 2005). A Figura 3 apresenta o esquema de funcionamento de um reato UASB.

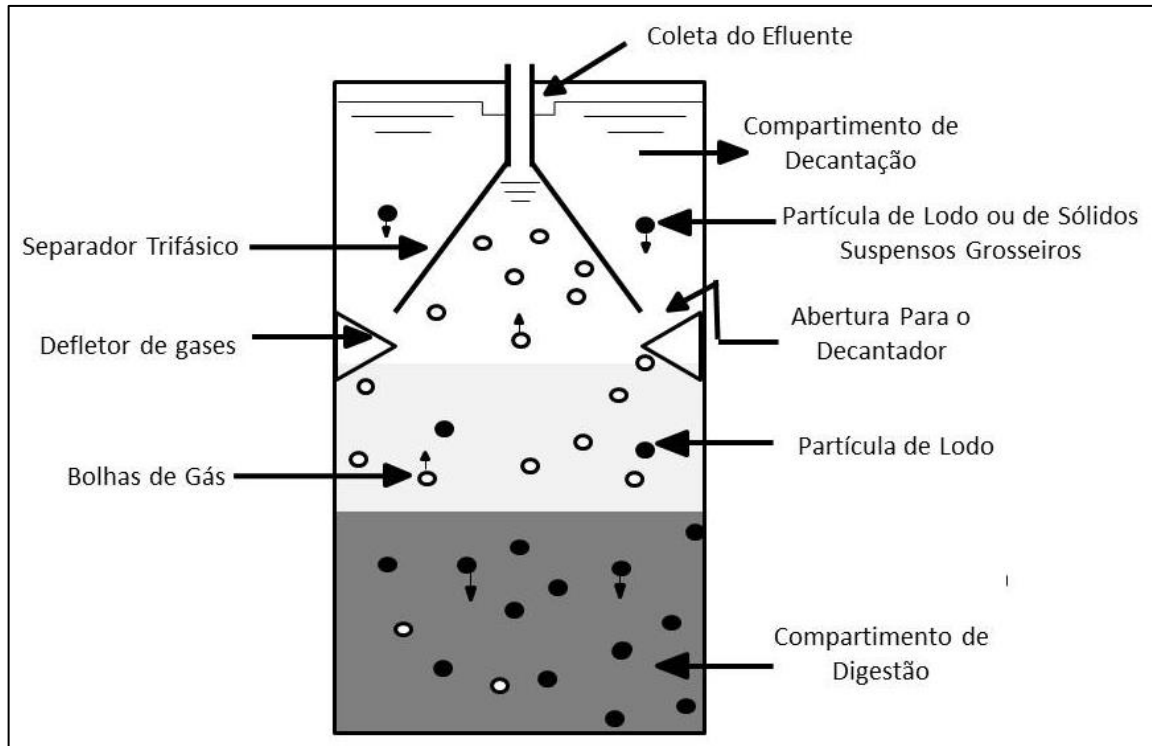


Figura 3: Esquema do funcionamento de um reator UASB. Fonte: CHERNICHARO, 2010.

3.6.1 Remoção de Constituintes de Esgoto

Nos reatores UASB, praticamente não se observa nenhuma remoção de nitrogênio, ocorrendo uma intensa mineralização do nitrogênio orgânico. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, em condições anaeróbias, leva a hidrólise de proteínas e da uréia presentes na matéria orgânica, com conseqüente elevação nas concentrações de nitrogênio amoniacal, resultando na redução do nitrogênio orgânico (N-org) do esgoto bruto (ASSUNÇÃO, 2009).

Chernicharo (2010), relata que na digestão anaeróbia a degradação de carboidratos, proteínas e lipídeos resulta na formação de ácidos graxos voláteis como produtos intermediários. Sendo os ácidos voláteis de cadeia curta, como o fórmico, acético, propiônico e butírico, os componentes mais importantes gerados a partir da decomposição bioquímica da matéria orgânica. São a partir dos ácidos voláteis que parte do metano é produzido, através da conversão pelas bactérias metanogênicas. Para reatores operando de maneira estável, as proporções típicas do biogás variam entre 70 a 80% de metano e 20 a 30% de gás carbônico.

O uso de reatores UASB sem pós-tratamento, quando bem operados, promove uma redução de DBO na média de 70% no tratamento de esgoto doméstico (VON SPERLING, 2005). Jordão e Pessoa (2005), descrevem que o bom projeto de reator UASB costuma obter um efluente com eficiência média da ordem de 65% de remoção de DQO e de 70% na remoção de DBO.

