



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

ANDRÉ LUIZ MUNIZ BRITO

**TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS ISANDO REUSO
AGRÍCOLA**

CAMPINA GRANDE

2019

ANDRÉ LUIZ MUNIZ BRITO

**TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS VISANDO REUSO
AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
Como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Sanitária e
Ambiental pelo Curso de Engenharia Sanitária
e Ambiental da Universidade Estadual da
Paraíba.

Orientador: Prof. Doutor, Wilton Silva Lopes.

CAMPINA GRANDE

2019

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B862t Brito, André Luiz Muniz.
Tecnologias de tratamento de águas residuárias visando reuso agrícola [manuscrito] / Andre Luiz Muniz Brito. - 2019.
43 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.
"Orientação : Prof. Dr. Wilton Silva Lopes , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
1. Água de reuso. 2. Membrana dinâmica. 3. Ovos de helmintos. 4. Tratamento de esgotos. I. Título
21. ed. CDD 628.3

ANDRÉ LUIZ MUNIZ BRITO

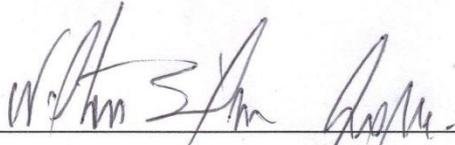
**TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS VISANDO
REUSO AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo
Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental
da Universidade Estadual da Paraíba.

Orientador: Prof. Doutor, Wilton Silva Lopes.

Aprovado em: 23/11/19

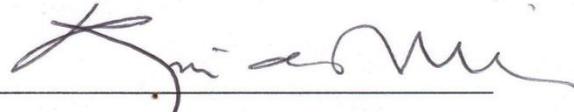
BANCA EXAMINADORA



Wilton Silva Lopes, Doutor, UEPB.



Valderi Duarte Leite, Doutor, UEPB.



Rui de Oliveira, Doutor, UEPB.

Aos meus pais, pela dedicação,
companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao universo, por ser um fascinante objeto de estudo; o Sol central, cheio de luz e fonte de energia; a Lua por agregar toda essência; a Terra geradora da vida e materialização da minha Vontade; e as estrelas do céu e da terra por lembrar o quão grande posso ser:

Meus pais, Ana Cristina e André Fiquene, modelos de ser-humanos na minha vida, minha irmã Arella, (mais do que isso, uma verdadeira amiga) e toda minha família, vivência em prática do amor e sua base proporcionada. Aos meus amigos da vida: Cláudio, Gabriel, Arthur, Nicolas, Pedro, Shayelly, Nathália, Victor Gomes, Victor Lima, com o compartilhamento de vários momentos e crescimento pessoal e verdadeira companhia, minha amiga/companheira Ana Siqueira, por me apoiar e ser um fator ativo no meu crescimento pessoal. Aos que compartilharam estresses e alegrias na Universidade, Camilla, Josivaldo, Renata, Yuri, Maria Luiza.

Meus professores (de fato) André Fiquene, Ana Cristina, Rui de Oliveira, Wilton Silva, Wilza Silva, Beatriz Ceballos, Valderi Leite, José Tavares, Jorge Ribbas, Gelásio Nascimento, Ruth Nascimento, Neyliane Costa, Weruska Brasileiro, Fernando Fernandes, Itamar, João Marcelo, Flávio Lemos, que me ajudaram a somar nessa jornada científica de entender a mim e o que me cerca com bastante conhecimento e sabedoria. Todos que me ajudaram à sua maneira a eternizar este trabalho que conclusão de uma fase importantíssima na minha vida.

Às instituições que tornaram essa conquista possível, Universidade Estadual da Paraíba, ao Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, à Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário (EXTRABES), Laboratório de Química e Saneamento (LAQUISA), o Laboratório do Grupo de Pesquisa Ambiental (GPESA) e Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

RESUMO

O tratamento de esgotos provenientes de residências urbanas e rurais para reuso agrícola está se tornando foco, principalmente para regiões com pouca disponibilidade hídrica, como o semiárido brasileiro, assim havendo atenção no desenvolvimento de novas tecnologias para seu tratamento. Porém, em países com baixos índices de saneamento universalizado como o Brasil, ocorre alta incidência de geo-helminthíases, causadas pela disseminação de ovos de helmintos em solos, levantando alerta com a prática de reuso. Buscando viabilizar a prática, o presente trabalho estudou tecnologias voltadas a sanar tal problemática, de forma econômica e eficiente. Foram utilizados tratamentos de esgotos domésticos por Biorreator Anaeróbico de / Membrana Dinâmica (BRAnMD) interna e externa, e esgotos de origem rural por sistema composto de tanque séptico, filtro anaeróbico e lagoa facultativa. As pesquisas envolvendo a tecnologia do BRAnMD são relativamente recentes, assim ainda não havendo definição das condições ótimas de operação. Tendo em vista o reaproveitamento do efluente para atividade agrícola, reaproveitando seus nutrientes e garantindo a qualidade sanitária a níveis que garantam a saúde da população, o objetivo do trabalho foi analisar o percentual de remoção da quantidade de ovos de Helmintos após o tratamento, visando enquadramento dentro dos parâmetros determinados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Os resultados mostram remoções em média acima de 96%, chegando a 99,70%, no caso do reator anaeróbico de membrana interna.

Palavras-chave: Água de reuso; Membrana dinâmica; Ovos de helmintos.

ABSTRACT

The wastewater treatment from domestic and rural residences is becoming focus, mainly for regions with low hidric disponibility, as the brazilian semiarid, so having attention on development of new tecnologies for its treatment. just like the attention on development of new tecnologies for the treatment. However, in countries with low sanitation rates like Brazil, occurs high rate of geo-helminthiases, induced by incidence of helminth eggs in soil, bringing alert to reuse pratics. Reaching viable use, this work studied technologies to solve the problematic, in economic and eficiente way. For domestic wastewater treatments, Anaerobic Dynamic Membrane Biorreactor (AnDMBR) technology was used. For rural wastewaters treatment a system with septic tank, anaerobic filter and a facultative pound was used. The researchs involving AnDMBR are relative recentes, so doesn't having established ideals operation parameters defined yet. Aiming the effluent reuse for agricole activity, reusing nutrientes and ensuring sanitary quality for population health, the objective of the project was analyze the percentual remotion of Helminths eggs after the treatment, aiming to reach the parameters recommended by world health organization (WHO). The results of the research show remotions above 96% reaching 99,70% for AnDMBR system.

Palavras-chave: Reuse Water; Dynamic Membrane; Helminth Eggs.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	8
2.OBJETIVOS	11
2.1.OBJETIVO GERAL	11
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3.DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	12
3.1.ÁGUAS RESIDUÁRIAS	12
3.2.SANEAMENTO	12
3.2.1.SANEAMENTO NO BRASIL E INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO	13
3.2.2.INDICADORES MICROBIOLÓGICOS	14
3.3.USO AGRÍCOLA	14
3.3.1.ÁGUA DE REÚSO E PROBLEMAS RELACIONADOS	15
3.4.ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	17
3.4.1.TANQUE SÉPTICO	19
3.4.2.LODO ATIVADO.....	20
3.4.3.DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	20
3.4.4.FILTRO ANAERÓBIO	22
3.4.5.LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	23
3.5. TECNOLOGIA DE MEMBRANA.....	23
3.5.1.FOULING	24
3.5.2.MEMBRANA DINÂMICA	25
4.METODOLOGIA	27
4.1.SISTEMAS EXPERIMENTAIS DESENVOLVIDOS NA EXTRABES	27
4.1.1.SISTEMA DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA INTERNA.....	27
4.1.2.SISTEMA DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA EXTERNA	30
4.2.SISTEMA EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO NO INSA	32
4.3.CONTAGEM DOS OVOS.....	34
4.4.CÁLCULO DE EFICIÊNCIA.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
6. CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

As águas residuárias estão presentes na sociedade humana desde sua origem. O esgoto é a água de abastecimento que foi utilizada nas diversas atividades humanas, advindas das residências (esgotos domésticos), das industriais (esgotos industriais) e das chuvas, entre outras origens, contendo constituintes de natureza física, química e biológica, que, sem devido tratamento, são uma das principais causas da poluição ambiental. Cada tipo de esgoto contém materiais orgânicos e inorgânicos diferentes e até alguns tóxicos, e, para cada um desses tipos, são aplicados tratamentos específicos com a finalidade de diminuir ou eliminar os impactos ambientais associados com seu descarte. Embora os esgotos domésticos sejam constituídos por mais de 99,9% de água, a pequena porcentagem restante contém abundantes sólidos grosseiros e dissolvidos correspondentes à matéria inorgânica (areia, silte, sais inorgânicos, metais pesados), à matéria orgânica putrescível (biodegradável), ali incluídos numerosos microrganismos, entre eles os patogênicos e diversos compostos tóxicos (METCALF; EDDY, 2016).

O lançamento de esgoto sem tratamento no ambiente provoca forte impacto poluidor nos solos e nos corpos hídricos afetando, nestes últimos, a qualidade da água ao aumentar os sais e, em especial, os compostos de fósforo (P) e nitrogênio (N) que favorecem a proliferação de macrófitas, algas e cianobactérias potencialmente toxigênicas. Estas, além de liberar toxinas para o ambiente aquático causam variações do pH, da transparência e da concentração de oxigênio dissolvido entre outras modificações, com consequentes alterações das cadeias e teias e alimentares provocando eventuais morte de peixes e perdas da qualidade paisagista, tornando suas condições primordiais difíceis de recuperar. Todas essas mudanças dificultam o tratamento de potabilização e elevam seus custos pela necessidade de maior consumo de produtos químicos, com o agravante que o método convencional usado na maioria das estações de tratamento de água do Brasil não elimina diversos tóxicos, entre eles as cianotoxinas (DI BERNARDO *et. al*, 2010).

Com o desenvolvimento das populações humanas houve aumento da produção de esgotos e, simultaneamente, avanços no saneamento básico, desde a construção de canais para destinar os dejetos longe das cidades (China, Babilônia, Império Romano) até as sociedades atuais nas quais estações de tratamento de esgoto (ETEs) tratam os esgotos e seus lodos com recuperação e aproveitamento dos nutrientes e dos metais ali presentes para utilização na agropecuária, além de produzir energia na forma de biogás este transformado em energia elétrica (1m^3 de biogás = 6,4 KWh) que permitem tornar a ETE autossustentável no aspecto

energético, como ocorre em algumas ETEs na Holanda e no Canadá. Assim, a abordagem mundial atual é a busca de sua autosustentabilidade energética (gás metano convertido em energia elétrica), também aproveitando a produção de água com qualidade para reaproveitamento. O interesse em recuperar nutrientes do lodo de esgoto surgiu na Europa pelo aumento de seu valor de mercado e pela redução da oferta com aumentos prévios dos preços internacionais da amônia e do fosfato (ZACHAROFF; LOVITT, 2014).

