

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

NATÁLIA DE OLIVEIRA CIRQUEIRA

**CONSTRUÇÃO DE UM RALF DIDÁTICO DE BANCADA DE BAIXO
CUSTO PARA A REDUÇÃO DA CARGA ORGÂNICA DO ESGOTO
DOMÉSTICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

PONTA GROSSA

2019

NATÁLIA DE OLIVEIRA CIRQUEIRA

**CONSTRUÇÃO DE UM RALF DIDÁTICO DE BANCADA DE
BAIXO CUSTO PARA A REDUÇÃO DA CARGA ORGÂNICA DO
ESGOTO DOMÉSTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Martins
Teixeira de Abreu Pietrobelli

Coorientador: Diogo Inglês Zarpellon

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa



TERMO DE APROVAÇÃO

CONSTRUÇÃO DE UM RALF DIDÁTICO DE BANCADA DE BAIXO CUSTO PARA
A REDUÇÃO DA CARGA ORGÂNICA DO ESGOTO DOMÉSTICO
por

NATÁLIA DE OLIVEIRA CIRQUEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado dia 25 ao curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr.^a Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
Prof.^a Orientadora

Diogo Inglês Zarpellon
Coorientador

Cecília Claudete Ricaczeski
(UTFPR)

Prof. Dr. Ciro Maurício Zimmermann
(UTFPR)

Prof^a. Dr.^a. Juliana de Paula
Martins
Responsável pelo TCC do curso de
Engenharia Química

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais Antônio Marcos e Maristela, por me passarem seus valores, me darem apoio emocional e forças para encarar todos as etapas e obstáculos durante todos os anos de minha vida.

Aos meus irmãos Filipe e Júlia pelo bom humor e apoio durante todos esses anos.

À Laureen por, no último ano, me apoiar e acreditar no meu potencial.

À minha orientadora Prof^a. Dr.^a. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli, pela orientação, incentivo para realização deste trabalho e pelos conselhos durante a graduação.

Ao meu coorientador Diogo Zarpellon por compartilhar de seus conhecimentos na área de saneamento e contribuir com ideias para a execução deste projeto.

Aos meus amigos, pela amizade, suporte e companheirismo durante todos os anos na universidade.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Química que passaram seus conhecimentos e despertaram, a cada ano, o meu amor pelo curso e profissão.

Àqueles que não estão presentes nessas palavras, peço desculpas, mas podem estar certos de que fazem parte dos meus pensamentos e de minha gratidão.

RESUMO

CIRQUEIRA, Natália de Oliveira. **Construção de um RALF didático de bancada de baixo custo para a redução da carga orgânica do esgoto doméstico**. 2019. 42 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Com o objetivo de construir um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) didático de bancada que fosse barato, selecionou-se a bomba de alimentação e os materiais para a construção, que, além de baratos, fossem resistentes. Construiu-se o reator e montou-se o sistema. Determinou-se experimentalmente a capacidade do reator e constatou-se um volume real de 16 L. O processo operou com TDH fixo em 8 horas à temperatura de 18 e 22°C. A fim de atestar a eficiência do tratamento do efluente realizou-se duas análises de DQO em triplicata. Calculou-se a eficiência média da redução da DQO de ambos os experimentos. Os resultados obtidos foram promissores, observando-se uma remoção média de DQO dos experimentos 1 e 2 de 63,81% e 56,71%, respectivamente.

Palavras-chave: Águas residuais. Esgotos. Tratamento biológico.

ABSTRACT

CIRQUEIRA, Natália de Oliveira. **Construction of a low-cost didactic RALF for the reduction of the organic load of domestic sewage**. 2019. 42 p. Work of Conclusion Course Graduation in Chemical Engineering - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

With the objective of constructing an inexpensive benchtop Fluidized Bed Anaerobic Reactor (RALF), the feeding pump and materials for the construction were selected, which, besides being inexpensive, were resistant. The reactor was built, and the system was assembled. The reactor capacity was determined experimentally and an actual volume of 16 L was found. The process operated with fixed TDH of 8 hours at a temperature of 18 and 22°C. In order to prove the efficiency of the treatment two DQO analyzes in triplicate were performed. Were calculated the average efficiency of the DQO reduction of both experiments. The results obtained were promising, with a mean DQO removal of experiments 1 and 2 of 63.81% and 56.71%, respectively.

Keywords: Wastewaters. Sewers. Biological treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Histórico da evolução do acesso a serviços de água e esgoto no Brasil..	12
Figura 2– Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia	18
Figura 3 – Esquema de funcionamento RALF.....	20
Figura 4 – Projeto do RALF em desenho tridimensional	22
Figura 5 - Posição do ponto de saída do efluente	23
Figura 6 - Tampa do reator com o decantador acoplado	23
Figura 7 – Posição da entrada do efluente e saída de gases na tampa do reator	24
Figura 8 – Decantador construído e acoplado à tampa do RALF.....	28
Figura 9 – Montagem completa do RALF.....	28
Figura 10 – Instalação da bomba peristáltica e módulo PWM para transporte do efluente	29
Figura 11 - RALF e componentes em operação para o tratamento de esgoto.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores padrão de parâmetros de carga orgânica (mg/L) no esgoto doméstico	15
Tabela 2 - Valores padrão de parâmetros de carga orgânica (mg/L) no esgoto doméstico	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3 – Etapas do tratamento de efluentes	16
Tabela 4 - Resultados da análise de DQO (mg/L) dos experimentos 1 e 2.	30
Tabela 5 - Resultados da eficiência dos experimentos 1 e 2.	31

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

Min	minuto
ml	mililitro
Q	Vazão volumétrica
S.Sed	Sólidos Sedimentáveis
V	Volume
L	Litro

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PT	Fósforo Total
PWM	Pulse Width Modulation
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
SF	Sólidos Fixos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNGA	United Nations General Assembly
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS	13
2.2	TRATAMENTO DE ESGOTO	15
2.3	REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	ESCOLHA DOS MATERIAIS	24
3.2	CONSTRUÇÃO DO REATOR	24
3.3	MÉTODO PARA O CÁLCULO DA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO ..	25
3.4	ANÁLISE DE DQO	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33
	ANEXO A - MANUAL DE OPERAÇÃO DO RALF	36

1 INTRODUÇÃO

O século XX no Brasil foi marcado pelo intenso aumento populacional devido aos fluxos migratórios e crescimento industrial que impulsionou o desenvolvimento do país. A eclosão dos centros urbanos, atrelado ao uso excessivo dos recursos hídricos, teve como consequência a geração de impactos ambientais pelo descarte indevido do esgoto nos mananciais superficiais.