Segundo Chernicharo *et al.*(2001) a remoção de coliformes nos reatores anaeróbios tem baixa eficiência, usualmente na ordem de uma unidade logarítmica e há poucos estudos que abordam a remoção de helmintos, vírus e protozoários nesses reatores.

Apesar da alta eficiência, na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, os reatores UASB dificilmente produzem efluentes que atendam os requisitos legais de lançamento. Assim, quase sempre é necessária a realização de um pós-tratamento (VON SPERLING, 2005).

3.6.2 Fatores que Afetam a Remoção Biológica dos Constituintes

Diferentes autores relatam os requisitos e os fatores ambientais que interferem nos processos da digestão anaeróbia e conseqüentemente afetam a remoção dos constituintes do esgoto, assim tem-se:

▪ Nutrientes

As bactérias que atuam no processo de digestão anaeróbia carecem de determinados nutrientes pra que possam se desenvolver de forma satisfatória no tratamento, assim as necessidades nutricionais das populações microbianas são estabelecidas em função da composição química das células, tendo em maior grau de importância o nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, entre outros (COSTA; BARBOSA-FILHO; GIORDANO, 2014).

▪ Temperatura

Segundo Chernicharo (2010), embora a temperatura ideal de operação de reatores anaeróbios encontre-se na faixa de 30 a 35°C, nas condições ambientais brasileiras o processo ocorre numa faixa um pouco abaixo da ótima, dependendo da localidade, pode ocorrer entorno de 20 a 26°C. Nestes casos, é necessário que a partida dos reatores UASB se faça através da inoculação de lodo anaeróbio, de preferência aclimatado ao tipo de esgoto. Sendo

que mudanças bruscas na temperatura podem levar a um desbalanceamento entre as bactérias acidogênicas e bactérias metanogênicas.

A diminuição da temperatura pode provocar aumento do pH, pois a concentração de DQO digerida, provavelmente diminuirá para temperaturas mais baixas, outra consequência da queda na temperatura é a retirada do reator de operação até que ocorra a redução dos ácidos voláteis. (COSTA; BARBOSA-FILHO; GIORDANO, 2014; VAN HAANDEL; LETTING, 1994).

▪ **pH, Alcalinidade e Ácidos Voláteis**

Os ácidos carbônico e voláteis são fatores que podem afetar o pH, sendo que a alcalinidade pode ocasionar o tamponamento do sistema. A mudança na escala do pH pode afetar a atividade microbiana. O crescimento ótimo das bactérias metanogênicas situa-se na faixa de pH entre 6,3 e 7,8 sendo muito sensíveis as variações de pH, enquanto que para as bactérias produtoras de ácidos, o pH ótimo situa-se entre 5,0 e 6,0 tendo uma tolerância maior as variações de pH. (NUNES, 2012).

▪ **Substancias Tóxicas**

As substâncias tóxicas podem influenciar na taxa de digestão anaeróbia, Nunes (2012) cita que devem ser considerados os seguintes aspectos: concentração para causar toxicidade, se é reversível ou bactericida, potencial de aclimatação dos microrganismos, tendo como principais substancias tóxicas, sais, amônia, sulfatos e metais pesados.

Chong *et al.*, (2012) menciona que a boa interação entre os fatores que afetam a digestão anaeróbia do esgoto, leva ao aumento da qualidade dos produtos, como o biogás, o bio sólido e dos efluentes, mas que mesmo assim, a qualidade final dos efluentes de reatores anaeróbios geralmente não atende às legislações, sendo necessária a existência de um pós-tratamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento da Pesquisa

O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado a partir da divisão do estudo em quatro etapas, sendo apresentadas na imagem abaixo (Figura 4).



Figura 4: Fluxograma de atividades.

4.2 Tipo de Pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido pelo método de pesquisa de abordagem qualitativa, onde se classifica, quanto ao seu objetivo, como uma pesquisa exploratória, que segundo Gil (2002) tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, geralmente envolvendo levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão, sendo classificado também como de pesquisa bibliográfica.

4.3 Procedimentos da Pesquisa

Os procedimentos inerentes às pesquisas bibliográficas puderam ser desenvolvidos de acordo com o descrito por Fonseca (2002), a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos e páginas de web sites.

4.4 Coleta e Análise de Dados

Para a coleta de dados foram utilizadas fontes secundárias, que segundo Marconi e Lakatos (2007) podem abranger toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, etc. Os principais descritores buscados na coleta de dados foram: tratamento de esgoto; sistemas de tratamentos anaeróbios; digestão anaeróbia; sistemas de alta taxa e reator UASB. Para a análise e interpretação dos dados foram avaliados a utilização de reator de manta de lodo no sistema de tratamento anaeróbio através de estudo das vantagens e desvantagens deste sistema, dos produtos gerados por este reator e a verificação de sistemas de pós-tratamento.