O Brasil, país em desenvolvimento, que enfrenta problemas de saneamento, tanto quanto manejo dos recursos hídricos, ocorre grande incidência de infecções por geo-helminthíases, doenças parasitárias intestinais que são advindas pelo contato com solo, principalmente em zonas rurais e periferias de centros urbanos. A Organização Panamericana da Saúde (OPAS), da Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que no mundo 820 milhões de pessoas estejam infectadas por *Ascaris lumbricoides* e 460 milhões por *Trichuris trichiura* (OPAS, 2018). Em 2001, a 54ª Assembleia Mundial de Saúde aprovou por unanimidade a Resolução WHA54.19 e instou os países membros endêmicos, entre eles o Brasil, a realizarem intervenções para o controle das geo-helminthíases, o que ainda não é amplamente disseminado.

Jiménez *et al* (2007) na Tabela 1, apontam médias da incidência de ovos de helmintos em águas residuárias em países em desenvolvimento e desenvolvidos.

Tabela 1. : Incidência de ovos de helmintos em países.

País/Região	Água Residuária contaminada (ovos.L⁻¹)
Países em desenvolvimento	70-3000
México	6-98
Brasil	166-202
Marrocos	840
Jordânia	300
Ucrânia	60
Estados Unidos	1-8
França	9
Alemanha	<1

Fonte.: Jiménez et al (2007)

Dentro da problemática de despejo inadequado de efluentes, escassez hídrica e precariedade de saneamento, foram desenvolvidas diversas técnicas de tratamento de esgoto, como lagoas de estabilização, sistemas de lodos ativados, digestão anaeróbia, filtros anaeróbios, aliadas

com processos oxidativos avançados, tratamento do lodo com recirculação, co-compostagem, processos de membrana para uma maior otimização e alcance da legislação ou usos mais “nobres” dos efluentes, além do despejo buscando atingir os padrões da legislação vigente. Chaoua (2018) afirma que a baixa disponibilidade de água em regiões áridas e semiáridas é um grande problema. Dentro deste quadro pode ser incluído o Nordeste do Brasil, tendo em vista a alta incidência solar e observando a falta de gestão adequada dos recursos hídricos, políticas que não atentam a tal déficit, aliando-se a falta de informação da população, culminando na precariedade sanitária da região, sendo entregues a mercê da aleatoriedade climática. A presente pesquisa buscou oferecer algumas das possíveis soluções para tal problemática local, aliando a tecnologias consolidadas mundialmente, com o tratamento de águas residuárias como alternativa para água de reuso.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- Desenvolver o estudo do tratamento de águas residuárias, visando sua utilização em irrigação de solos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um comparativo dos tipos de tratamento utilizados na pesquisa tendo como referencial a remoção de ovos helmintos;
- Buscar enquadramento do efluente dentro das recomendações da OMS.

3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1. ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Considera-se esgoto a água na qual foi utilizadas por diversas atividades do homem (banho, descarga, utilização industrial, etc.), os resíduos advindos das residências são chamados de esgotos domésticos, enquanto os que vêm das fabricas são chamados esgotos industriais. Para cada tipo há ocorrência de diferentes substâncias e necessidades de tratamentos específicos. A população brasileira atual é por volta de 210 milhões (IBGE 2019), destes, 83,5% são atendidas com abastecimento de água tratada, porém ficam ainda mais de 35 milhões sem o acesso a esse serviço básico, algo que pode ser considerado absurdo, levando em conta o que se é perdido na rede de abastecimento, que poderia atender 30% da população, conforme observado nos números do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Em relação aos esgotos, apenas 52,36% dos habitantes têm acesso à coleta desses resíduos líquidos, sendo que mais de 100 milhões não são favorecidos com esses serviços. Deve-se destacar que de todo o esgoto coletado apenas 46% recebe algum tipo de tratamento. Nesse contexto, nas 100 maiores cidades do país, 3,5 milhões de brasileiros despejam esgoto bruto irregularmente no ambiente. Em termos de volume, as capitais brasileiras lançaram 1,2 bilhão de m³ de esgotos na natureza em 2013. (SNIS, 2017; Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento”, 2019).

3.2. SANEAMENTO

Como observado, o desenvolvimento das populações urbanas se deu até um ponto de haver necessidade do tratamento adequado antes de destinação em corpos hídricos, ou seja, as ETEs foram sendo desenvolvidas ao longo dos séculos XIX e XX, com a concepção de lagoas de estabilização, tanques sépticos, estações de lodo ativado e emprego de reatores anaeróbios como forma de remoção de microrganismos patogênicos, eutrofizantes e metais pesados. Sua eficiência é definida a partir de uma série de fatores que a circundam, como seu tamanho e capacidade de atendimento da população, seu local de construção, quantidade de ETEs na cidade ou região, produção de lodo, consumo de energia, etc. (ANDRADE NETO, 1999).

3.2.1. SANEAMENTO NO BRASIL E INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO

Nos sistemas de tratamento de águas residuais, os efluentes líquidos produzidos e que retornam aos mananciais deve ser atingida qualidade apropriada para não causar impacto poluidor, respondendo à Resolução N° 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA N° 357/2005.

Desta forma, a quantidade de nutrientes no esgoto sanitário pode se configurar em um problema, o seu lançamento no meio ambiente pode resultar na poluição dos corpos hídricos, destacando-se a eutrofização, trazendo danos aos corpos receptores e observando-se condições anaeróbias no fundo dos mesmos, eventuais mortandades de peixes, maior dificuldade e elevação nos custos de tratamento da água, toxicidade e algas, modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial, diminuição da navegação e capacidade de transporte. Além disso, a amônia pode acarretar problemas de toxicidade aos peixes e implicar em consumo de oxigênio dissolvido. Ainda, o nitrato pode trazer complicações no âmbito subterrâneo, sendo capaz de contaminar águas utilizadas para abastecimento, causando problemas de saúde pública. A Resolução Conama 357/05 dividiu as águas do território nacional em águas doces, salobras e salinas. Em função dos usos previstos, existe a composição de uso em classes, onde cada classe corresponde a um agrupamento de usos de qualidade da água. Classe 1 pressupõe os usos mais nobres, e as Classes 3 e 4, os usos menos nobres. Há a classe especial, que visa preservar o equilíbrio natural de comunidades aquáticas, não permitindo o lançamento de efluentes, mesmo que tratados (BRASIL, 2011).

Cada uma dessas classes corresponde a uma determinada qualidade a ser mantida no corpo d'água, qual é expressa na forma de padrões. Os padrões de lançamento e emissão apresentam limites de enquadramento de classes para concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio e Fósforo, agentes da eutrofização. Porém, é importante ressaltar que os nutrientes podem significar uma vantagem substancial no reaproveitamento da água, especialmente em irrigação e piscicultura. Os principais nutrientes de interesse são o nitrogênio e o fósforo, os quais se apresentam no meio aquático, sob diferentes formas. Assim como também indicadores como cor, turbidez, pH e metais pesados (VON SPERLING *et al.*, 2009).

Para lançamento do efluente para o ambiente, é necessária redução da carga de matéria orgânica biodegradável, de sólidos em suspensão, de macronutrientes, remoção ou inativação de organismos patogênicos, além do controle das concentrações de inúmeros constituintes

químicos com propriedades tóxicas à saúde humana e à biota aquática. Os processos biológicos de remoção de matéria orgânica biodegradável constituem uma opção interessante sob o ponto de vista técnico e econômico para a redução de concentração dos compostos no esgoto. São conhecidos processos aeróbios mecanizados, como os sistemas de lodos ativados e filtros biológicos. (FLORENCIO *et al.*, 2006). No entanto, no âmbito do despejo e reutilização do efluente no solo, a determinação da resolução não é eficaz para o controle da qualidade das águas nem para a definição da qualidade do mesmo a ser disposto no solo.

3.2.2. INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Geralmente na análise microbiológica, o parâmetro universalmente utilizado para qualidade do efluente é a presença ou não da bactéria *Escherichia coli*, porém Rocha *et al* (2016) observaram, em estudos de inativação bacteriológica em tratamentos, que há prevalência de outros microrganismos de potencial contaminação humana.

Para o reuso da água advinda das ETEs, pesquisas focam na análise de ovos de helmintos como indicadores de desinfecção e uso seguro da mesma, devido sua alta resistência a condições externas adversas. Com seu envoltório grosso formado por três camadas: a primeira de revestimento externo, que consiste de lipoproteínas cobertas com mucopolissacarídeos; a segunda, composta de uma membrana quitinosa com grossura variável; e por último a membrana interna, feita por lipídeos. Sua sobreposição acaba formando uma estrutura compacta que, submetida a condições adversas de origens física, química e biológica, resiste bem a tais variações. Em resumo, a inativação ou remoção de ovos de helmintos pode ser utilizada como indicador de eficiência do processo de desinfecção (ROCHA *et al.*, 2016).

3.3. USO AGRÍCOLA

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2018), 70% do consumo de água são destinados à agricultura e pecuária, estimando-se que o consumo dos recursos hídricos (incluindo todas as destinações) aumentará em 24% até 2030, se tornando alarmante.

Além do grande consumo causado pela atividade, em pesquisa feita, pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) o Brasil perde na distribuição de água em média 38,3% da água que deveria ser destinada a população urbana, gerando uma perda estimada de R\$11 bilhões. Também observa-se que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), vem mostrando que a atividade agrícola vem crescendo aceleradamente no país, se

configurando em um dos mais competitivos no mundo, ou seja, a falta de implementação de tecnologias apropriadas para a realidade do país se mostra ilógica (BASTOS, 2013; TRATA BRASIL, 2019).

Segundo a ANA (2018), no Brasil, escoam cerca de 260 mil $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de água. Mesmo com a evidente abundância, por volta de 80% desse total encontram-se na região Amazônica, onde (paradoxalmente) vive a menor parte da população, conseqüentemente com demanda de água bem menor. Os baixos índices de precipitação, a irregularidade do seu regime, temperaturas elevadas durante todo ano no Nordeste, contribuem para os reduzidos valores de disponibilidade hídrica, em particular na região Semiárida e no Nordeste Setentrional (estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco), que tem 88 % do seu território no Semiárido.

3.3.1. ÁGUA DE REÚSO E PROBLEMAS RELACIONADOS

A água de reuso, de modo geral, é produzida dentro das ETEs, podendo ser utilizada para inúmeras finalidades, exercendo grande importância no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos, servindo de substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, etc. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos que demandam um melhor padrão, o seu uso acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos. (SABESP, 2019; CETESB, 2019).