A fim de minimizar os problemas de saneamento, criaram-se diretrizes de implementação, medidas e infraestruturas para o saneamento básico no Brasil. Porém, de acordo com dados coletados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) no ano de 2016, aproximadamente 51,9% da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto, enquanto mais de 100 milhões ainda não possui acesso a esse serviço e buscam outras alternativas para o esgoto, como o descarte direto em rios.

O fator preocupante do descarte do esgoto nos mananciais superficiais é a alta concentração de matéria orgânica do qual o esgoto é formado, prejudicando significativamente o meio ambiente e a saúde pública. Além disso, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, mais difícil será o tratamento e recuperação da água, ao envolver processos mais sofisticados e dispendiosos.

Esse estudo teve como finalidade apresentar uma alternativa para o tratamento do esgoto doméstico, ao adaptar uma tecnologia empregada em estações de tratamento - o Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF). Almejando construir um RALF compacto, barato, de funcionamento simplificado, além de avaliar a sua eficiência no tratamento do esgoto doméstico para posterior utilização em aulas práticas no curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Construir um RALF de bancada didático e eficiente na remoção da matéria orgânica do esgoto doméstico

1.1.2 Objetivos Específicos

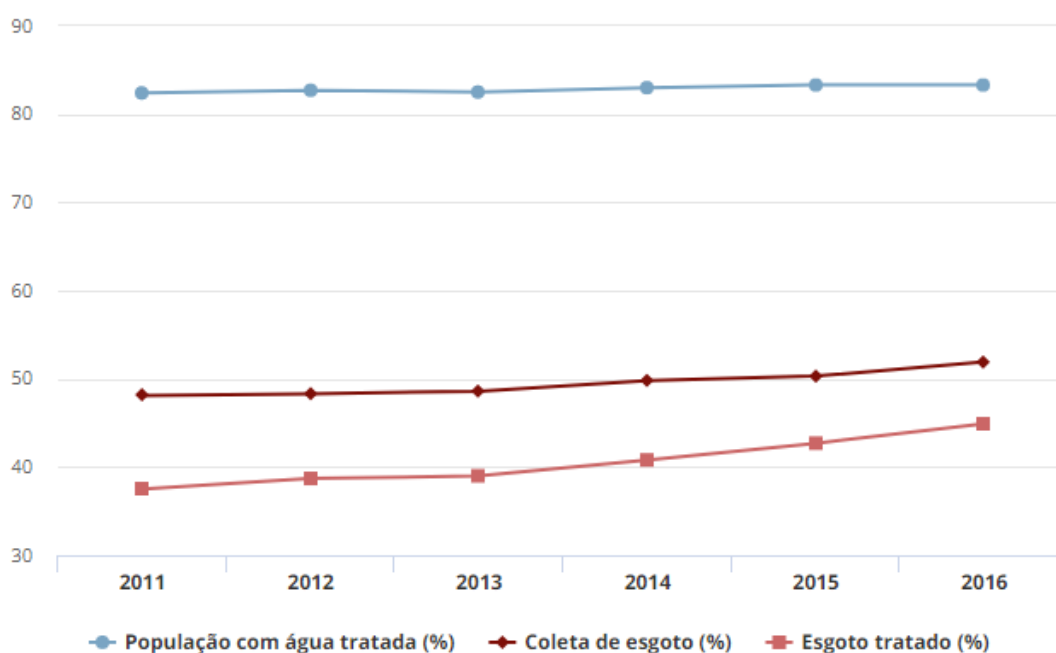
- Desenhar o reator em software de desenho tridimensional para definir as entradas e saídas do efluente;
- Selecionar os materiais para a construção do reator;
- Construção do reator e montagem de seus componentes;
- Testar o funcionamento do RALF e coletar amostra para análise de DQO;
- Avaliar a eficiência na remoção de DQO pelo reator.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Assembleia Geral das Nações Unidas (UNGA) reconheceu na Resolução 64/292, de 28 de julho de 2010 “direito à água potável limpa e segura como um direito humano essencial ao pleno gozo da vida e de todos os direitos humanos. Apesar do reconhecimento de tal direito muitas pessoas ainda não têm acesso ao serviço de saneamento básico.

Os efluentes provenientes de diversas atividades, muitas vezes, não recebem o tratamento adequado ou nenhum tratamento, e, conseqüentemente, ao ser descartada, compromete a qualidade da água e o meio ambiente (ARCHELA, 2003). A Figura 1 mostra um estudo feito pelo Instituto Trata Brasil onde houve somente um pequeno aumento, em alguns anos, no acesso aos serviços de água e esgoto no Brasil e que apenas aproximadamente 45% do esgoto é tratado.

Figura 1 - Histórico da evolução do acesso a serviços de água e esgoto no Brasil



Fonte: Portal G1 (2018)

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, traz em sua seção 3, artigo 12, que estão sujeitos à outorga de direitos de uso de recursos hídricos para lançamento em corpo de água de esgotos e

demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final” (BRASIL, 1997).

Segundo Oliveira e Von Sperling (2005):

(...) o impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgotos em corpos d'água é motivo de grande preocupação para a maioria dos países. Uma série de legislações ambientais, critérios, políticas e revisões procuram influir tanto na seleção dos locais de descarga quanto no nível de tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais provocados pela disposição destes efluentes tratados sejam aceitáveis (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005, p. 347).

O tipo e o grau de tratamento do efluente depende das exigências da legislação ambiental e uma das principais é a Lei 69.838 de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), e o Decreto 99.274, de 6 de junho de 1990, que a regulamenta (JORDÃO; PESSOA, 2009). A Resolução CONAMA 430/11 estabelece padrões e condições para o lançamento de efluentes nos corpos d'água e define limites para cada componente nele presente (BRASIL, 2011). Tais dispositivos tem como objetivo a preservação da vida aquática, saúde pública e qualidade da água, e tal qualidade depende para qual finalidade corpo d'água será utilizado.

2.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

A ABNT (1986, p. 1) define o esgoto doméstico como “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas” e o esgoto sanitário como o “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Assim, a composição e concentração dos esgotos depende diretamente para qual finalidade a água foi utilizada, e também, do tamanho da população que a usufruiu.

