

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
CAMPUS SERTÃO  
EIXO DAS TECNOLOGIAS  
ENGENHARIA CIVIL

ALAN SILVA ARAÚJO

**Tratamento de Esgoto Sanitário Utilizando Reator Anaeróbio - Aeróbio de Leito Fixo**

Delmiro Gouveia/AL  
2016/1

ALAN SILVA ARAÚJO

**Tratamento de Esgoto Sanitário Utilizando Reator Anaeróbio - Aeróbio de Leito Fixo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

Delmiro Gouveia/AL  
2016/1

Treatamento de Esgoto Sanitário Utilizando Reator Anaeróbio- aeróbio de Leito Fixo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

**A663t Araújo, Alan Silva**

**Tratamento de esgoto sanitário utilizando reator anaeróbio- aeróbio de leito fixo / Alan Silva Araújo. - 2016.**

64f.: il.

**Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2015.**

**Orientação: Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.**

**1. Biomassa Imobilizada. 2. Reator Combinado.**

**CDU 633**

## Folha de Aprovação

AUTOR: ALAN SILVA ARAÚJO

(Tratamento de Esgoto Sanitário Utilizando Reator Anaeróbio - Aeróbio de Leito Fixo / trabalho de conclusão de curso da Universidade Federal de Alagoas, na forma normatizada e de uso obrigatório)

TCC/Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada em (dia) de (mês) de (ano).

*Antonio Netto*

(Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto, Universidade Federal de Alagoas) (Orientador)

### Banca Examinadora:

*Antonio Netto*

(Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto, Universidade Federal de Alagoas) (Examinador Interno)

*Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim*  
(Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim, Universidade Federal de Alagoas) (Examinador Externo)

*Raniere Henrique Pereira Lira*  
(MSc. Raniere Henrique Pereira Lira, Universidade Federal de Alagoas) (Examinador Interno)

A Deus, aos meus pais e aos meus Amigos...  
Companheiros de todas as horas.....

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao a Deus, por de alguma forma sempre me guiando para a vitória com tribulações que contribuíram e contribui para a minha formação humana, além de ter me guiado para o sucesso desse trabalho.

Aos meus pais, minha mãe Rosalia e meu pai Antônio pela compreensão e paciência pelos meus momentos de infelicidade, ao meu grande amigo e irmão Alexandre pelo companheirismo desde do ventre materno até os dias de hoje e que com certeza perdurará até o fim de nossas vidas, pela sua disposição em sempre me ajudar, pelo seu empenho e pela sua torcida em um dia olharmos para trás e poder dizer que vencemos, pois de alguma maneira não foi fácil chegar até esse momento, agradeço pelos seus conselhos, irmandade, amizade e pelo seu zelo e que sem sombra de dúvidas sem a sua presença não seria possível a realização desse trabalho, a minha segunda mãe, minha Irmã Joelma, que com certeza me ajudou a ser uma pessoa mais humana e compreender que limites são condições impostas pelo individuo, agradecer também ao meu cunhado Luciano pelo seu companheirismo e no exemplo de pessoa que me inspirou e me inspira a sempre lutar pela vida.

Agradeço também ao meu amigo irmão Thiego Barros, que com sua simplicidade e alegria contagiante possibilitou-me a ver a vida com mais valor e com sua atenção sempre se pôs a me ouvir pacientemente e contribuir com seus conselhos além de sempre estar a disposição para qualquer eventualidade, amigo que se tornou irmão e que agradeço a Deus pela sua amizade. Não poderia de deixar de citar o nome da pessoa que também me aceitou como filho com seu jeito doce e amor de mãe e que contribuiu com seus conselhos e ensinamentos para a minha formação a senhora Dona Elena (in memoria).

Aos meus professores do ensino médio grandes amigos Paulo Sergio e Everaldo, que contribuíram positivamente com seus conselhos e disposição sempre em ajudar em momentos bons e difíceis na minha vida, a minha psicóloga e amiga doutora Patriana que me ajudou a conviver com as adversidades e seguir em frente no curso.

Ao meu amigo Padre José Aparecido pelo seu carinho, pelo seu zelo e exemplo de ser humano que me ajudou na minha formação como ser social de responsabilidade para com a sociedade, agradeço pela sua grande virtude como ser humano à caridade para com os outros e pelo seu ouvido amigo.

Agradeço aos meus colegas de cursos que com o tempo ganhei ao longo dessa caminhada, a amizade do seu Dimas Crescencio, de seu Osvaldo Nogueira e de Seu Israel Lemos que com muito companheirismo contribuiu para a minha formação, nas equipes de trabalhos nas noites de estudos juntos e dos desafios que a vida impusera, além também dos momentos de alegria e felicidade que tivemos, foram grandes momentos e momentos inesquecíveis, que levarei para a vida.