O uso sustentável da água é importante mundialmente. Segundo a SABESP (2019), cada litro de água de reuso utilizado representa um litro de água conservada em nossos mananciais. Seu uso podendo ser destinado em vaso sanitário, irrigação paisagística e agrícola (mediante avaliação técnica), limpeza de pisos, pátios ou galerias, preparação e cura de concreto não estrutural em canteiros de obra, desobstrução de rede de esgotos e de águas pluviais, gerar energia e também refrigeração de equipamentos em diversos processos industriais. O uso do esgoto e lodo na agricultura é reconhecido mundialmente, principalmente em países onde há a importância econômica no agronegócio, justamente por ser economicamente atrativa e pelo aproveitamento dos nutrientes, que vêm sendo utilizados como opção alternativa da incineração ou aterros sanitários (no caso de lodo). Porém é importante relatar que a água advinda do tratamento de lodo e esgotos é um veículo de infecção biológica, principalmente por bactérias, vírus e protozoários, tornando a principal barreira ao uso totalmente seguro da mesma (BASTOS *et al.*, 2013; YAYA-BEAS *et al.*, 2016; ROCHA *et al.*, 2016; CHAOUA *et al.*, 2018).

Há também a infecção por geo-helminhos, causada por contato com o solo contaminado com ovos embrionados ou larvas dos parasitos, cuja ocorrência pode variar muito de país em país e também regiões (onde pode variar o saneamento), sendo mais observado em países em desenvolvimento, onde as precárias condições socioeconômicas estão vinculadas à falta de acesso à água potável e ao saneamento adequado. Yaya-Beas *et al.* (2016) relataram que países com condições precárias possuem altos números de ovos de helmintos, por exemplo no Brasil com concentrações entre 166 e 202 ovos.L⁻¹ e na Colômbia de 16 a 43 ovos.L⁻¹, relatando que no Peru um estudo foi analisado em uma população de 4 a 98 anos e mostrou que a prevalência de doenças do tipo foi em 91,2%. A associação desses fatores com a falta de informação específica sobre os parasitos se torna um grave problema de saúde pública. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece diretrizes e padrões de qualidade da água de reuso, de acordo com a destinação planejada da água. De acordo com OMS, as diretrizes para a utilização de esgotos tratados na irrigação de culturas agrícola no que diz respeito a quantidade de ovos de helmintos, são apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2: Diretrizes de qualidade microbiológica recomendadas para esgotos:

Categoria	Tipos de Irrigação	Grupos de Exposição	Ovos de Helmintos (ovos/L)
A	Irrigação de vegetais consumidos crus, campos de esporte, parques públicos	Trabalhadores e consumidores públicos	≤1
B	Irrigação de culturas de cereais, culturas forrageiras e árvores	Trabalhadores	≤1
C	Irrigação localizada de culturas na categoria "B", sem exposição de trabalhadores e do público em geral.	Não existentes	Não aplicável

Fonte: Adaptado OMS, 1989.

Porém, o reuso se mostra negligenciado no Brasil, a UN (UN-HABITAT 2008) mostrou que ele só foi utilizado em 15% das áreas disponíveis para o uso, mostrando-se bem abaixo de países como os Estados Unidos (55%), Itália (69%) e Noruega (95%). Há uma grande fauna retratada de helmintos, por exemplo: *Ascaris sp.*, *Enterobius vermicularis*, *Fasciola hepatica*,

Trichuris trichiura, *Hymenolepis sp.*, *Taenia sp.*, *Toxocara sp.*, *Trichuris sp.*, entre outros, conforme a Figura 1. E também se deve atentar para a resistência dos ovos de helmintos (principalmente de Nematodos intestinais) a ambientes variados, não conseguindo ser obtida uma remoção segura garantida por desinfecção convencional. Com características variadas, demandam-se tratamentos diferentes. (BASTOS *et al.*, 2013; CHAOUA *et al.*, 2018).

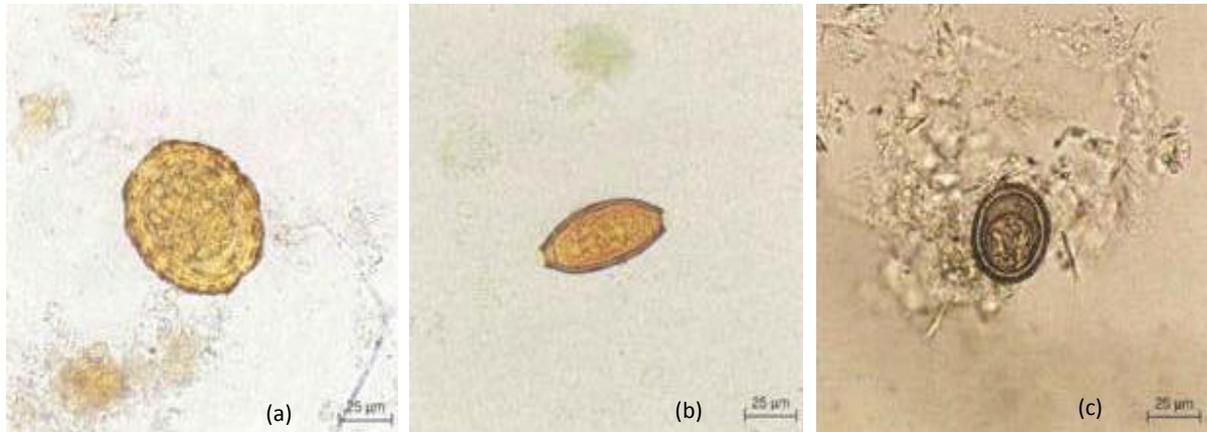


Figura 1. Ovos de Helmintos. (a) *Ascaris lumbricoides*. (b) *Trichuris trichiura*. (c) *Taenia sp.* Fonte: Organização Mundial da Saúde (1996).

3.4. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Na atualidade, as ETES tratam os esgotos e seus lodos buscando reciclar a água, com recuperação e aproveitamento dos nutrientes e dos metais ali presentes, além de ser capaz de produzir energia, a partir da matéria orgânica, na forma de biogás que pode ser transformado em energia elétrica. Essas ações permitem à ETE chegar, quando bem operada, se tornar autossustentável no aspecto energético, como ocorre em algumas ETES na Holanda e no Canadá e em São Paulo (em Barueri).

Sua implementação demanda responsabilidade de quem irá estar à frente do projeto, pelo fato que sua presença também causa impactos e gera resíduos (lodos), assim, opções operacionais inadequadas irão causar danos, direta ou indiretamente, sendo, então recomendável dispor de dados baseados em estudos técnicos, econômicos e ambientais e atentar a etapas importantes da implantação como diagnóstico do sistema existente (vazões, hidrografia do local, demanda bioquímica de oxigênio), estudo de alternativas e escolha de melhores soluções (conhecimento da capacidade de autodepuração, eficiência necessária, espaço disponível, análise de impacto ambiental) e projeto executivo (ANDRADE NETO, 1999; TRATA BRASIL, 2019). A concepção do tratamento varia em níveis, geralmente denominados de

tratamento primário, secundário ou terciário. A figura 2 mostra a concepção geral do tratamento.

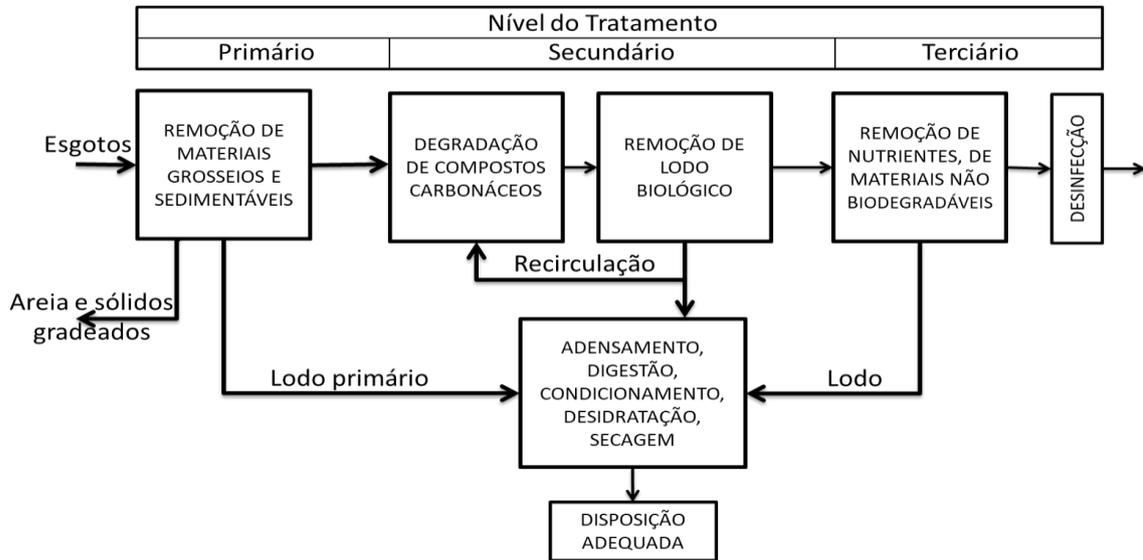


Figura 2. Fluxograma dos níveis de tratamentos de uma ETE.
Fonte: Adaptado PROSAB (1999).

Conforme observado, o tratamento primário remove a areia e os sólidos grosseiros, de uma forma geral. No tratamento secundário há a degradação biológica da matéria orgânica, onde as bactérias, de forma aeróbia e/ou anaeróbia (dependendo da configuração e o que se busca), consomem os carboidratos, proteínas, óleos e graxas disponíveis, transformando em moléculas de mais fácil assimilação no meio ambiente, é nessa fase onde há a geração do lodo, que pode ser recirculado ou destinado para disposição adequada. Em alguns casos, demanda-se um tratamento de nível terciário, geralmente para remover nitrogênio e fósforo que não foram removidos para níveis aceitáveis na etapa secundária, por processos biológicos e químicos, como desnitrificação e utilização de sulfato de alumínio, por exemplo. Com diversas variantes de tratamento de esgotos e estudos e desenvolvimento para otimização da capacidade de remoção de matéria orgânica, na década de 1970, houve a concepção dos reatores anaeróbios compactos tais como o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo- UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor). Este representou um marco para o tratamento anaeróbio, pela sua eficiência e baixo custo. Contemporânea a tais concepções, por volta de 1980, se passou a considerar a remoção de constituintes com alto impacto no meio ambiente, entre eles os macronutrientes fósforo e nitrogênio (ANDRADE NETO, 1999; METCALF & EDDY, 2016).