O esgoto doméstico era considerado de baixa complexidade, porém, com o avanço tecnológico e aumento da população houve o aumento de substâncias químicas presentes (BOTTAMEDI; BONAMENTE, 2013). Faz-se necessário o tratamento das águas residuárias devido à sua composição (VON SPERLING, 1996), pois, quando descartada sem tratamento, a matéria orgânica do esgoto doméstico sofre decomposição liberando substâncias tóxicas e mal cheirosas, e, além disso, o

esgoto bruto possui inúmeros microrganismos patogênicos que ocasionam a poluição de águas limpas e dano ao meio ambiente. Por conseguinte, para evitar grandes danos, torna-se necessária a caracterização dos constituintes do esgoto doméstico para a escolha do melhor método de tratamento (TCHOBANOGLIOUS et al., 1991).

São inúmeros os compostos químicos presentes no esgoto doméstico e vários deles apontam a presença de matéria orgânica e o grau de poluição, e, para caracterizá-lo, são avaliados alguns parâmetros, entre eles: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Potencial Hidrogeniônico (pH), Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Sedimentáveis (S. Sed.), Nitrogênio Amoniacal (NA) e Fósforo Total (PT).

Segundo Von Sperling (1996), um dos principais indicativos da poluição de cursos d'água é a redução da concentração de oxigênio dissolvido. Archela (2003) e Jordão e Pessoa (2009) explicam que o motivo de tal redução é a degradação da matéria orgânica por microrganismos que utilizam o oxigênio dissolvido na água para a sua respiração. Se a quantidade de matéria orgânica adicionada for maior que a capacidade de autodepuração do corpo d'água, a concentração de oxigênio decresce e problemas como a produção de odor e morte de seres aquáticos acontece (VALENTE et al, 1997). Ainda, segundo Valente et al (1997, p. 50), “a poluição orgânica de um curso d'água pode ser avaliada pelo decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido e/ou pela concentração de matéria orgânica em termos de concentração de oxigênio necessário para oxidá-la”. Desta forma, os principais parâmetros de quantificação de matéria são OD, DQO e DBO.

A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação bioquímica da matéria, realizada por microrganismos, enquanto que a DQO refere-se à quantidade de oxigênio que é preciso para a oxidação química da matéria orgânica presente na água (SANT'ANNA JR., 2013). Por meio de uma relação, os dois parâmetros também auxiliam na escolha do melhor sistema de tratamento, como mostra o autor a seguir:

[...] o esgoto bruto que possui relação DBO/DQO superior a 0,5 indica que este é facilmente tratado por processos biológicos. Se a relação DBO/DQO for inferior a 0,3 indica a baixa susceptibilidade desse esgoto sofrer degradação biológica, possivelmente devido a ocorrência de componentes tóxicos, ou indica a necessidade de aclimatar os microrganismos requeridos para esta estabilização. (METCALF & EDDY; TCHOBANOGLOUS, 2003, p. 96).

Além da DBO e DQO, outros parâmetros são avaliados para monitorar a poluição de corpos d'água, como nitrogênio e amônia, que são subprodutos do metabolismo humano, por exemplo, a ureia. Alguns compostos nitrogenados comumente encontrados nos esgotos são: hidróxido de amônia (NH₄OH), nitrogênio orgânico, nitritos, nitratos, fósforo orgânico e inorgânico. Os nitritos, nitratos e fósforo, por sua vez, apontam a presença de detergentes empregados em diversas atividades humanas (OSÓRIO; OLIVEIRA, 2001). A seguir, a Tabela 1 classifica o esgoto doméstico em três intensidades, de acordo com o valor de alguns parâmetros discutidos previamente.

Tabela 1 - Valores padrão de parâmetros de carga orgânica (mg/L) no esgoto doméstico

Parâmetro	Esgoto Forte	Esgoto Médio	Esgoto Fraco
DQO	800	400	200
DBO, 5 d, 20 °C	400	200	100
O.D.	0	0	0
Nitrogênio Total	85	40	20
Amônia Livre	50	20	10
Fósforo Total	20	10	5

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2009)

2.2 TRATAMENTO DE ESGOTO

Os processos empregados no tratamento de efluentes são químicos, físicos e biológicos e o tratamento é dividido nas etapas preliminar, primária, secundária e terciária. Jordão e Pessoa (2009) relatam que:

(...) os processos de tratamento dos esgotos são formados, em última análise, por uma série de operações unitárias, empregadas para remoção de substâncias indesejáveis, ou para a transformação destas substâncias em outras de forma desejável (JORDÃO; PESSOA, 2009, p. 93).

O tratamento preliminar visa a remoção dos sólidos e constituintes mais grosseiros, o primário a separação dos sólidos em suspensão e sedimentáveis, o secundário a remoção da matéria orgânica e outros nutrientes por meios biológicos, e o terciário a retirada do que não foi eliminado (poluentes tóxicos ou não biodegradáveis) (VON SPERLING, 1996). A Tabela 2 resume cada uma das etapas de tratamento em processos pelos quais o esgoto passa e quais os produtos gerados.

Tabela 2 – Etapas do tratamento de efluentes

Tratamento	Processo	Produtos gerados
Preliminar	Gradeamento	Material gradeado (madeira, trapos, folhas, etc.
	Remoção de areia	Areia, silte, etc.
	Separação de óleo	Óleo, espuma oleosa
Primário	Sedimentação	Sólidos orgânicos, espuma
	Flotação por ar dissolvido	Matéria graxa, espuma
	Coagulação e sedimentação	Sólidos orgânicos, precipitados químicos, espuma
Secundário	Lodos ativados em geral, Filtros biológicos, com sedimentação final	Sólidos gerados no processo biológico
Terciário	Coagulação química e sedimentação	Sólidos da precipitação química, hidróxidos
	Filtração em areia	Sólidos na água de lavagem
	Adsorção em carvão ativado	Carvão ativado para ser regenerado

Fonte: Jordão e Pessoa (2009)

A etapa mais importante do tratamento é a secundária, pois tem como objetivo a remoção da matéria orgânica, que é feita por microrganismos, por meio de reações

bioquímicas (VON SPERLING, 1997). Há vários tipos de tratamentos e podem ser divididos basicamente em tratamentos aeróbios e anaeróbios.

Sant'Anna Jr. (2013, p. 67) relata que “o tratamento aeróbio procura reproduzir, de modo intensivo, o processo de degradação dos poluentes que ocorre nos sistemas aquáticos naturais, não inteiramente comprometidos ou saturados”. Em suma, segundo Freire (2000, p. 506), o processo aeróbio “fundamenta-se na utilização de bactérias e fungos que requerem oxigênio molecular. As suas formas mais comuns de aplicação industrial estão representadas pelas lagoas aeradas e pelos sistemas de lodos ativados”.