4.5 Apresentação de Resultados

A discussão e entendimento dos resultados serão realizados de forma a seguir o objetivo proposto da pesquisa para que as conclusões se tomem razoavelmente construtivas e verificáveis (GIL, 2010).

5 DISCUSSÃO

5.1 Vantagens e Desvantagens dos Reatores UASB

Há diversas variantes de reatores anaeróbios, um dos tipos mais utilizados para o tratamento de esgoto doméstico é o reator UASB (VON SPERLING, 2005). De acordo com Chernicharo (2010) é possível elencar algumas vantagens e desvantagens da utilização de reatores anaeróbios de manta de lodo, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3: Vantagens e desvantagens dos reatores UASB.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Sistema compacto, com baixa demanda de área;	Possibilidade de emissão de maus odores;
Baixo custo de operação e manutenção;	Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
Baixa produção de lodo;	Elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema;
Baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada quando for o caso);	Necessidade de uma etapa de pós-tratamento;
Satisfatória eficiência de remoção de DBO/DQO, da ordem de 65-75%;	
Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações;	
Elevada concentração de lodo excedente;	
Boa desidratabilidade do lodo;	

Fonte: CHERNICHARO, 2010.

Os reatores anaeróbios apresentam boa vantagem no que se refere à baixa demanda de área por ser um sistema compacto. Von Sperling (2005) explica que isso se deve a elevada concentração de biomassa no reator, justificando a denominação de manta de lodo e que devido a esta elevada concentração, o volume requerido para os reatores UASB é bastante reduzido.

O baixo custo na operação e na manutenção dos reatores de manta de lodo torna este sistema atrativo, Lima (2006) e Chernicharo (2010) destacam que o projeto de reatores UASB

é bastante simples e não demanda a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para a retenção da biomassa.

A economia na construção do reator pode ser alcançada através do tempo de Retenção de Retenção Celular (TRC) e do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) do afluyente. Jordão e Pessoa (2005) e Costa, Barbosa Filho e Giordano (2014) explicam essa economia pela grande retenção de sólidos biológicos que pode diminuir a produção de lodo a decantar, bem como, pelo baixo tempo de detenção hidráulica.

A baixa produção de lodo gerada no reator UASB torna-se uma vantagem atrativa. Chernicharo (2010), destaca que os sistemas anaeróbios produzem de 5 a 10% de lodo, enquanto os sistemas aeróbios geram de 50 a 60%. Existem estudos que evidenciam essa vantagem, como o de Gomes e Bernardino (2013) que compararam a produção de lodo de duas ETE's, sendo que uma opera pela tecnologia aeróbia de tratamento de Lodos Ativados por aeração prolongada e a outra pelo processo de reator anaeróbio de manta de lodo, e comprovam o que a literatura já descreve, que os reatores anaeróbios produzem menos lodo que os reatores aeróbios. Os autores salientam que esse fato já era esperado pelo fato de que a digestão aeróbia libera maior energia e com isso há um maior crescimento microbiano.

A eficiência satisfatória na remoção de DBO e DQO pode ser comprovada em trabalhos como os de Versiani (2005) que avaliou remoção de DQO em ate 86% e Santos *et al.* (2012) que alcançou remoção de até 76% de DBO e DQO do esgoto.

Jordão e Pessoa (2005), descrevem que o lodo retirado como excedente no processo de tratamento, geralmente está bem estabilizado, podendo ser diretamente desidratado, apresentando boas características de secagem.

No processo de tratamento, os gases gerados no reator podem ser liberados na atmosfera, configurando uma desvantagem para o sistema. Jordão e Pessoa (2005) ressaltam que em digestores circulares, não cobertos, estes gases podem ser liberados, exalando mau cheiro, porém em digestores retangulares, cobertos pode-se fazer a queima do gás, evitando a liberação em forma mais poluente e evitando a produção de maus odores, este fato corrobora com o que Costa, Barbosa Filho e Giordano (2014) explicam, em que um sistema bem projetado e com parâmetros biológicos controlados pelos projetos de engenharia evita-se a emanção desses maus odores.

Chernicharo *et al.* (1999), apresentando sobre as desvantagens dos reatores UASB, lembra que a presença de enxofre e de materiais tóxicos em esgoto doméstico, é relativamente baixa, sendo facilmente tolerável no sistema de tratamento. O mesmo autor aponta que a

partida do reator, realmente pode ser lenta, mas apenas em casos onde não há utilização de inóculos.