3.4.1. TANQUE SÉPTICO

O tanque séptico (TS) é considerado um bom reator para o tratamento primário dos esgotos, compartimentos hermeticamente fechados onde os esgotos são retidos por um período previamente determinado. Com uma fácil operação, construção e baixo custo econômico (assim sendo utilizado em comunidades que geram vazões relativamente pequenas e empregadas em áreas urbanas com carência na rede coletora pública de esgoto sanitário. Com ele objetiva-se reter os despejos domésticos/industriais por tal período pré-determinado) para ocorrer então a sedimentação dos sólidos, decompondo a parte orgânica. Para seu bom funcionamento é importante atentar para a altura mínima interna de 1,20 m e o correto posicionamento dos septos de entrada e saída. Estes critérios permitem que ocorra tal o processo de sedimentação, e após algum tempo de funcionamento, o processo de digestão anaeróbia. (JORDÃO e PESSOA, 1995; ANDRADE NETO, 1999; FUNASA, 2014). A Figura 3 mostra o desenho em corte de um tanque séptico.

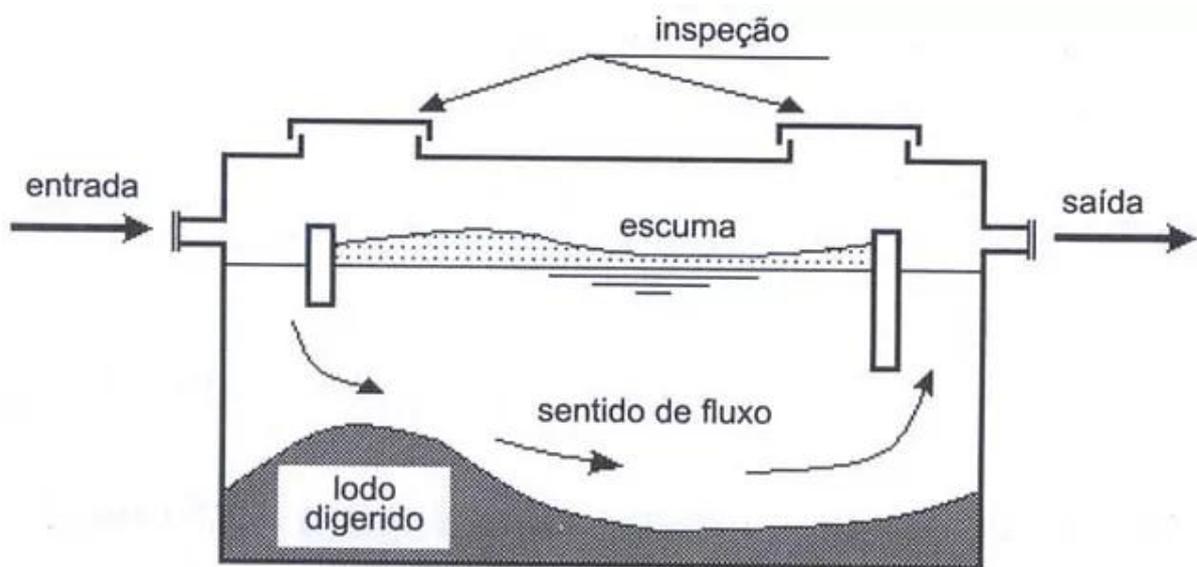


Figura 3. Configuração de um tanque séptico.
Fonte: Google Imagens (2019).

Por ser uma alternativa simples e barata, o processo não garante grande remoção de ovos de helmintos, demandando quase sempre um tratamento em sequência, devido a isso, há uma grande dificuldade de se encontrar trabalhos que concebam tal pesquisa.

3.4.2. LODO ATIVADO

Talvez o mais utilizado dentre os tratamentos, muito requisitado quando necessita-se uma elevada qualidade no efluente e dispõe-se de uma pequena área. Configura-se basicamente de um tanque de aeração, onde haverá a atividade microbiana, o tanque de decantação, para sedimentar o lodo gerado e separação do efluente tratado, e por fim, a fase de recirculação do lodo, para manter elevada a atividade microbiana (daí o nome lodo ativado), em decorrência disso, a concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração é mais de 10 vezes maior que a de uma lagoa aerada, por exemplo.

Em pesquisa desenvolvida por Chaoua *et al* (2018), usando um sistema de lodo ativado, seguido por clarificadores e filtro de areia, foi obtida uma remoção total dos ovos, onde havia em média uma entrada de $173,79 \text{ ovos.L}^{-1}$.

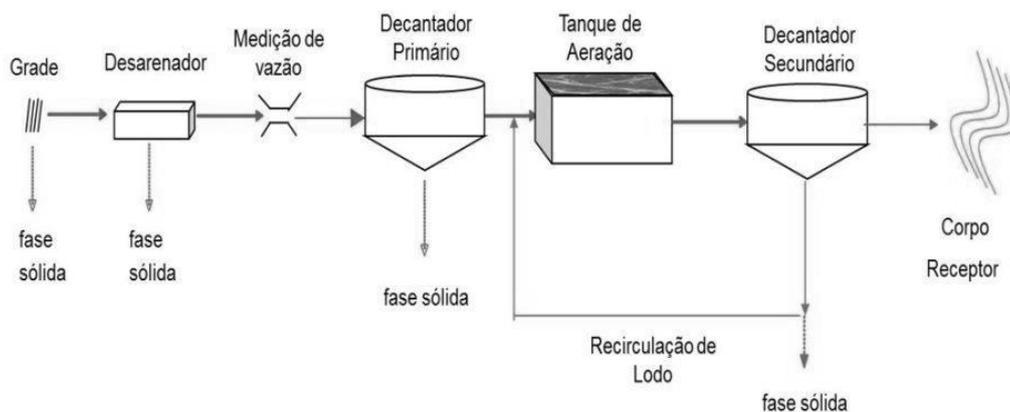


Figura 4. Fluxograma de um Sistema de Lodo ativado convencional.
Fonte: Adaptado VON SPERLING (2002).

Um fator preponderante na implementação do sistema é o elevado custo devido a necessidade energética devido a utilização dos aeradores, devendo ser aplicado um estudo das condições do afluente e das suas necessidades, quanto ao tempo de detenção hidráulica e de sólidos (idade de lodo) (VON SPERLING, 2002).

3.4.3. DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia (DA) é proposta como uma tecnologia eficiente e sustentável para seu tratamento. Relacionado com a redução da massa, remoção ou redução do odor e patógenos, e

o mais significativa, recuperação de energia em forma de metano. É um processo complexo que requer estritas condições anaeróbias (ausência de O_2) para que aconteça. O mecanismo de um reator anaeróbio consiste na adição de um lodo ativado ou efluente (por exemplo) ao reator, no qual um consórcio de quatro grupos metabólicos de microrganismos, segundo seus processos metabólicos predominantes, hidrolíticos, acetogênicos, acidogênicos e metanogênicos, promovem reações químicas para haver uma degradação da matéria orgânica. Transformando, por fim, em dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). A eficiência da produção do biogás em digestores anaeróbios pode ser diminuída pelo retardo de qualquer uma das etapas anteriores. A digestão anaeróbia em reatores convencionais apresentam limitações que restringem ou retardam a produção de metano por causa dos longos tempos de retenção celular (TRC) no reator, de 20 a 30 dias, devido às lentas taxas de crescimento dos microrganismos, restringindo então a produção de metano com a baixa eficiência da biodigestão dos sólidos orgânicos, o que se faz necessário quase sempre um pós-tratamento (MARTÍN *et al.*, 2015; STRONG *et al.*, 2011; SKOUTERIS *et al.*, 2012). A Figura 5 mostra o esquema de um UASB.

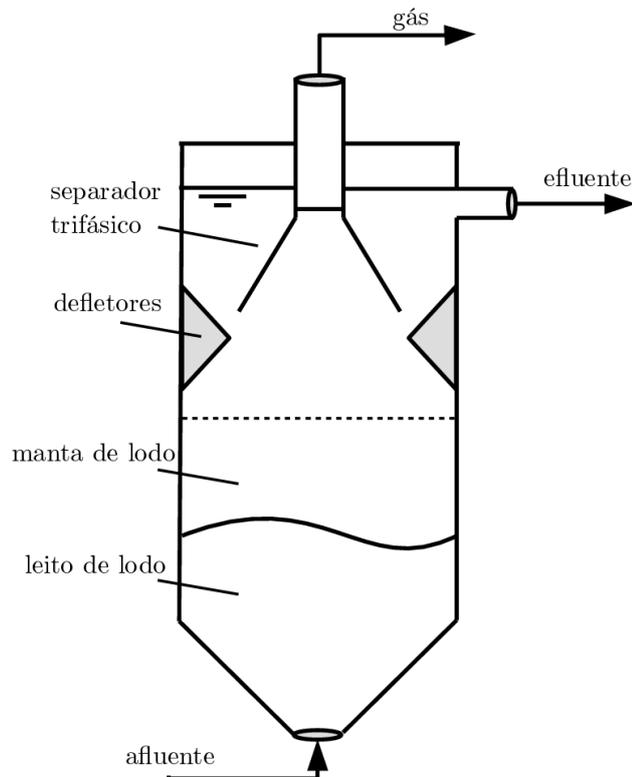
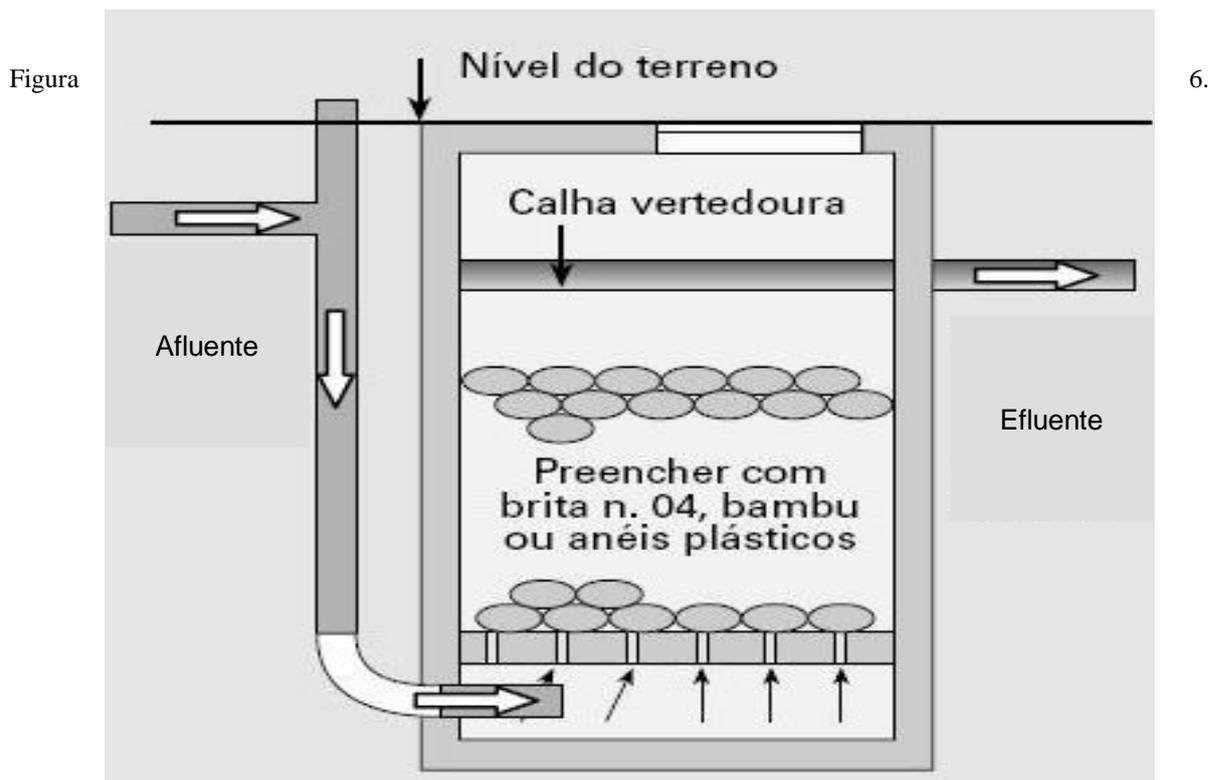


Figura 5. Esquema de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente.
Fonte: NAKASHIMA (2018).