Em sistemas aeróbios temos as seguintes características:

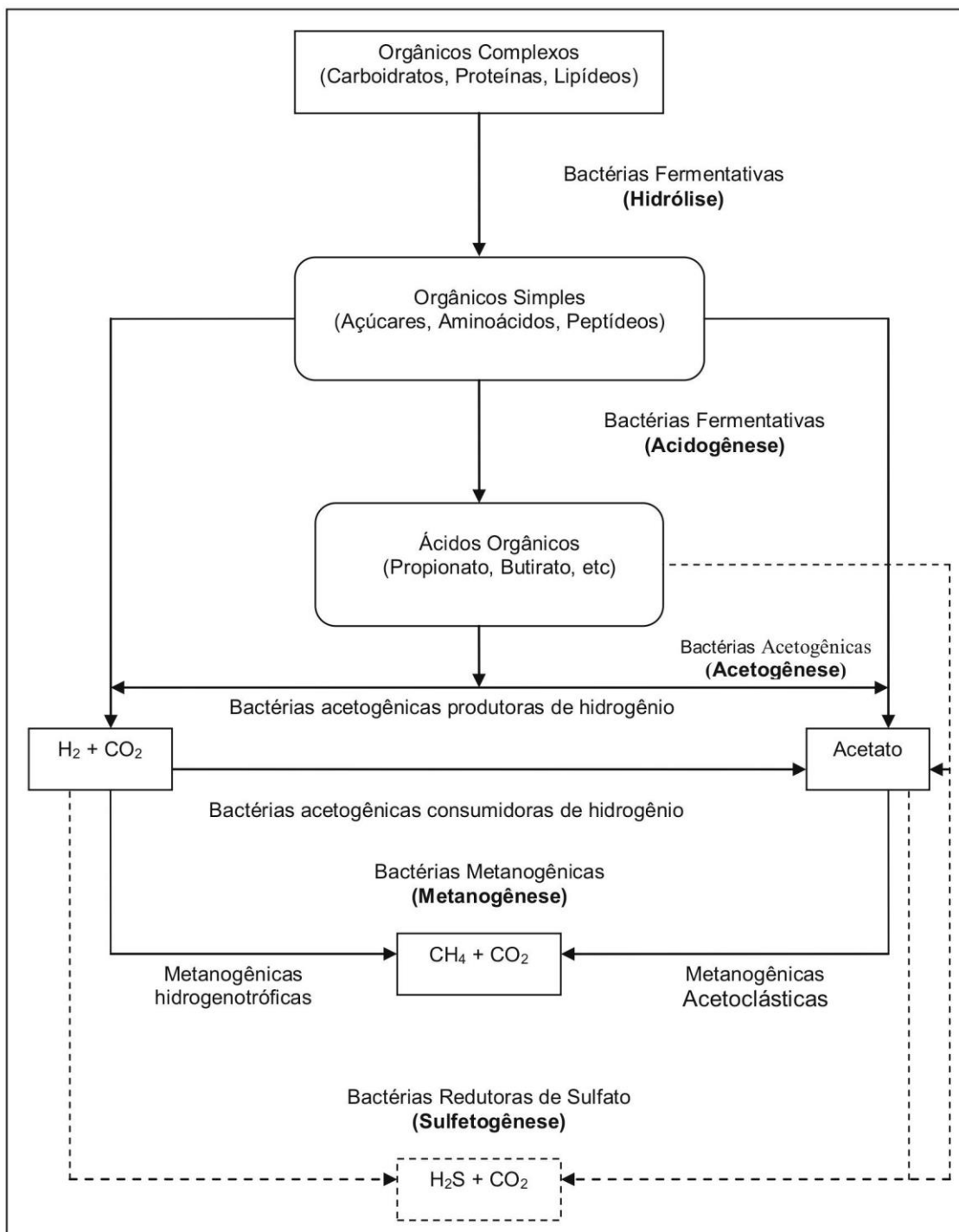
(...) ocorre somente cerca de 40 a 50% de degradação biológica, com a consequente conversão em CO₂. Verifica-se uma enorme incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 50 a 60%), que vem a se constituir o lodo excedente do sistema. O material orgânico não convertido em gás carbônico ou em biomassa deixa o reator como material não degradado (5 a 10%). (CHERNICHARO, 1995, p. 17).

Atualmente, por sua vez, os processos anaeróbios se tornaram mais populares devido sua ampla gama de aplicação, podendo tratar resíduo sólidos, dejetos animais, efluentes industriais agrícolas, alimentícios e de bebidas, e, muito empregado para tratamento de esgoto doméstico.

O processo anaeróbio consiste na degradação da matéria orgânica por via anaeróbia, convertendo-a em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia e novas células bacterianas. Sua aplicação é mais eficiente em países de clima tropical e subtropical, uma vez que, depende significativamente da temperatura dos esgotos, cuja faixa ótima está entre 25 e 35°C, para alcançar melhores resultados (CHERNICHARO, 1997) (METCALF & EDDY; TCHOBANOGLOUS, 2003).

O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido nas etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese. O esquema resumido é mostrado pela Figura 2.

Figura 2– Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia



Fonte: Chernicharo (1997)

Algumas das principais vantagens são: baixa produção de sólidos; baixos custos de implantação; baixa demanda de área de construção; baixo consumo de nutrientes; possibilidade de construção em pequena e grande escala; produção de

metano e possibilidade de utilizar o gás como combustível; baixo consumo de energia; suporta cargas orgânicas elevadas; o reator não necessita de alimentação por meses. Dentre as desvantagens temos: inibição das bactérias por muitos compostos; necessidade de tratamento posterior; sensível a mudanças de temperatura; possibilidade de geração de gases com odores desagradáveis; a partida do processo pode ser lenta na falta de lodo de sementeira (METCALF & EDDY; TCHOBANOGLOUS, 2003)

Embora o tratamento anaeróbio seja muito utilizado, principalmente nas ETE's, ele é limitado. Jordão e Pessoa (2009, p. 904) apontam que “a experiência tem indicado remoções de DQO na faixa de 40 a 75% e de DBO na faixa de 45 a 85%, esta variação sendo principalmente função do tempo de detenção hidráulica”, logo, o efluente necessita de um tratamento posterior ao anaeróbio para remover os poluentes restantes, ou, a utilização de processos alternados, visando a compactação das estações e aumento da eficiência do tratamento (METCALF & EDDY; TCHOBANOGLOUS, 2003) (FREIRE, 2000).

No Brasil, a resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011 e sua alteração na resolução n° 357, de 17 de março de 2005 estabelecem limites para lançamentos de efluente de estações de tratamento de esgotos (ETE), sendo que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C) deve ter remoção mínima de 60% (BRASIL, 2011).