Outra desvantagem é a necessidade de pós-tratamento do efluente do reator UASB, isso ocorre devido à remoção de matéria orgânica, microrganismos e nutrientes que geralmente não atendem aos padrões de lançamento do efluente estabelecidos pela legislação estadual e federal (CHERNICHARO *et al.*, 1999; KATO; SOBRINHO, 1999). Corroborando com essas informações, cita-se o trabalho desenvolvido por Mascarenhas, Von Sperling e Chernicharo (2004), que avaliaram o desempenho de um sistema de pós-tratamento, para atender a legislação federal brasileira e estadual de Minas Gerais, obtendo resultados positivos na remoção de DQO.

5.2 Geração de Subprodutos

O tratamento de esgoto além de resultar na produção de efluente tratado, tende a gerar alguns subprodutos na forma sólida, semissólida, líquida e gasosa, como descreve Azevedo (2014), destacando que os principais subprodutos passíveis de reaproveitamento são a água de reuso, bio-sólidos e biogás. O Quadro 4 mostra diferentes pesquisas que demonstram resultados da viabilidade do reaproveitamento de subprodutos gerados pelos reatores UASB

Quadro 4: Experiências de reaproveitamento de produtos e subprodutos gerados pelo tratamento anaeróbico em reator UASB.

PRODUTO / SUBPRODUTO	REAPROVEITAMENTO	REFERÊNCIA
Efluente	Fertirrigação: agricultura;	Lima <i>et al.</i> (2005), Silva <i>et al.</i> (2005), Santos <i>et al.</i> (2006) Costa <i>et al.</i> (2009), Melo (2013)
	Agricultura; Piscicultura; Produção animal (irrigação de forrageiras);	Bastos <i>et al.</i> (2005)
Biossólido	Condicionador e adubo (fertilizante)	Silva <i>et al.</i> (2010)
	Adubo: agricultura, recuperação de áreas degradadas	Costa <i>et al.</i> (2009), Souza (2010), Gomes e Bernardino (2013)
	Combustível (substituindo lenha e carvão)	Rosa <i>et al.</i> (2016)
Biogás	Como energia elétrica	Lobato (2011), Soares (2011), Billota e Ross (2016), Rosa <i>et al.</i> (2016)

A baixa eficiência do reator UASB, bem como a dos processos anaeróbios, na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, pode apresentar benefícios sobre o uso do efluente na irrigação, pois estes nutrientes podem ser utilizados na fertirrigação, como destacam os trabalhos de Lima *et al.* (2005), Silva *et al.* (2005), Santos *et al.* (2006) Costa *et al.* (2009), Melo (2013) e Bastos *et al.* (2005) listados no Quadro 4. É necessário mencionar que para utilizar efluentes ou biossólidos como na fertirrigação ou como adubo na agricultura, respectivamente, é importante que sejam removidos os microrganismos patogênicos desses subprodutos, de modo a evitar potenciais riscos às pessoas que entrem em contato com o efluente tratado, e risco de contaminação à planta cultivada, como descreve Azevedo (2014).

A utilização do efluente tratado na agricultura é uma tecnologia que se apresenta como uma medida de forma de combate à poluição e incentivo à produção agrícola, de modo a promover o aumento da produtividade agrícola sem graves danos ambientais, considerando que a fertirrigação disponibiliza nutrientes advindos do próprio esgoto, como apontam Santos *et al.* (2006).

Existem várias alternativas tecnicamente aceitáveis para o tratamento e disposição final do lodo, como mostram os estudos desenvolvidos por Silva *et al.* (2010), Costa *et al.* (2009), Souza (2010), Gomes e Bernardino (2013) e Rosa *et al.* (2016) elencados no Quadro 4, estes trabalhos avaliaram o reaproveitamento do biossólido gerado a partir do tratamento de esgoto em reatores UASB como condicionador ou adubo na agricultura, essas pesquisas corroboram com as informações de Ferreira e Andreoli (1999), que explicam que dentre técnicas de tratamento e disposição final do lodo estão a digestão anaeróbia que pode ser seguida pela destinação final em aterros sanitários exclusivos, seguida de outras alternativas como o *landfarming*, aterro sanitário, a incineração ou a reciclagem agrícola.

Após tratado e processado, o lodo é denominado biossólido e adquire características que permitem sua utilização agrícola de maneira racional e ambientalmente segura, pois possui alguns nutrientes essenciais às plantas, é rico em matéria orgânica (BARBOSA; TAVARES-FILHO, 2006). Dentre os sistemas de desinfecção para a adequação do biossólido ao uso na agricultura, citam-se a compostagem, calagem, radiação e métodos térmicos, sendo mais comum a utilização dos dois primeiros (ILHENFELD, 1999).