3.4.4. FILTRO ANAERÓBIO

O filtro biológico percolador é uma tecnologia compacta, operacionalmente simples, de baixo consumo de energia e custo operacional. Consiste, inicialmente, de um tanque contendo material de enchimento, que vem a se configurar como meio de suporte, que forma um leito fixo, preenchido com esgoto. Obtendo a fixação e o desenvolvimento de microrganismos em sua superfície, que também se agrupam, na forma de flocos ou grânulos, nos interstícios deste material, se configurando como uma espécie de biofilme. Este meio, aplicado ao tratamento de esgotos, é o próprio lodo que adere ao meio suporte e que se acumula nos interstícios. Assim, a matéria orgânica é estabilizada através da ação dos microrganismos, que se alimentam da mesma, maiores taxas de remoção ocorrem na região de nível mais baixo do leito, pela alimentação dar-se geralmente em fluxo ascendente. Podem ser utilizados vários materiais para enchimento de filtros anaeróbios. Evidentemente, é preferível uso de materiais inertes, resistentes, leves, que facilitem a distribuição do fluxo e dificultem a obstrução, tenham preço baixo e sejam de fácil aquisição. A figura 6 mostra a sua configuração geral (ANDRADE NETO, 2006).



Sistema de Filtro Anaeróbio.
Fonte: Adaptado NUVOLARI (2011).

3.4.5. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

É uma tecnologia de simples concepção e operação que se mostra bastante eficaz no tratamento de esgotos, geralmente têm elevados tempos de detenção hidráulica (TDH) e grandes áreas (espelho d'água) expostas à ação da luz solar, se encaixando de boa forma pela sua concepção no país, devido à alta incidência solar anual e seu clima quente, também por possuir área disponível e necessidade de que quase nenhum equipamento, fornece uma elevada produção de plâncton, disponibilizando alimento para os peixes e elevadas taxas de remoção de patógenos. Seus principais sistemas utilizados são: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias, lagoas aeradas facultativas, lagoas de decantação e lagoas de maturação. Destaca-se por uma alta remoção de microrganismos patogênicos, como: bactérias (até 6 unidades logarítmicas), vírus (até 4 unidades logarítmicas), cistos de protozoários e ovos de helmintos, com níveis de remoção de 99,99% (VON SPERLING, 2002; CHERNICHARO *et al*, 2006). A figura 7 mostra a usual configuração de uma lagoa.

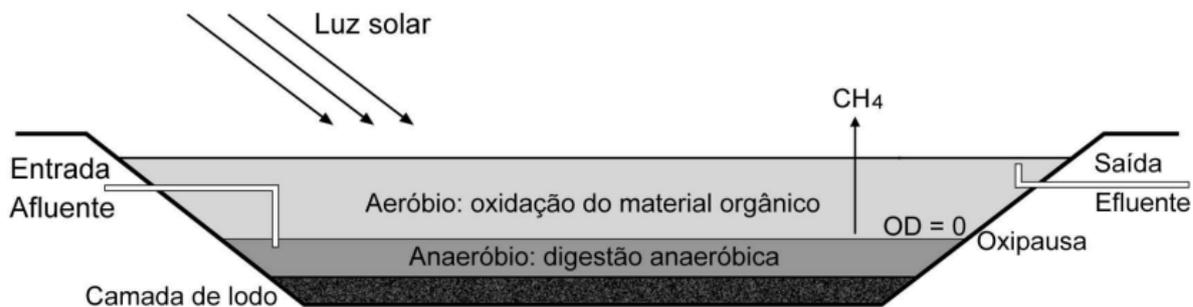


Figura 7. Sistema de Lagoa de Polimento.

Fonte: Google Imagens (2019).

3.5. TECNOLOGIA DE MEMBRANA

Em um sistema onde há a recirculação/aproveitamento dos sólidos, os mesmos podem ser separados da fase líquida, manejando os conceitos de tempo de detenção hidráulica (TDH) e tempo de retenção celular (TRC). O primeiro é a razão do volume de líquido no sistema por volume de líquido retirado do mesmo por unidade de tempo. Analogamente o TRC é dado pela razão de massa de sólidos por massa de sólidos retirada por unidade de tempo no sistema. A combinação do tratamento anaeróbio com a tecnologia de filtração por membrana, no sistema denominado Biorreator Anaeróbio de Membrana (BRAnM), uma vez que processos anaeróbios de alta produção são caracterizados pela separação do TDH e do TRC, aliando as

vantagens dos processos com baixa produção de sólidos dos efluentes. Esses reatores vêm sendo aplicados com sucesso em várias escalas para manter os microrganismos anaeróbios fixos e em atividade (LIN *et al.*, 2013).

A tecnologia BRAnM está sendo considerada uma alternativa apropriada por providenciar completa retenção de biomassa. O TRH e o TRC em BRAnMs podem ser controlados independentemente e pode ser aplicado para desenvolver um processo para tratamento de efluentes recalcitrantes, de indústrias e municípios (VON SPERLING, 2002; HU *et al.*, 2018; ERSAHIN *et al.*, 2013).

O TRC elevado é o resultado da retenção efetiva da biomassa, amplamente facilitada pela (auto) imobilização das bactérias anaeróbias nos biofilmes das membranas formando parte de biofilme da torta gerada. Mas também é observado que a formação da camada da torta é o principal agente do *fouling* (limitação do fluxo) em membranas aeróbias e anaeróbias, na maioria dos casos. Assim, a resistência à filtração da camada da torta é responsável por mais de 80% da resistência total de filtração. Como o grau de crescimento dos microrganismos anaeróbios é muito menor do que os aeróbios são necessárias altas concentrações de biomassa (HU *et al.*, 2018; ERSAHIN *et al.*, 2013).

3.5.1. FOULING

As células microbianas, moléculas orgânicas extracelulares e precipitados inorgânicos que se acumulam na superfície da membrana, este é um fenômeno comum, denominado *fouling*, que ocorre durante a filtração nos BRAnMs, a Figura 8 mostra seu mecanismo de formação. Tal matéria acumulada na superfície vai se tornando mais densa ao longo do tempo e forma uma camada grossa, provocando a limitação do fluxo. Assim, de fato, a camada de torta é a principal barreira em sistemas de BRAnMs. A formação e uso efetivo desta torta em uma camada suporte, como malha ou pano de tecido que funcionam como filtro (ao invés da membrana tradicional) apresentam um novo conceito, chamado de filtração de membrana dinâmica (MD) (ERSAHIN *et al.*, 2013).

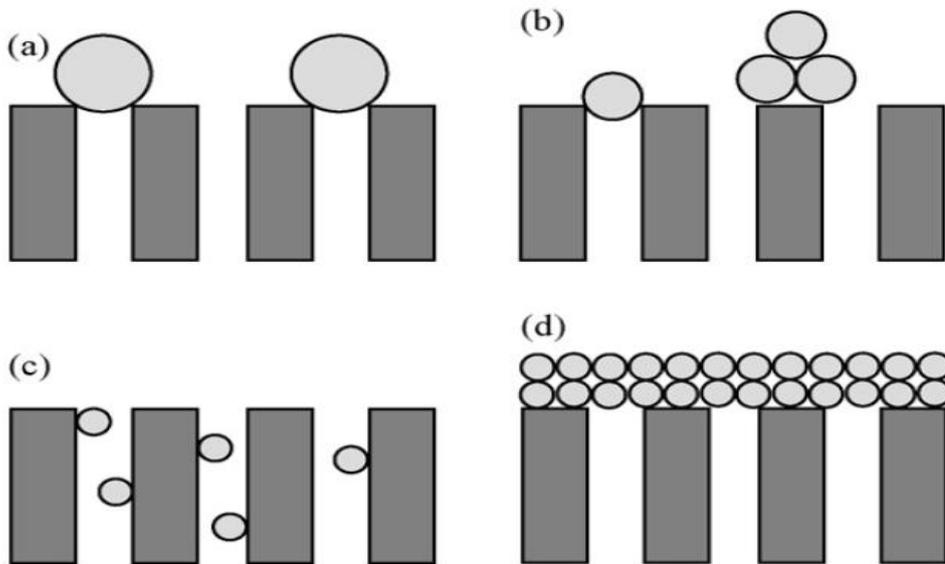


Figura 8. Formações de fouling. (a) bloqueio completo dos poros; (b) bloqueio intermediário; (c) bloqueio padrão; (d) formação da camada de torta em membranas dinâmicas. Fonte: VELA et. al (2008).

3.5.2. MEMBRANA DINÂMICA

Os Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica (BRAnMD) são sistemas modernos que combinam o tratamento biológico dos esgotos domésticos e/ou de seus lodos. Comparados com o sistema lodos ativados convencional, os sistemas com membranas, entre eles o BRAnMD, são consideradas alternativas confiáveis e promissoras para o tratamento de esgotos, devido ao menor consumo de energia, capacidade de receber alta taxa de carga orgânica, baixa produção de lodo e recuperação bioenergética. Entretanto, a retenção de sólidos e a baixa taxa de crescimento de biomassa se configuram desafios importantes no desenvolvimento inicial de um biorreator BRAnMD. A camada de torta formada pode funcionar como um filtro adicional (membrana secundária ou membrana dinâmica) devido à sua capacidade de rejeitar vários poluentes e microrganismos patogênicos, assim, as propriedades de rejeição são relacionadas com a torta, em vez da própria membrana subjacente, dependente da camada de material de suporte mais baratos. Pode ser usada com membranas de microfiltração e ultrafiltração (MF/UF) (HU *et al.*, 2018).