2.3 REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO

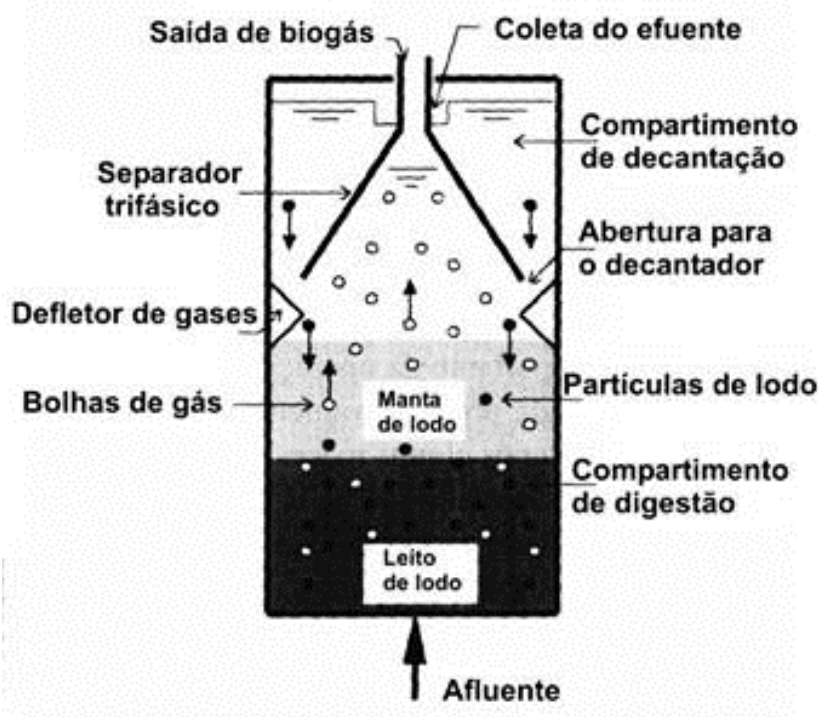
Um dos principais meios de tratamento anaeróbio desenvolvido foi o reator de fluxo ascendente e manta de lodo, conhecido como *Upflow Anerobic Sludge Blanket* (UASB) ou Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF). Nestes reatores o manto de lodo é disposto dentro do reator e não é suportado por nenhum dispositivo. O crescimento do manto é devido ao crescimento de novas bactérias e aglomeração em grânulos (CHERNICHARO, 1997) (METCALF & EDDY; TCHOBANOGLOUS, 2003).

O princípio de funcionamento consiste na alimentação do efluente pelo fundo do reator, que percorre o leito de lodo, ocorrendo a estabilização da matéria orgânica em toda sua extensão. Consequente à digestão, a matéria orgânica se desdobra em gases (gás carbônico, metano, sulfídrico) e biomassa. O seguinte autor relata que:

Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), que é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a se constituir o lodo excedente do sistema. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se via de regra mais concentrado e com melhores características de desidratação. O material não convertido em biogás ou em biomassa deixa o reator como material degradado (10 a 30%) (CHERNICHARO, 1997, p. 17-18),

Na parte superior do reator, há um decantador que barra a biomassa mais leve, impedindo-a de sair com o efluente, e um coletor de gases para retirá-los do sistema e receberem outras possíveis destinações. O efluente sai clarificado pela parte superior do reator (VON SPERLING, 1995) (CHERNICHARO, 1997). O sistema é mostrado pela Figura 3.

Figura 3 – Esquema de funcionamento RALF



Fonte: Jordão e Pessoa (2009)

O fator determinante para a eficiência na remoção da matéria orgânica é a altura do reator e o tempo de detenção hidráulica. Quanto maior o tempo de contato

entre o efluente e o manto de lodo, maior será a eficiência do processo. O tempo de detenção hidráulica para esgoto doméstico, com temperatura em torno de 20°C, varia de 4 a 10 horas, porém, estudos indicam que o tempo de detenção hidráulica não deve ser inferior a 4,8 horas, pois, pode ocorrer arraste de biomassa para fora do reator e o tempo de permanência ser insuficiente para a digestão da matéria orgânica (CHERNICHARO, 1997).

O desempenho do reator é medido de acordo com a remoção em porcentagem de DBO, DQO, SST e patogênicos, e em média, a remoção varia de 50 a 70%, 60 a 85%, 60 a 85% e 85%, respectivamente (BARÉA, 2006).

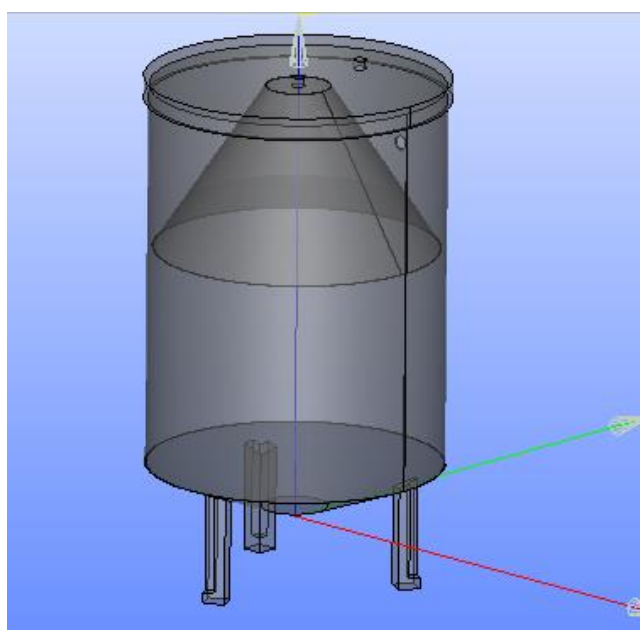
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item serão apresentados os métodos seguidos para a realização do trabalho, que consistiu no projeto e na construção de um reator anaeróbio de leito fluidizado. Tal reator, também chamado de RALF, realiza o tratamento do esgoto doméstico por meio da digestão de matéria orgânica realizada por bactérias anaeróbias.

O projeto do RALF de bancada foi adaptado do modelo já existente em empresas de saneamento no Brasil, mas com algumas modificações, visando a construção de um reator barato e didático para utilização em aulas práticas no curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. O lodo utilizado para o teste do reator foi cedido pela companhia de saneamento da cidade de Ponta Grossa.