Embora a produção de gases possa indicar desvantagem sobre o uso de reatores UASB, o biogás gerado também pode ser destinado à queima ou ao reaproveitamento. O trabalhos Lobato (2011), Soares (2011), Billota e Ross (2016) e Rosa *et al.* (2016) apresentados no Quadro 4, evidenciam o que Coelho *et al.* (2006) explica, que diversas tecnologias são desenvolvidas para efetuar a conversão energética do biogás. Considerando que o aproveitamento do biogás, para geração de energia elétrica ocasiona uma redução no potencial de poluição do meio ambiente, uma vez que é composto por acentuada concentração de gás metano (CH_4), cerca de 24 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2), no que se refere ao efeito estufa.

5.3 Pós-Tratamento

Diferentes autores esclarecem em seus trabalhos que apesar de suas grandes vantagens, os reatores anaeróbios dificilmente conseguem produzir efluentes que atendam aos padrões das legislações ambientais estaduais e federais como a CONAMA 357/05, ressaltando a importância do pós-tratamento (VON SPERLING, 2005; COSTA; BARBOSA-FILHO; GIORDANO, 2014).

Segundo Jordão e Pessoa (2005) o tratamento complementar do esgoto efluente do reator anaeróbio é indicado quando o corpo receptor requer um efluente com oxigênio dissolvido, quando o corpo receptor ou a legislação requerem um efluente com qualidade superior à alcançada pelo reator em termos de DBO e DQO e quando uma remoção específica de nutrientes ou de organismos patogênicos é requerida.

O processo de tratamento em reator de manta de lodo pode ser prosseguido tanto de outro sistema anaeróbio quanto de um sistema aeróbio, como apresenta Chernicharo (2010), que cita alguns sistemas que podem ser conjugados ao tratamento do UASB, tais como: reator anaeróbio de leito expandido, lagoa de sedimentação, lagoa facultativa, lagoa de maturação, aplicação no solo, filtro biológico, filtro aerado submerso e lodos ativados.

Diversos estudos são desenvolvidos para melhorar a qualidade do efluente gerado pelos reatores UASB, o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB (2001) reúne uma série de trabalhos realizados com o objetivo de estudar sistemas de pós-tratamento para efluentes de reatores anaeróbios, dentre eles, os reatores UASB. Alguns trabalhos e seus respectivos sistemas para o tratamento de efluentes de sistemas de reatores UASB são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Experiências com sistemas de pós-tratamento de efluente de reator UASB.

PÓS-TRATAMENTO	CONSTITUENTES REMOVIDOS	EFICIÊNCIA	REFERÊNCIA
Lagoa de Polimento	DQO e Coliformes	≤ 67 e $\leq 98,38\%$	Kato e Florêncio (2001)
Lagoas com e sem Chicanas	Ovos de Helmintos	$\geq 98,64\%$ e $\leq 100\%$	Soares <i>et al.</i> (2001)
	Coliformes Fecais	$\geq 97,068\%$ e $\leq 99,878\%$	Cavalcanti <i>et al.</i> (2001)
Filtro Biológico	Algas	Insatisfatória	Monteggia e Zancan-Filho, (2001)
Filtro Biológico de Alta Taxa	DQO, DBO e SST	78, 88 e 84%	Aisse, Jürgensen e Alem-Sobrinho (2001)
Flotação por Ar Dissolvido	DQO, DBO e SST	87, 91, 83%	Aisse e Alem-Sobrinho (2001a)
	Turbidez e DQO	Até 95% e até 88%	Fagundes (2010)
Biofiltro Aerado Submerso	DQO, DBO e SST	81, 88 e 83%	Aisse e Além-Sobrinho (2001b)
	H ₂ S	>99%	Andrade, Silva e Gonçalves (2001)
	DQO	>90%	Giustina, Miranda, Monteggia (2010)
Wetlands	DQO, N e P	Até 86%, 66 e 88%	Sousa <i>et al.</i> (2004)
	DQO, DBO e SST	70, 80, 60%	Calijuri <i>et al.</i> (2009)
	Nutrientes	Insatisfatória	
	Coliformes	$\leq 99,7\%$	
Filtro Anaeróbio (FAN) e Filtro de areia de Fluxo intermitente (FaFint)	DQO	80% (FAN) e 86% (FaFint)	Melo (2013)
	SST	88% (FAN) e 90% (FaFint)	
	SSV	88% (FAN) e 91% (FaFint)	
	Nitrogênio total Kjeldahl (NTK)	86% (FaFint)	
	Ovos de Helmintos	99,5% (FaFint)	
Filtração em areia e carvão ativado	DQO, SS, Turbidez, CF e Ovos de helmintos	89, 95, 95, 95 e 100%	Melo (2014)

Cabe destacar, que os trabalhos apresentados no Quadro 6, avaliaram a eficiência dos sistemas sob condições diferentes, de modo a demonstrar a viabilidade, ou não, da utilização de determinados sistemas no pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.