Membranas dinâmicas formadas podem ser usadas como principal filtro sobre o material de suporte, e podem trazer efetiva retenção tanto em biorreatores aeróbios como nos anaeróbios e combinados, destacando-se também pelo baixo custo da membrana suporte, alto fluxo e fácil limpeza. As aplicações de BRAnMDs ainda estão em estágios iniciais, apesar da tecnologia

oferecer um tratamento de efluentes com bom custo-benefício, sendo poucos os países que aplicam em larga escala.

As áreas de pesquisas decorrentes do processo de BRAnMDs focam no tratamento de vários tipos de esgotos, nos fatores influenciadores de funcionamento, na otimização do módulo da membrana e do biorreator anaeróbio, na caracterização do lodo e da camada da MD e suas propriedades. Para uma efetiva formação e consolidação da camada da MD, a seleção do material suporte apropriado a respeito de sua estrutura como o tipo de fio, tamanho dos poros e disponibilidade e custos são importantes. Para módulos de membranas, existem três modelos típicos para escolha: fibra oca, lâmina fina e tubular. Baseando-se na localização entre o biorreator anaeróbio e o módulo da membrana, podem ser divididos em tipos submersos (incluindo submerso interno e externo submerso) e fluxo secundário, ou seja, uma membrana externa ao reator (ERSAHIN *e. al.*, 2013; HU *et al.*, 2018).

4. METODOLOGIA

Os sistemas experimentais foram projetados, construídos e monitorados nas dependências físicas da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES/UEPB) e Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

O primeiro situado no bairro do Tambor, na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, a uma altitude média de 551 metros. O experimento recebeu como afluente o esgoto advindo do ponto de captação. A sede administrativa do INSA localiza-se na Avenida Francisco Lopes de Almeida, no bairro do Serrotão, onde havia a coleta das amostras no sistema experimental, as quais eram levadas para estação experimental Prof. Ignacio Salcedo, cerca de 4km da sede, localizado na Rua Cícero Jenuíno Sobrinho, no Sítio Lucas e Sítio Salgadinho, se configurando na zona rural de Campina Grande (PB).

4.1. SISTEMAS EXPERIMENTAIS DESENVOLVIDOS NA EXTRABES

4.1.1. SISTEMA DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA INTERNA

O sistema experimental utilizado durante o estudo foi composto por um digestor anaeróbio construído a partir de tubos e conexões de Policloreto de polivinila (PVC) e um módulo de membrana. Na Figura 9 e 10 podem ser visualizados o esquema do sistema experimental com todos os seus componentes e o reator.

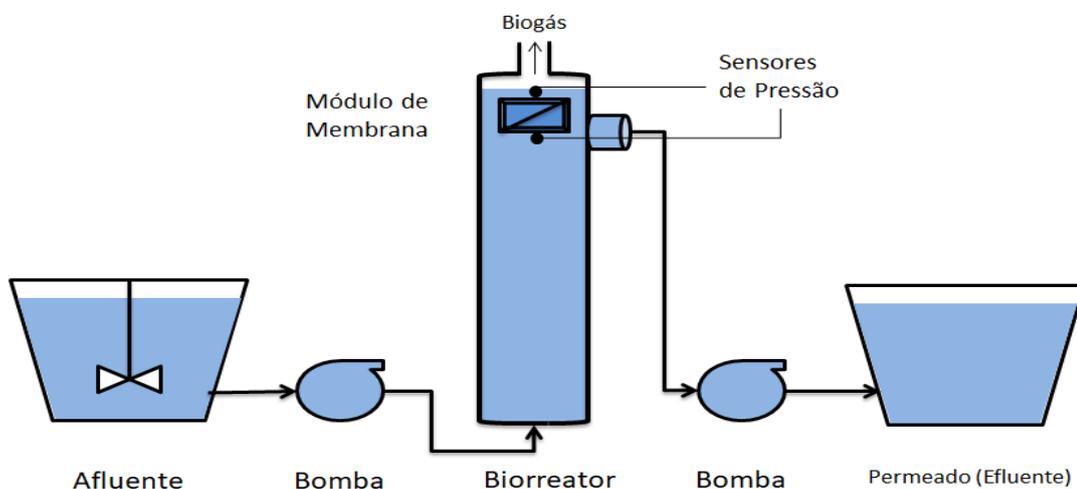


Figura 9. Esquema do sistema experimental de BRAnMD com módulo de membrana interno

Fonte: autor (2019).



Figura 10. Sistema Experimental.

Fonte: autor (2019).

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros operacionais adotados para o biorreator anaeróbio de membrana dinâmica.

Tabela 3: Características operacionais do biorreator anaeróbio de membrana dinâmica de módulo de membrana interno:

Característica operacional	
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	8 h
Vazão de alimentação	0,9 L/h
Volume total	4,39L
Altura do digestor	0,56m
Forma de Operação	Contínua
Diâmetro	100mm

Montagem do módulo de membrana

O módulo encontra-se inserido no reator e no seu interior, é encontrada uma tela metálica (suporte de membrana) para oferecer maior resistência à mesma quando for submetida a elevados gradientes de pressão do reator, com filtração em fluxo tipo vertical. Acima da tela, encontra-se a malha de polietileno com porosidade de 89 micrometros.

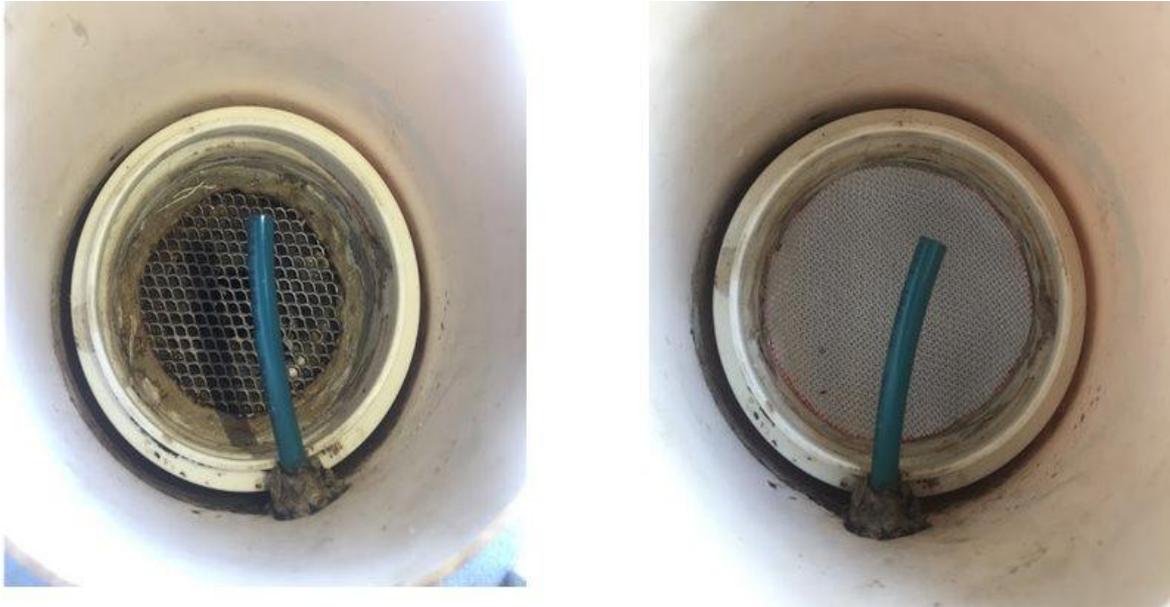


Figura 11. Módulo de Membrana interno.

Fonte:autor (2019).

O sistema foi acompanhado de sensores de pressão para acompanhamento da pressão transmembrana, com acompanhamento online em tempo real, visando evitar o rompimento da membrana, obtendo um maior controle do processamento.

Processo de alimentação do reator

O processo de alimentação de esgoto bruto no sistema foi realizado continuamente. Durante esse período de 24h o sistema produzia uma quantidade média de 21L de permeado, que era armazenado em um recipiente de coleta. Para manter o volume do reator constante a bomba ficava ligada constantemente, para que o sistema mantivesse sempre alimentado.

O reator foi alimentado com esgoto doméstico bruto, por uma bomba peristáltica, programada para bombear $21,6L \cdot dia^{-1}$ do esgoto bruto, no reservatório de alimentação, diretamente para o digestor anaeróbio de fluxo ascensional.

4.1.2. SISTEMA DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA EXTERNA

O sistema experimental utilizado durante o estudo foi composto por um digestor anaeróbio construído a partir de tubos e conexões de PVC e um módulo de membrana externo. Nas Figuras 12 e 13 podem ser visualizados os esquemas dos sistemas experimentais com os seus componentes.

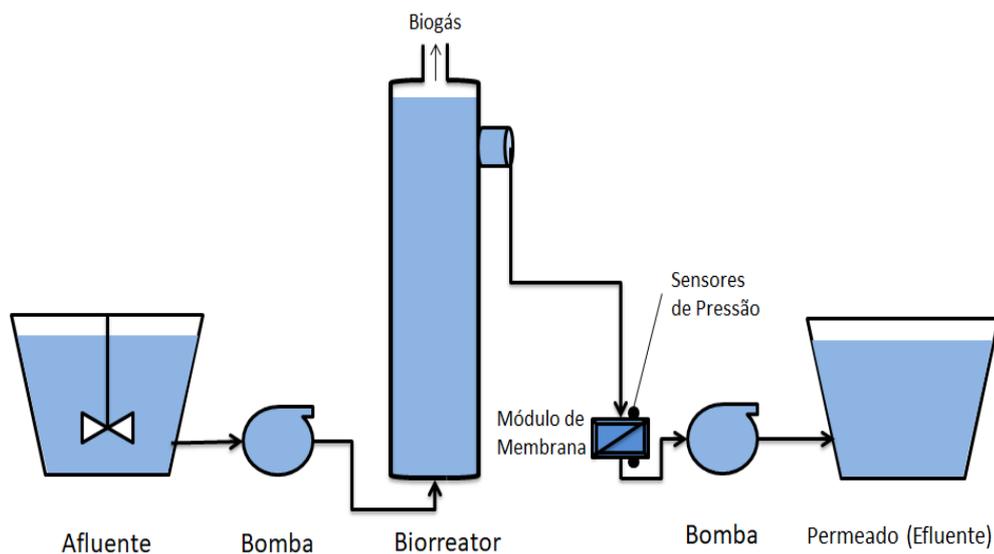


Figura 12. Esquema do sistema experimental de BRAnMD de módulo de membrana externo.