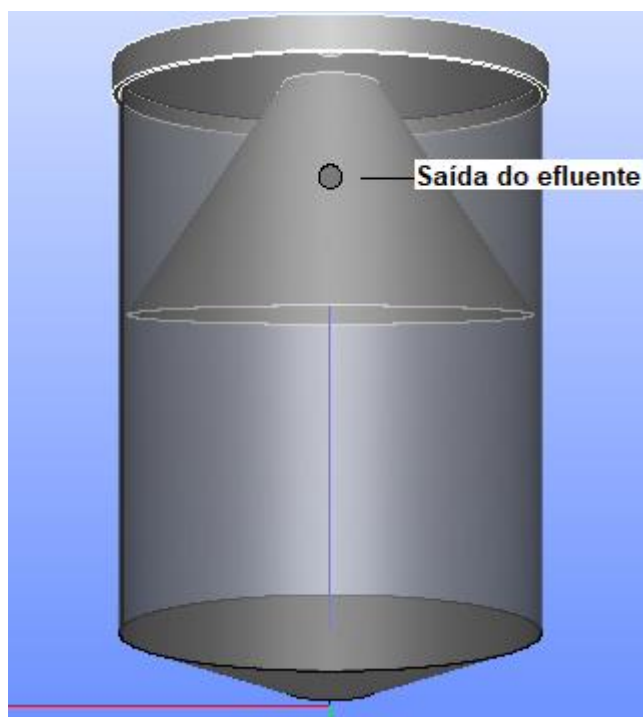
Antes da construção do reator, realizou-se seu projeto por meio do software de desenho tridimensional Salome® para definir as dimensões, pontos de entrada e saída do efluente, e assim, evitar erros na execução da construção e desperdício de recursos e materiais. As Figuras 4, 5, 6 e 7 mostram os desenhos tridimensionais do reator, o ponto de saída do efluente, a perspectiva do decantador acoplado à tampa e os pontos de entrada do efluente e saída de gases, respectivamente.

Figura 4 – Projeto do RALF em desenho tridimensional



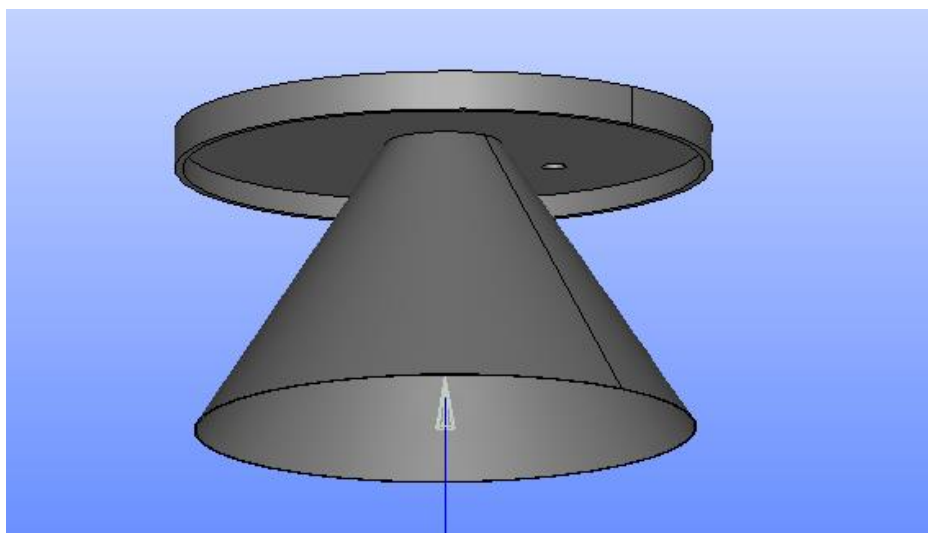
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 5 - Posição do ponto de saída do efluente



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 6 - Tampa do reator com o decantador acoplado



Fonte: Autoria própria (2019)

lado do galão, fez-se outro furo para a fixação de uma mangueira com cola silicone, criando-se o ponto de saída do efluente.

Um dos principais componentes do RALF é o decantador de matéria orgânica, que impedirá o arraste do restante da matéria orgânica presente e em suspensão. O decantador foi construído por 3 folhas de pastas plásticas flexíveis, com dimensões de folha A4, coladas umas às outras, em formato cônico, por cola multiuso. Os diâmetros do cone foram estabelecidos de acordo com o diâmetro do galão. O diâmetro menor do decantador foi fixado na tampa e, para garantir a passagem do efluente, o diâmetro maior, que fica para dentro do reator, foi posicionado com distância aproximada de 1 cm das bordas internas.

Finalizada a montagem, revestiu-se externamente o reator com manta asfáltica para não haver alterações bruscas da temperatura causadas por fatores externos.

3.3 MÉTODO PARA O CÁLCULO DA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO

Sabendo que, teoricamente, para se obter um resultado satisfatório, a faixa de detenção hidráulica do efluente no reator deve ser de 5 a 10 horas, logo, a vazão deveria ser determinada de modo a operar continuamente nesta faixa. A fórmula para o cálculo da vazão é mostrada pela Equação 1, a seguir:

$$Q = \frac{V}{TDH} \quad (1)$$

Onde: Q é a vazão em ml/min; V o volume do reator em ml; TDH é o tempo de detenção hidráulica em min.

Pela Equação 1 observa-se que, para o cálculo da vazão, era necessário conhecer o volume de efluente dentro do reator, mas, devido a definição do ponto de saída do efluente na lateral do galão, perdeu-se parte do volume inicial, que, inicialmente, era de 20 litros. Então, para determinar o novo volume, com um recipiente de 5 litros, encheu-se o reator com água até o ponto de saída do efluente.

Para a alimentação do reator, foi escolhida a bomba do tipo peristáltica, utilizada para pequenas vazões. Ela não possui ajuste de potência e nem fonte de alimentação de energia. Assim, para o controle da potência, conectou-se o módulo

PWM à bomba e a uma fonte de energia. O módulo PWM não possui regulação precisa da potência, então, para que a vazão fosse igual a calculada deveria ser feito um experimento. O experimento consistia em observar em quanto tempo um recipiente seria cheio com água, assim, seria possível calcular a vazão e ajustá-la até obter a vazão desejada.

Com o sistema montado, abriu-se a tampa do reator, inseriu-se o lodo de bactérias fornecido por uma empresa de saneamento e fechou-se a tampa. Colocou-se a mangueira de alimentação em um galão contendo o esgoto e a mangueira de saída em outro galão vazio e limpo para coletar o efluente tratado. Ligou-se a fonte de alimentação à tomada dando início ao processo. Para a obtenção de um melhor resultado, utilizou-se um agitador para homogeneizar o efluente dentro do galão de alimentação. Após aproximadamente 8 horas coletou-se a amostra do efluente para análise de DQO. O Anexo A apresenta o manual de operação do RALF.