A diversidade de trabalhos mencionados no Quadro 6, apresentam uma série de possibilidades que podem ser adotadas para alcançar a qualidade desejada do efluente de modo a atender os padrões requeridos para a disposição destes efluentes. Corroborando com os dados de Roque (2010), que aponta que após os resultados alcançados pelos estudos apresentados pelo PROSAB (2001), acerca do pós-tratamento de efluentes de sistemas anaeróbios, foi recorrente a implantação de reatores UASB em municípios dos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Bahia e Rio Grande do Norte. No Rio de Janeiro, por exemplo, alguns dos processos de tratamento utilizados para tratar o esgoto doméstico são os reatores UASB, seguido de unidades de pós-tratamento como os filtros anaeróbios e os biofiltros aerados. Estas informações afirmam o que diversos autores relatam, que o reator de manta de lodo é uma tecnologia atrativa e que vem ganhando destaque no Brasil (LIMA, 2006; CHERNICHARO, 2010).

6 CONCLUSÃO

A partir do levantamento bibliográfico realizado, foi possível elencar os principais aspectos que envolvem o funcionamento dos reatores de manta de lodo, concluindo-se, portanto, que o sistema apresenta atrativas vantagens, constituindo-se de etapa completa ou parte de um sistema de tratamento, apresentando boa relação custo-benefício, além de gerar subprodutos passíveis de reaproveitamento, sendo aplicáveis principalmente na agricultura e na produção de energia, e embora o sistema na maioria dos casos necessite de uma etapa de pós-tratamento, existem estudos que demonstram utilização de diversos sistemas que quando combinados ao reator UASB, conseguem produzir um efluente com qualidade satisfatória que atendem aos padrões da legislação vigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9648*: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9649*: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12207*: Projeto de interceptores de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12208*: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12209*: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

AISSE, M.M.; ALEM SOBRINHO, P. *Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário*. In: CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], 2001a, v.2, p.219-228.

_____. *Avaliação do sistema reator UASB e filtro Biológico aerado submerso para o Tratamento de esgoto sanitário*. In: CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], 2001b, v.2, p.131-140.

AISSE, M.M.; JÜRGENSEN, D.; ALEM SOBRINHO, P. *Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico para o tratamento de esgoto sanitário*. In: CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], 2001, v.2, p.111-118.

ANDRADE NETO, C.O.; CAMPOS, J.R. *Introdução*. In: CAMPOS, J.R. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Rio de Janeiro-RJ: ABES, 1999. Cap. 1, p. 9-36.

ANDRADE, T.; SILVA, H.P.M.; GONÇALVES, R.F. *Uso simultâneo de um biofiltro aerado submerso para tratamento secundário de esgoto sanitário e para biodesodorização de ar atmosférico contendo gás sulfídrico (H₂S)*. In: CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], 2001, v.2, p.141-152.

ASSUNÇÃO, F.A.L. *Estudo de remoção de nitrogênio, com ênfase na volatilização de amônia, em lagoas de polimento de efluentes de reatores UASB tratando esgotos urbanos de Belo Horizonte/MG*. 89p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2009.

AZEVEDO, L.S. *Aproveitamento dos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto de Juiz de Fora*. 79p. Monografia (Graduação). Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora-UFJF, Juiz de Fora, 2014.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. *Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas*. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, n.4, 2006, p.565-580.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; SILVA, C.A.B.; DORNELAS, F.L.; ASSUNÇÃO, F.A.L.; RIOS, E.N.; SILVA, A.F.S.; FREITAS, A.S.; COSTA, G.S. Costa. *Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, 2005, p.164-170.

BILOTTA, P.; ROSS, B.Z.L. *Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 2, p. 275-282, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Resolução Conama 357 de 17 de Março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.* 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 18 de mar. 2005. nº 053, págs. 58-63.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1.* – Brasília: SNSA/MCIDADES, 2008. 72p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. *Programa Nacional de Capacitação de Gestores Ambientais: Módulo Específico Licenciamento Ambiental de Estações de Tratamento de Esgoto e Aterros Sanitários.* – Brasília: MMA, 2009. 67p.