Fonte: autor (2019).



Figura 13. Reator BRAnMD com módulo de membrana externo.

Fonte: autor (2019).

Na Tabela 4, podem-se observar as características de operação do sistema.

Tabela 4: Características operacionais do biorreator anaeróbio de membrana dinâmica de módulo de membrana externo:

Características Operacionais	
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	8 h
Tempo de retenção celular (TRC)	120 d
Vazão de alimentação	0,72 L/h
Volume total	6 L
Altura do digestor	2 m
Forma de Operação	Contínua
Diâmetro	61,8mm

Montagem do módulo de membrana

A membrana encontra-se inserida no módulo de suporte externo, apresentado conforme a Figura 14, com o módulo desenvolvido pelo material de PVC, com filtração em fluxo tipo

vertical, encontra-se a malha de polipropileno com porosidade de 89 micrometros. Nesta configuração não foi necessário ser implantando um suporte de malha metálica.



Figura 14. Módulo da Membrana.

Fonte: autor (2019).

O sistema também foi acompanhado de sensores de pressão, da mesma disposição e finalidade do primeiro sistema.

Processo de alimentação do reator

O processo de alimentação de esgoto bruto no sistema foi realizado continuamente. Durante esse período de 24h o sistema produzia uma quantidade média de 17L de permeado, que era armazenado em um recipiente de coleta. Para manter o volume do reator constante a bomba ficava ligada continuamente, para que o sistema mantivesse sempre alimentado.

O reator era alimentado com esgoto doméstico bruto, por uma bomba peristáltica, programada para bombear $17,28\text{L}\cdot\text{dia}^{-1}$ do esgoto bruto no reservatório de alimentação diretamente para o digestor anaeróbio de fluxo ascensional.

4.2. SISTEMA EXPERIMENTAL DESENVOLVIDO NO INSA

A pesquisa realizada no INSA consistia em uma única captação para dois sistemas, inicialmente com um pré-tratamento, que passava por um sistema de tanque séptico de 30 m^3 e TDH de 24 dias, do qual era alimentado por uma vazão diária de 1250 litros de afluente.

Após a passagem pelo TS (Figura 16) a vazão é dividida por igual para cada um dos sistemas, sendo assim uma vazão de 625L/d de alimentação para ambos. No sistema estudado (Figura 15), após receber efluente do TS, passa pelo filtro anaeróbio, e por fim, para lagoa de polimento. O filtro anaeróbio configura-se em forma retangular.

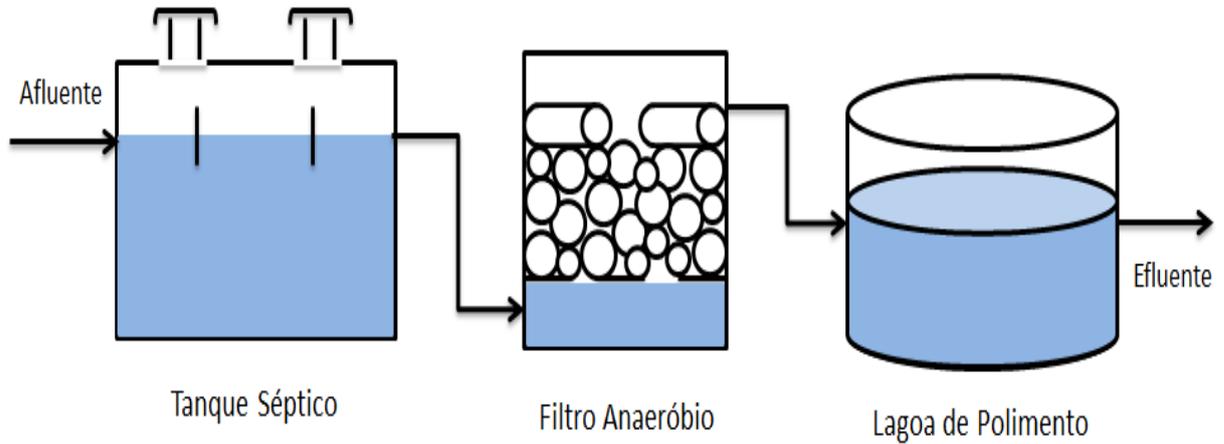


Figura 15. Sistema operacional estudado no INSA.

Fonte: autor (2019).

Tabela 5. Parâmetros operacionais do filtro anaeróbio:

Características Operacionais	
Altura	1,8m
Área	27,9m ²
Volume	50,2m ³



Figura 16. Tanque Séptico. Fonte: autor (2019).

Com a lagoa de polimento, é onde se dá maior remoção dos microrganismos, como segue na Figura 17, com seus parâmetros na Tabela 6.



Figura 17. Lagoa de Polimento.

Fonte: autor (2019).

Tabela 6. Parâmetros operacionais da Lagoa de Polimento:

Características operacionais	
Altura da lâmina d'água	0,8m
Diâmetro	3,0m
Volume	5,5m ³
TDH	5 dias

4.3. CONTAGEM DOS OVOS

A metodologia utilizada para a caracterização da quantidade de ovos de helmintos nas amostras afluentes e efluentes foi a de Bailenger (1979) modificado por Ayres e Mara (1996), método da centrífugo-flutuação, cujo sedimento, após centrifugação, contendo os ovos de helmintos é adicionada solução tampão aceto-acética pH 4,5 e éter, ocorrendo a separação em fases distintas e é ressuspensionado em solução de sulfato de zinco a 30%, com análises efetuadas em ambos laboratórios.

Após a contagem de ovos na câmara de McMaster, o número de ovos por litro obteve-se calculado a partir da seguinte fórmula:

$$N = \frac{A \times X}{P \times V}$$

Onde:

N: Número de ovos (ovos.L⁻¹)

A: número de ovos contados (ovos)

X: Volume do produto final (mL)

P: Câmara de McMaster (0,15mL x n° de contagens na câmara)

V: Volume original retirado (L)

4.4. CÁLCULO DE EFICIÊNCIA

Com a contagem do número de ovos nas amostras coletadas em campo, foi efetuado um simples cálculo de remoção em porcentagem, de acordo com a seguinte fórmula:

$$Remoção \% = \frac{Ve - Vs}{Ve} \times 100(\%)$$

Onde:

Ve: Valor de entrada

Vs: Valor de saída

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado na seção 4, foram analisados dois tipos de afluentes, um de origem doméstica, e o outro de origem rural, a Tabela 7 apresenta os dados obtidos após o processo experimental e quais categorias de reuso se encaixam segundo a OMS.

Tabela 7. Remoção de ovos de Helmintos e seu respectivo uso:

Afluente (origem)	Entrada (ovos.L ⁻¹)	Saída (ovos. L ⁻¹)	Remoção (%)	Categoria de reuso
Doméstico	63,9	0,19*	99,70	A
Doméstico	63,9	2,15**	96,63	C
Rural	58,8	0,98	98,33	A

*Dado de saída após passagem do afluente por BRAnMD de membrana interna. **Dado referente à passagem do afluente por BRAnMD de membrana externa.

A concentração de ovos de helmintos no esgoto bruto depende de fatores que vão desde a cobertura de saneamento básico até as condições de saúde da população e varia muito conforme as especificidades de cada região, os números apresentados na pesquisa evidenciam a presença de ovos em quantidade que faz necessário o tratamento para o reuso, pois podem trazer riscos à saúde da população, reiterando que a incidência das geo-helmintíases é relacionada a fatores socioeconômicos e de higiene.

A remoção dos ovos, nos reatores UASB e filtro anaeróbio é decorrente dos processos da adsorção em flocos, além da sedimentação simples, nos casos utilizando o reator anaeróbio. A eficiência é uma consequência de altos tempos de detenção hidráulica.

Santos *et al.* (2012) e Yaya-Beas *et al.* (2015) avaliando ovos de helmintos em efluentes oriundos de reatores UASB observa-se que houve uma diminuição do número de ovos após o processamento do esgoto digerido. Obtiveram uma eficiência média de remoção desses ovos de 54% e 55%. Também, Mascarenhas *et al.* (2004) e Von Sperling (2002), observaram uma concentração de 111 ovos.L⁻¹ e 64-320 ovos.L⁻¹ de esgoto bruto, utilizando um TDH de 7,5 e 5,5 horas, respectivamente, conseguiram obter uma remoção de 85,5% e 96% dos ovos presentes. Apesar de serem bons índices de remoção, não houve enquadramento na categoria de reuso “A”, com o segundo conseguindo obter uma taxa de efluente de 1,3-45 ovos.L⁻¹, evidenciando que o processo não garante uso pleno do efluente produzido.

Porém em pesquisas de Saddoud *et al* (2007) e Robledo *et al* (2009), usando biorreatores de membrana externa, obtiveram remoção completa (100%) dos ovos de helmintos com tempos de detenção hidráulica iguais a 15 e 6 horas, respectivamente, com TRC de 25 e 100 dias. A presente pesquisa conseguiu números próximos à totalidade na remoção, porém no reator anaeróbio de membrana externa, o processo de remoção pode ter sido prejudicado por problemas operacionais advindos das bombas, das quais no início da pesquisa não estavam reproduzindo uma pressão condizente ao programado. Com uma alta pressão, a membrana de suporte para formação da torta, por ser de um material flexível, a pressão pode ter contribuído para a passagem dos ovos, mais tarde havendo a correção do problema, indicando que a pressão também necessita de uma configuração condizente com a operação. Sendo indicadora da menor remoção dos ovos de helmintos, quando comparada ao de membrana interna, apesar de ter um tempo de retenção celular maior.

A opção de digestão anaeróbia por UASB aliada à tecnologia de membrana se mostra promissora, de fácil montagem e operacionalização, necessitando da continuação de pesquisas que contemplem o uso da mesma, analisando sua otimização e diversas configurações de operacionalização.

Chaoua *et al.* (2018), em pesquisa utilizando lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa, chegou à uma remoção de 94,97%, obtendo um efluente de saída com 5 ovos.L⁻¹, chegando abaixo recomendado pela OMS para usos de categoria A. O sistema de lagoas também pode ser empregado em complementação final de algum processo antecedido, por exemplo, a avaliação da eficiência de um reator UASB (TDH = 5,5 horas) associado a uma lagoa de estabilização em chicana, com 75% dos ovos presentes no esgoto bruto chegaram a serem removidos pelo sistema, observado em trabalho de Von Sperling *et al.* (2005). Um aspecto a ser contemplado na concepção do sistema de lagoas é que nem sempre se há a disponibilidade de espaço para a implantação da mesma, principalmente em localidades de população urbana, além do mau odor que pode vir a afetar os moradores dos arredores da região. Porém, em regiões rurais, onde geralmente as características do afluente são de caráter biológico, ou seja, de melhor degradabilidade, aliadas à grande disponibilidade de espaço e alta incidência solar (inerente da região semiárida) a opção se mostra bastante interessante, tendo em vista a fácil operacionalização das lagoas.