3.4 ANÁLISE DE DQO

As análises de DQO do efluente tratado pelo RALF foram realizadas em triplicata pela empresa de saneamento colaboradora. O método de determinação da DQO consiste na oxidação da amostra de efluente com uma solução sulfúrica quente de dicromato de potássio em catalisador de sulfato de prata.

O procedimento indica a quantidade de oxigênio do dicromato de potássio que reage com substâncias oxidáveis contidas em 1 litro de efluente. Cada mol de dicromato de potássio corresponde a 1,5 mol de oxigênio, indicando, então, uma concentração em mg/L de DQO.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

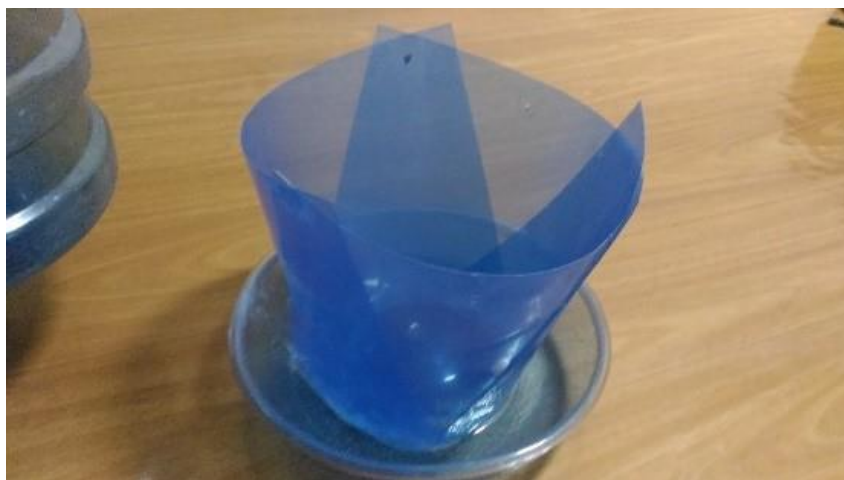
Para a construção do reator foi utilizado um galão d'água com capacidade de 20 litros, pois, além de ser em plástico resistente, o seu formato cilíndrico e alongado garante maior fidelidade ao princípio de funcionamento do RALF e maior eficiência por possibilitar maior tempo de detenção hidráulica. A bomba escolhida para transporte do efluente foi a do tipo peristáltica, por ter tamanho reduzido e baixa vazão, atendendo perfeitamente às necessidades do projeto.

Com base nessas escolhas, foram selecionados outros materiais de baixo custo e que ainda fossem resistentes à longo prazo em contato direto com o efluente para a construção do reator. Os materiais utilizados foram:

- Galão d'água com capacidade de 20 litros;
- Manta asfáltica;
- Bomba peristáltica com vazão de 0 a 100 ml/min;
- Fonte de alimentação de energia bivolt;
- Módulo PWM;
- Mangueira cristal ½ polegada;
- Pastas plásticas de arquivo;
- Silicone para vedação;
- Cola multiuso;
- Ferro de solda;
- Fios.

A seguir, a Figura 8 mostra o resultado da colagem das pastas em formato cônico, formando o decantador, e sua junção à estrutura da tampa, formando o conjunto para a barragem da matéria orgânica durante o tratamento do esgoto.

Figura 8 – Decantador construído e acoplado à tampa do RALF



Fonte: A autoria própria (2019)

A Figura 9 mostra a etapa seguinte da montagem do reator, com a tampa já acoplada e as mangueiras de entrada (topo da tampa) e saída (lateral do reator) conectadas.

Figura 9 – Montagem completa do RALF



Fonte: A autoria própria (2019)

Após a conexão das mangueiras, foi montado o sistema de transporte do esgoto para o reator, através da mangueira de entrada. O sistema completo é formado pela bomba peristáltica conectada ao módulo PWM, que por sua vez, foi ligado à fonte de alimentação. A seguir, a Figura 10 mostra a instalação completa.

Figura 10 – Instalação da bomba peristáltica e módulo PWM para transporte do efluente



Fonte: Autoria própria (2019)

O sistema completo de tratamento do RALF foi composto pelo recipiente contendo o esgoto bruto, que era captado pela bomba peristáltica e enviado para dentro do reator por meio da mangueira de alimentação e o recipiente de captação que coletava o efluente tratado do reator. A Figura 11 mostra o sistema montado do RALF em operação.

Figura 11 - RALF e componentes em operação para o tratamento de esgoto



Fonte: A autoria própria (2019)

Após a construção e montagem do reator e dos demais componentes, a nova capacidade máxima, em volume, foi de 16 litros. Para o cálculo da vazão de alimentação, fixou-se o TDH em 8 horas, sendo assim, para um volume útil determinado de 16 litros, a vazão obtida foi de 33 ml/min. Logo, ajustou-se a bomba peristáltica para encher com água um recipiente de 50 ml em 1,5 min.

Foram realizados dois experimentos em temperaturas ambiente de 22 e 18°C, respectivamente. As análises de DQO foram feitas em triplicata e os resultados estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 2 - Resultados da análise de DQO (mg/L) dos experimentos 1 e 2.

Nº da amostra	Esgoto bruto 1 (mg/L)	Esgoto tratado 1 (mg/L)	Esgoto bruto 2 (mg/L)	Esgoto tratado 2 (mg/L)
1	345	128	312	135
2	343	120	323	138
3	340	124	319	140

Fonte: A autoria própria (2019)

A eficiência do reator é calculada pela Equação 2, comparando as concentrações iniciais e finais de DQO, e os resultados são dispostos na Tabela 4.

$$E_f = \left(1 - \frac{T}{B}\right) \times 100 \quad (2)$$

Em que: T é o esgoto tratado (saída); B é o esgoto bruto (entrada); E_f é a eficiência.

Tabela 3 - Resultados da eficiência dos experimentos 1 e 2.

Nº da amostra	Eficiência	Eficiência
	experimento 1	experimento 2
	(%)	(%)
1	62,90	56,73
2	65,00	57,28
3	63,81	56,71

Fonte: Autoria própria (2019)

No primeiro experimento obteve-se bons resultados da eficiência, com uma média de remoção de DQO de 63,81%, enquanto que, no segundo experimento, houve uma redução da eficiência, com média de 56,71%. O primeiro valor está dentro daquele esperado para grandes construções, que está entre 60 e 85% de remoção, enquanto que o segundo experimento está um pouco abaixo dessa faixa.