_____. Ministério das Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.* – Brasília: MCIDADES/IBGE, 2010. 219p.

_____. Conselho Nacional de Meio Ambiente - Resolução Conama 430 de 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.* 2011. Diário Oficial da União, Brasília.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014.* Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016, 212 p.

CALIJURI, Maria Lúcia et al. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 3, 2009, p.421-430.

CAVALCANTI, P.F.F.; MAYER, M.G.R.; MOREIRA, E.A.; VAN HAANDEL, A. *Lagoas de polimento para o pós-tratamento de esgoto digerido - parte 2: remoção de patógenos.* In:

CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], 2001, v.2, p.79-86.

CERQUEIRA, R.S. *Pós-tratamento de efluente de lagoa anaeróbia por escoamento superficial no solo*. 172p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura, Campinas, SP, 2004.

CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios*. v.5. Belo Horizonte: 2ª Ed Rev. Ampl. UFMG, 2010, p.588.

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN HAANDEL, A.; AISSE, M.M.; CAVALCANTI, P.F.F. *Reatores anaeróbios de manta de lodo*. In: CAMPOS, J.R. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Rio de Janeiro-RJ: ABES, 1999. Cap. 1, p. 155-198.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A. C.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. *Introdução*. In: CHERNICHARO, C. A. L. *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. PROSAB - Programa de Pesquisa em saneamento Básico, Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Belo Horizonte, v.2, 2001, p.1-12.

CHONG, S., SEN, T. K., KAYAALP, A., ANG, H. M. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – a State-of-the-art review. *Water Res.* v.46, n.11, 2012, p.3434–3470.

COELHO, T.S.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G.; SILVA, O.C.; PECORA, V.; ABREU, F.C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. *Encontro de Energia no Meio Rural*, ano.6, 2006, p.1-9.

COSTA, E.S. *Proposta de Protocolo para Projeto de Engenharia de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo*. 96p. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, F.X.; LIMA, V.L.A.; BELTRÃO, N.E.M.; AZEVEDO, C.A.V.; SOARES, F.A.L.; ALVA, L.D.M. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água

residuária no crescimento do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.6, 2009, p.1-9.

COSTA, E.S.; BARBOSA FILHO, O.; GIORDANO, G. *Reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB): uma abordagem concisa*. Rio de Janeiro: COAMB/FEN/UERJ. Série Temática: Tecnologias Ambientais, v.5, 2014, 121p.

DANTAS, F.V.A.; LEONETI, A.B.; OLIVEIRA, S.V.W.B.; OLIVEIRA, M.M.B. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. *FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão*, v.15, n.3, 2012, p.272-284.

FAGUNDES, T.S. *Uso de polímero natural a base de amido como auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com flotação por ar dissolvido*. 111p. Monografia (Graduação) - Colegiado de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2010.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. *Destino Final do Lodo*. In: ANDREOLI, C.V. *Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, p.18-20.

FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Apostila. Fortaleza: UEC, 2002, 126p.

GALVÃO JUNIOR, A.C. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Revista Panamericana de Saúde Pública*, v.25, n.6, 2009, p.548–556.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002, 178p.

GIL, A. C. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184p.

GIUSTINA, S.V.D.; MIRANDA, L.A.S.; MONTEGGIA, L.O. Remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos por nova configuração de biofiltro aeróbio submerso no pós-tratamento de efluente de reator UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, n.3, 2010, p.257-266.

GOMES, I.H.; BERNADINO, U.B. *estudo comparativo da produção de lodo das estações de tratamento de esgoto de Mulembá e Vale Encantado e avaliação dos custos com sua disposição*. 74p. Monografia (Graduação) - Colegiado de Engenharia Ambiental, Faculdades Integradas Espírito-santenses, Vitória, 2013.

ILHENFELD, R.G.K. *Destino Final do Lodo*. In: ANDREOLI, C.V. *Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, p.27-40.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005, 932p.

KATO, M.T.; FLORENCIO, L. *Pós-tratamento de efluente anaeróbio em Lagoa de polimento*. In: CHERNICHARO, C.A.L. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos*. - Belo Horizonte: [s.n.], v.2, 2001, p.59-68.

KATO, M.T.; SOBRINHO, P.A. *Análise Crítica do Uso de Processo Anaeróbio para Tratamento de Esgotos Sanitários*. In: CAMPOS, J.R. *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. Rio de Janeiro-RJ: ABES, 1999. Cap. 12, p. 301-320.

LIMA, A.B.B.V. *Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial constituído de ozonização em processo biológico aeróbio*. 99p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

LIMA, S.M.S.; HENRIQUE, I.N.; CEBALLOS, B.S.O.; SOUSA, J.T.; ARAÚJO, H.W.C. *Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, 2005, p.21-25.