6. CONCLUSÃO

Em locais com recursos hídricos limitados, o reuso de águas residuais é bastante promissor e vale a pena ser pensado. Porém, obviamente, o problema do ponto de vista relacionado com a saúde pública vem junto com essa concepção, reiterando a necessidade de pesquisas que somem a prática.

O esgoto doméstico teve uma qualidade microbiológica satisfatória, havendo grande remoção dos ovos de helmintos, conseqüentemente dos parâmetros microbiológicos que podem vir à contaminação do solo, em trabalhos que avaliaram o mesmo e demais variáveis, como em Saddoud *et al.* Com o fim do trabalho, observou-se que a tecnologia se mostra eficiente com relação a remoção de ovos de helmintos para se encaixar de acordo com a resolução que estabelece a relação de ≤ 1 ovo/L, possibilitando o uso da água tratada para irrigação irrestrita, devendo-se atentar à questão da pressão de bombas na operacionalização da membrana.

Com a enorme quantidade de esgotos despejados de maneira inadequada, o mesmo deve ser encarado como matéria e fonte de lucro. Como o uso se refere à destinação não potável, a pesquisa disponibiliza uma economia técnica e de capital. Além disso, trazendo a grande vantagem de preservar a água potável, para usos que necessitam da mesma.

REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Brasil. Set, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual, Cap.1: O Ciclo da Água e Conjuntura. - Brasília: ANA, 2018, p. 7-10. Disponível em: < http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf >. Acesso em 15 de setembro, 2019, 21:00.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/> >. Acesso em: 5.julho.2019, 14:35.

ANDRADE NETO, C.O. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). 1ª Edição, ABES – RJ. RiMa Artes e Textos. Cap. 1, Introdução. PROSAB, 1999, p. 1-3, 15-17.

ANDRADE NETO, C. O. de; ALÉM SOBRINHO, P.; SOUZA MELO, H. N. de; AISSE, M. M., 1999, “Decanto-Digestores”. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo, Programa PROSAB, capítulo 5, Rio de Janeiro, ABES-RJ.

AYRES R. & MARA D. Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. WHO, Geneva. (1996).

BASTOS, V. K. *et al.* Detection and Qualificaition of Viable Ascaris sp. and other Helminth eggs in sewage sludge. International Journal of Environmental Health Research. Taylor and Francis, vol 23. 2015, p 352-362.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 430/2011 – “Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complemente e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA”. – Data da legislação: 13/05/2011 – Publicação DOU n° 92, de 16/05/2011, pág. 89.

CEBALLOS, B. S. O de; DINIZ, C. R. TÉCNICAS DE MICROBIOLOGIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1ª Edição. Campina Grande. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2017. pág. 7-30.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Águas Interiores – Água de Reúso. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/> >. Acesso em 16 de Setembro de 2019, 16h30min.

CHAUOA, S. *et al.* Efficiency of two sewage treatment systems (activated sludge and natural lagoons) for helminth egg removal in Morocco. Journal of Infection and Public Health 11. Elsevier, 2018, p. 197-202.

CHERNICHARO C. A. de L., FLORENCIO L., BASTOS R. K. B., PIVELI R. P., on SPERLING M. e MONTEGGIA L. O. Reúso das Águas de Esgoto Sanitário, inclusive

desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim. In: Tratamento de Esgotos e Produção de Efluentes Adequados a Diversas Modalidades de Reúso da Água 1ª Edição. ABES, RJ. SERMOGRAF Artes Gráficas e Editora Ltda. Prosab. 2006 Cap 3, p. 63-74.

DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A.D.B. Florações de algas e cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento, São Carlos: LDIBE, 2010.

ERSAHIN, M. E.; OZGUN, H.; DERELI, R. K.; OZTURK, I.; ROEST, K.; van LIER, J. B. A review on dynamics membrane filtration: Materials, applications and future perspectives. *Bioresource technology*, 122, pg. 196–206, 2012.

ERSAHIN, M. E.; OZGUN, H.; TAO, Y.; van LIER, J. B. Applicability of dynamics membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. *Water research* 48, pg. 420-429, 2013.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA – MINISTÉRIO DA SAÚDE. Operação e Manutenção de Tanques Sépticos – Lodo: Manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico. 1ª edição, Coordenação de Comunicação Social (Coesc/GabPr/Funasa/MS), 2014, p. 9-10.

Guia Prático para o Controle das Geo-helminthiases. MINISTÉRIO DA SAÚDE Secretaria de Vigilância em Saúde. Tiragem: 1ª edição – versão eletrônica – 2018. Disponível em: < http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_pratico_controle_geohelminthiases.pdf>. Acesso em: 5 de julho de 2019, 10h50min.

HU, Y.; WANG, X. C.; NGO H. H.; SUN, Q.; YANG Y. Anaerobic dynamics membrane bioreactor (AnDMBR) for wastewater treatment: A review. *Bioresource Technology* 247, pg. 1107–1118, 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População do Brasil.** Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php>. Acesso em 5 de novembro de 2019, 19h20min.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, Governo Federal, Brasil. Disponível em: < <https://portal.insa.gov.br/>>. Acesso em 17.outubro.2019, 20:16.

JEISON, D.; van LIER, J. B.; Cake formation and consolidation: Main factors governing the applicable flux in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) treating acidified wastewaters. *Separation and Purification Technology* 56 pg. 71–78. 2006.

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

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A., Tratamento de Esgotos Domésticos, Rio de Janeiro, ABES, 1995.

LIN, H.; PENG, W.; ZHANG, M.; CHEN, J.; HONG, H.; ZHANG, Y. A review on anaerobic membrane bioreactors: Applications, membrane fouling and future perspectives. *Desalination* 314, pg. 169–188. 2013.

MARTÍN M. A.; GONZALEZ, I.; SERRADO A.; Siles, J. A. Evaluation of the improvement of sonification pretreatment in the anaerobic digestion of sewage sludge. *Journal of Environmental Management* p. 147, 330 e 337, 2015.

METCALF; EDDY. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5^a ed. Porto Alegre, AMGH 2016.

NAKASHIMA, R. N., Avaliação exergética da geração e uso de biogás no setor sucroenergético, 2018. Disponível em: < https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Eschema-do-reator-UASB_fig3_327021216>. Acesso em: 22 de outubro de 2019, 20h00min.

NUVOLARI, A. (2011). Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola., São Paulo: Blucher.

ONOFRE, C.; NETO, A. O USO DO FILTRO ANAERÓBIO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO. MEIO FILTRANTE. EDIÇÃO Nº19 – MARÇO/ABRIL DE 2006 – ANO IV.

PERDAS DE ÁGUA 2019 (SNIS 2017): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/Release_Perdas_de_%C3%81gua.pdf>. Acesso em: 16 de setembro de 2019, 16h20min.

ROCHA, M. C. V. da; BARÉS, M. E.; BRAGA, M. C. B. Quantification of viable helminth eggs in samples of sewage sludge. *Water Research* 103. Elsevier 2016, p. 245-255.

ROBLEDO, M. H.; SAGASTUME, J. M. M. ; NOYOLA, A. Biofouling and pollutant removal during long-term operation of an anaerobic membrane bioreactor treating municipal wastewater. *Biofouling, The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*. Vol. 26, pg. 23–30. 2010.

SADDOUD, A.; ELLOUZE, M.; DHOUIB, A.; SAYADI, S. Anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater in Tunisia. *Desalination* 207, pg. 205–215. 2007.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Esgotos - Água de Reúso. Disponível em: < <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=569>> . Acesso em 16 de setembro de 2019, 16h30min.

SANTOS, M. C.; SILVA, B. F.; AMARANTE, A. F. T. **Environmental Factors Influencing the Transmission of *Haemonchus contortus***. *Vet. Parasitol.* v.188, p.277-84, 2012.

SILVA, M. M. P.; SOUZA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; FEITOSA, W. B. S.; LEITE, V. D. Tratamento aeróbio conjugado de lodos de tanques sépticos e resíduos sólidos orgânicos domiciliares. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 123-143, 2009.

STRONG, P.J., MCDONALD, B., GAPES, D.J.. Combined thermochemical and fermentative destruction of municipal biosolids: a comparison between thermal hydrolysis and wet oxidative pre-treatment. *Bioresource. Technol.* v. 9, n. 102, 2011, p. 5520 – 5527.

SKOUTERIS, G.; HERMOSILLA, D.; LÓPEZ, P.; NEGRO, C.; BLANCO, A. Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: A review. *Chemical Engineering Journal*, v. 198-199, 2012, p. 138-148.

TRATA BRASIL, SANEAMENTO É SAÚDE & GO ASSOCIADOS. Novo Ranking do Saneamento evidencia: melhores cidades em saneamento investem 4 vezes mais que as piores cidades no Brasil. Disponível em: < http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2019/PRESS_RELEASE___Ranking_do_Saneamento___NOVO.pdf > Acesso em 15 de outubro de 2019, 22:15.

VELA, M. C. V. *et al.* Analysis of membrane pore blocking models applied to the ultrafiltration of PEG. *Separation and Purification Technology* 62 Elsevier. (2008), p. 489–498.

VON SPERLING, M.; PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS: LODOS ATIVADOS. 2ª edição. SEGRAC, 2002. P. 11-15.

Von Sperling, C., Chernicharo, A., Soares, A.M.E. and Zerbini, A. (2002). Coliform and helminth eggs removal in a combined UASB reactor–baffled pond system in Brazil: performance evaluation and mathematical modelling. *Wat. Sci. Technol.*, 45(10), 237–242.

VON SPERLING, M.; PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS: LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO. 2ª edição. SEGRAC, 2002. p. 11-17.

VON SPERLING, M *et al.* Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. In: Impacto dos Nutrientes do esgoto lançado em corpos de água. 1ª edição. ABRES, RJ. PROSAB, 2009 Cap 2. p. 26-51.

YAYA-BEAS, R. E. *et al.* Presence of Helminth eggs in domestic wastewater and its removal at low temperature UASB reactor in Peruvian highlands. *Water Research* 90. Elsevier, 2016, p. 286-293.

ZACHAROF, M-P.; LOVITT, R.W. The filtration characteristics of anaerobic digester effluents employing cross flow ceramic membrane microfiltration for nutrient recovery. *Desalination*, v. 341, p. 27-37, 2014.