Sabe-se que a temperatura é um fator de grande importância para a atividade das bactérias presentes no manto lodo, podendo afetar o desempenho do reator em temperaturas abaixo de 20°C. Logo, a divergência entre as eficiências médias dos experimentos 1 e 2 provavelmente foi ocasionada pela diferença de temperatura em que os processos ocorreram, uma vez que todas as outras condições foram semelhantes.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho mostrou a possibilidade de construir um reator anaeróbio cujo funcionamento assemelha-se àqueles utilizados por empresas de saneamento. Além da construção, outro fator importante era atestar o funcionamento do RALF, que se deu pela análise de DQO do efluente tratado.

Embora houve variação na eficiência de remoção de DQO do experimento 1 para o 2 devido a diferença de temperatura dos testes, os resultados foram promissores, estiveram próximos aos valores esperados e comprovaram o funcionamento e possibilidade da utilização do RALF para fins didáticos.

Como projeto futuro, para corrigir a variação de remoção de DQO de um experimento para outro, sugere-se a implementação de um sistema de aquecimento e controle de temperatura, para que, antes do início do tratamento, o efluente esteja próxima a faixa de temperatura ideal de 25 e 35°C e que seja mantido constante durante o processo.

REFERÊNCIAS

ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 12, n. 1, p. 517-526, 2003. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6711/6055>>. Acesso em 17 mai. 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1986. **Norma NBR 9648/1986 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, BR, 1986.

BARÉA, Luís. C. **RALF, Reator Anaeróbio de Manto de Lodo e Fluxo Ascendente reduzindo custos e economizando energia no Tratamento de Esgotos. Companhia Paranaense de Saneamento-Sanepar**. v. 87, p. C3, 2006. Disponível em: <[http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/1B9DF09C9EAE4D2B832573760042EB40/\\$File/APRESENTA%C3%87%C3%83O_RALF_SANEPAR%20-.pdf?OpenElement](http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/filesmng.nsf/1B9DF09C9EAE4D2B832573760042EB40/$File/APRESENTA%C3%87%C3%83O_RALF_SANEPAR%20-.pdf?OpenElement)>. Acesso em: 19 mai. 2018.

BOTTAMEDI, Deinar; BONAMENTE, Jorge. L. **Tratamento de efluentes líquidos residenciais utilizando sistemas condominiais**. *Maiêutica-Gestão Ambiental*, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/GAM_EaD/article/view/365/81>. Acesso em: 2 out. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 19 mai. 2018.

BRASIL. Resolução nº 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. **Diário Oficial da União**, 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 19 mai. 2018.

CHERNICHARO, Carlos. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 1997. v. 5, 246 p.

FREIRE, Renato S. et al. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas**. Química nova, 2000.

GLOBO.COM. **Saneamento avança, mas Brasil ainda joga 55% do esgoto que coleta na natureza, diz estudo**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55-do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

JORDÃO, Eduardo P.; PESSOA, Constantino A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES. 904 p., 2009.

METCALF & EDDY, Boston; TCHOBANOGLOUS, George. Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003.

OLIVEIRA, Sílvia M. A. C.; VON SPERLIG, Marcos. **Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias**. Parte 1 - Análise de desempenho. Eng. sanit. ambient., v. 10, n. 4, p. 347-357, out./dez. 2005.

OSORIO, Viktoria K. L.; OLIVEIRA, Wanda de. **Polifosfatos em detergentes em pó comerciais**. Química Nova, Vol. 24, n. 5, p. 700-708, 2001.

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

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2014**. Brasília, 2016.

TCHOBANOGLOUS, George; BURTON, Franklin L.; STENSEL, H. David. **Wastewater Engineering**. Management, v. 7, p. 1-4, 1991. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/6207/8b4bd84e66725d2a5c4f38d00609f022dd08.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

UNGA – UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY. **Human Right to Water and Sanitation**. Geneva: Unga, 2010. UN Document A/RES/64/292. Disponível em: <http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292>. Acesso em: 20 mai. 2018.

VALENTE, José P. S.; PADILHA, Pedro M.; SILVA, Assunta M. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. Eclét. Quím. São Paulo, v. 22, p. 49-66, 1997. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46701997000100005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 7 jun. 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 472 p.

ANEXO A - Manual de Operação do RALF

MANUAL DE OPERAÇÃO DO REATOR ANAERÓBIO DE LEITO FLUIDIZADO (RALF)

O RALF é um reator anaeróbio para pré-tratamento de esgoto doméstico e tem como princípio de funcionamento a digestão da matéria orgânica do esgoto por meio de bactérias anaeróbias. Seu modo de tratamento consiste na alimentação do efluente no reator por fluxo ascendente. O efluente passa através do manto de lodo, que é inicialmente inserido dentro do reator, e sai pré-tratado pela saída lateral.

O reator possui os seguintes componentes:

- Corpo do reator (galão d'água);
- Tampa superior;
- Decantador (cone fixo dentro da tampa);
- Mangueira de alimentação (fixa na tampa do reator) e mangueira de saída do efluente (lateral do corpo do reator);
- Bomba peristáltica;
- Módulo PWM;
- Fios elétricos;
- Fonte de energia.

1) MEDIDAS DE SEGURANÇA

É recomendado a utilização de EPI's para o manuseio do efluente e do lodo ativado.



2) SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES

- Verificar a fixação das mangueiras de alimentação e de saída;
- Abrir a tampa do reator, se fechado;
- Verificar se a mangueira de alimentação, na tampa, chega até o fundo do reator;
- Verificar a fixação do cone decantador na parte interior da tampa;
- Conectar os fios da bomba peristáltica à fonte de alimentação;
- Ligar a fonte de alimentação à tomada;
- Observar o fluxo de bombeamento (se necessário, testar com um recipiente contendo água);
- Ajustar o botão do módulo PWM para obter a velocidade desejada da bomba;
- Desligar a fonte de alimentação;
- Conectar a ponta de sucção da bomba à mangueira de captação do efluente contido em um recipiente de armazenamento;
- Conectar a outra ponta da mangueira da bomba à mangueira de alimentação;
- Inserir o lodo dentro do reator (ATENÇÃO!);
- Fixar a tampa ao reator, com o cone para dentro;
- Checar se o cone está a aproximadamente 1 cm das laterais do corpo do reator;
- Ligar a fonte de alimentação à tomada.

3) OBSERVAÇÕES

- Abrir lentamente o recipiente contendo o lodo armazenado, pois há risco de estouro da embalagem.
- O ajuste da vazão da bomba peristáltica deve ser feito experimentalmente e manualmente.