LINS, G.A. *Impactos ambientais em estações de tratamento de esgotos (ETEs)*. 286p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LOBATO, L.C.S. *Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico*. 187p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2011.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007, 136p.

MASCARENHAS, L.C.A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para pós-tratamento de efluentes de reator UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.9, n.1, 2004, p.45-54.

MELLO, E. J. R. *Tratamento de esgoto sanitário – Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG*. 99p. Monografia (Latu Sensu) - UNIMINAS: Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Uberlândia, 2007.

MELO, J.K.A. *Pós-tratamento de efluente de reator uasb em filtro anaeróbio submerso e filtro de areia de fluxo intermitente*. 74p. Dissertação (Mestrado) – Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, 2013.

MELO, A.R.B. Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado. 69p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós- graduação em Engenharia Civil, Recife, 2014.

METCALF & EDDY. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. – 5 ed. – Porto Alegre: AMGH, 2016, 1980p.

MONTEGGIA, L.O.; ZANCAN FILHO, L.C. *Remoção de algas de lagoas de alta taxa por Filtração biológica para pós-tratamento de reatores anaeróbios*. In: CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], 2001, v.2, p.103-110.

NUNES, J. A. *Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 3ª ed – Aracajú: Gráfica Editora J. Andrade, 2012, 315p.

RIBEIRO, J.W.; ROOKE, J.M.S. *Saneamento Básico e Sua Relação Com o Meio Ambiente e a Saúde Pública*. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Colegiado de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

ROQUE, O.C.C. *Tratamento de Esgotos e Água de Reuso*. In: RIO DE JANEIRO. Secretaria de Meio Ambiente – SMA. *TEORIA E PRÁTICAS EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS NO BRASIL*. Rio de Janeiro: ICLEI-Brasil. Seção II, 2010, p.84-112.

ROSA, A.P.; LOBATO, L.C.S.; BORGES, J.M.; MELO, G. C. B.; CHERNICHARO, C.A.L. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.21, n.2, 2016, p.1-14.

SAMUEL, P.R.S. *Alternativas Sustentáveis de Tratamento de Esgotos Sanitários Urbanos, Através de Sistemas Descentralizados, Para Municípios de Pequeno Porte*. 169p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SANTOS, K. D., HENRIQUE, I. N., SOUSA, J. D.; LEITE, V. D. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. *Revista de biologia e ciências da terra*, n.1, 2006, p.1-7.

SANTOS, V.S.; SILVA, L.M.M.; SOUSA, F.C.; SANTOS, D.S.; BRITO, A.S. Avaliação da eficiência na remoção de DQO E DBO em um reator UASB de fluxo ascendente e manta de lodo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.2, 2012, p.16-20.

SILVA, V.F.; SOUSA, J.T.; VIEIRA, F.F.SANTOS, K.D. Tratamento anaeróbio de o anaeróbio de esgoto doméstico para fertirrigação esgoto doméstico para fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, 2005, p.186-190.

SILVA, P.R.D.; LANDGRAF, M.D.; ZOZOLOTTO, T.C.; REZENDE, M.O.O.; PELATTI, I. Estudo preliminar do vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico e solo. *Eclética Química*, v.35, n.3, 2010, p.1-5.

SOARES, A.M.E.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L.; BRITO, L.H.C.; ZERBINA, M.C.M.; BARCELLOS, F.N.M. *Avaliação da remoção de patógenos em duas lagoas de polimento com diferentes relações geométricas tratando o efluente de um reator UASB compartimentado*. In: CHERNICHARO, C.A.L. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. - Belo Horizonte: [s.n.], v.2, 2001, p.87-96.

SOARES, C.F. *Análise da viabilidade do uso de biogás gerado em reator UASB para geração de energia elétrica*. 65p. Monografia (Graduação) - Colegiado de Engenharia Ambiental, Faculdade Itabirana de Desenvolvimento das Ciências e Tecnologias, Itabira, 2011.

SOUSA, J. T. D.; VAN HAANDEL, A.; LIMA, E. P. D. C.; HENRIQUE, I. N. (2004). Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.9, n.4, 2004, p.285-290.

SOUZA, M. *Compostagem do lodo gerado por reator UASB em processo de tratamento de esgoto em São Ludgero-SC*. 51p. Monografia (Graduação). Colegiado de Engenharia Ambiental. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2010.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande: Ed. Epgraf, 1994, 240p.

VERSIANI, B.M. *Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ (Rio de Janeiro)*. 78p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos*. – 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 243p.

_____. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias)*. Belo Horizonte: DESA-UFMG, v.1, 2005, 452p.