Ao meu Orientador o Professor Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto, pela sua paciência, parceria e eximia orientação que considero como amigo e que possibilitou o sucesso desse trabalho, ao técnico do Laboratório de Saneamento Marcel Garrido que contribuiu na construção de aparatos para que fosse possível as coletas das amostras.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a chegada desse momento.

“É graça Divina começar bem, Graça Maior, persistir na caminhada certa. Mas, a graça das graças é não desistir”

(Autor Desconhecido)

## RESUMO

O presente trabalho avaliou o desempenho de um reator de bancada que combina os processos anaeróbio e aeróbio, no tratamento de esgoto sanitário operado de modo contínuo. Esse tipo de reator busca aproveitar seus aspectos positivos minimizando suas desvantagens, além de possibilitar menores custos operacionais, baixa geração de lodo, remoção de nutrientes e, sobretudo, a retenção elevada de microrganismos. Sendo assim, foi utilizado um reator de leito fixo de escoamento ascendente, operado de modo contínuo, com bucha vegetal de cucurbitácea como suporte de imobilização da biomassa. Em uma primeira etapa, o reator operou de forma anaeróbia com três tempos de detenção hidráulica (TDH) de 8, 6 e 4 horas, tendo melhores valores de remoção sendo superiores a 80%, com valores de DQO efluente abaixo de 150 mg/L. Em uma segunda etapa, foi inserido ar na parte superior do reator, precedido por câmara de aeração. Assim, o reator passou a operar, ao mesmo tempo, como anaeróbio-aeróbio de leito fixo com fluxo ascendente. Este compartimento também foi preenchido com bucha vegetal para imobilização da biomassa. Onde o sistema operou com um TDH de 8 horas tendo eficiência superior a 90%, com DQO efluente abaixo de 80 mg/L. O reator em estudo apresentou estabilidade operacional, significativa remoção de matéria orgânica bem como grande remoção de sólidos suspensos.

**Palavras-chave:** Reator Combinado, Tratamento anaeróbio-aeróbio, Biomassa imobilizada.



## ABSTRACT

This study evaluated the performance of a bench reactor that combines anaerobic and aerobic processes in sewage treatment performed continuously. This type of reactor seeks to harness their positive aspects minimizing their drawbacks, and enable lower operating costs, lower sludge generation and removal of nutrients, particularly, high retention of microorganisms. Thus, we used an upflow fixed bed reactor operated continuously with loofah of cucurbit as support to immobilization. In a first step, the anaerobic reactor operated with three hydraulic retention time (HRT) of 8, 6 and 4 hours, with organic matter removal greater than 80% and COD values effluent below 150 mg/L. In a second step, air was inserted at the top of the reactor. Thus, the system was operated as upflow anaerobic-aerobic fixed bed reactor. The combined system operated at HRT 8 hours with efficiency exceeding 90% and COD effluent below 80 mg/L. The reactor presented operational stability and significant removal of suspended solids and organic matter.

**Keywords:** Combined Reactor, Anaerobic-Aerobic Treatment, Immobilized Biomass.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Municípios com serviço de rede coletora de esgoto - Brasil – 2008.....	4
<b>Figura 2:</b> Diagrama esquemático da digestão Anaeróbia. ....	9
<b>Figura 3:</b> Fluxograma.....	15
<b>Figura 4:</b> Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo. ....	16
<b>Figura 5:</b> Reator preenchido com o material e iniciando procedimento experimental. ....	17
<b>Figura 6:</b> Reator em operação. ....	18
<b>Figura 7:</b> Peneiramento do esgoto.....	19
<b>Figura 8:</b> Material Suporte (Bucha Vegetal).....	20
<b>Figura 9 :</b> Planta de situação da ETE e do ponto de Coleta na Universidade Federal de Alagoas - Campus do Sertão. ....	21
<b>Figura 10:</b> Bomba desenvolvida em Laboratório para retirada do efluente no ponto de coleta. ....	22
<b>Figura 11:</b> Ponto de coleta (fossa do Campus do Sertão). ....	23
<b>Figura 12:</b> Amostras de entrada e saída do reator. ....	23
<b>Figura 13:</b> Difusor poroso. ....	25

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – tipos de pós-tratamento em efluentes de reatores anaeróbios. ....	11
<b>Tabela 2</b> – Parâmetros Analisados, método utilizado e frequência de amostragem. ....	24
<b>Tabela 3</b> – Procedimento experimental utilizado durante a operação do sistema. ....	25
<b>Tabela 4</b> – Média de valores dos parâmetros analisados durante a etapa de 8 horas. ....	27
<b>Tabela 5</b> – Média de valores dos parâmetros analisados durante a etapa de 6 horas. ....	31
<b>Tabela 6</b> – Média de valores dos parâmetros analisados durante a etapa de 4 horas. ....	35
<b>Tabela 7</b> – Comparação entre os valores efluentes das três fases anaeróbias estudadas. ....	39
<b>Tabela 9</b> – Comparação entre os valores efluentes das três fases anaeróbias estudadas. ....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-</b> Percentual de municípios com rede coletora de esgoto, segundo as Grandes Regiões - 2000/2008.....	5
<b>Gráfico 2:</b> Percentual do esgoto coletado tratado, segundo as classes de tamanho da população dos municípios - Brasil – 2008. ....	6
<b>Gráfico 3</b> - Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário - Brasil - 2000/2008.....	7
<b>Gráfico 4</b> – Variação temporal da DQO para o reator de leito fixo com TDH de 8horas.....	27
<b>Gráfico 5</b> - Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta média e filtrada para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 8 horas. ....	28
<b>Gráfico 6</b> – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 8 horas.....	29
<b>Gráfico 7</b> – Variação temporal de sólidos suspensos totais para o reator de leito fixo com TDH de 8horas. ....	29
<b>Gráfico 8</b> – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis para o reator de leito fixo com TDH de 8 horas. ....	30
<b>Gráfico 9</b> – Variação temporal da DQO para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas.....	31

<b>Gráfico 10</b> - Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta média e filtrada para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 6 horas. ....	32
<b>Gráfico 11</b> – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 6 horas.....	33
<b>Gráfico 12</b> – Variação temporal de sólidos suspensos totais para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas. ....	33
<b>Gráfico 13</b> – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas. ....	34
<b>Gráfico 14</b> – Variação temporal de sólidos para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas.	34
<b>Gráfico 15</b> – Variação temporal da DQO para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas....	35
<b>Gráfico 16</b> - Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta média e filtrada para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 4 horas. ....	36
<b>Gráfico 17</b> – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 4 horas.....	37
<b>Gráfico 18</b> – Variação temporal de sólidos suspensos totais para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas. ....	37
<b>Gráfico 19</b> – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas. ....	38

<b>Gráfico 20</b> – Variação temporal de sólidos para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas. .	38
<b>Gráfico 21</b> – Variação temporal de DQO para o reator de leito fixo em etapa combinada. ...	40
<b>Gráfico 22</b> – Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta e filtrada em reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas. ....	41
<b>Gráfico 23</b> – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.....	42
<b>Gráfico 24</b> – Variação temporal de sólidos suspensos totais afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.....	43
<b>Gráfico 25</b> – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.....	43
<b>Gráfico 26</b> – Variação temporal da eficiência bruta média para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.....	44

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg/L)

SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/L)

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica (h)

pH – Potencial hidrogeniônico

## SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivos da Pesquisa.....	2
1.1.1. Objetivo Geral .....	2
1.1.2. Objetivos Específicos .....	2
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO .....	2
2.1 Tratamento de Esgoto Sanitário .....	2
2.2 Tratamento Anaeróbio.....	7
2.2.1 Processo Anaeróbio.....	7
2.2.2 Reator Anaeróbio De Leito Fixo .....	9
2.3 Tratamento Combinado.....	10
2.3.1 Tipos de Pós-Tratamento .....	10
2.3.3 Reator Combinado.....	13
2.4 Considerações Finais.....	14
3.0 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
3.1 Visão Geral.....	15
3.2 Reator Combinado Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo.....	16
3.3 Inóculo.....	19
3.4 Material Suporte .....	19
3.5 Água Residuária .....	20
3.6 Coleta do Efluente na Fossa do Campus .....	22
3.7 Métodos Analíticos .....	24
3.8 Procedimento experimental.....	24
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	26
4.1 Avaliação do Desempenho do Reator .....	26
4.1.1 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia .....	26
4.1.2 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia com Tempo de Detenção Hidráulica de 8 Horas.....	26
4.1.3 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia com Tempo de Detenção Hidráulica de 6 Horas.....	30
4.1.4 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia com Tempo de Detenção Hidráulica de 4 Horas.....	35
4.2 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Combinada.....	39



4.3 Comparação entre a Fase Anaeróbia e a Fase Combinada.....	44
5.0 CONCLUSÕES.....	46
6.0 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS.....	46
7.0 REFERÊNCIAS .....	46

## 1.0 INTRODUÇÃO

A água é primordial para a manutenção da vida na terra, assim sendo é impossível conceber um mundo sem água. Segundo Sperling (2005) apenas 0,8% da água existente pode ser utilizada para abastecimento público, sendo que apenas 3% desta pequena parte se encontra na forma de água superficial de fácil extração.

O mau uso da água traz consequências que contribuem para a contaminação. Nesse contexto existem as interferências humanas que contribuem com a maior parcela da poluição em corpos d'água, e nesse sentido os seres humanos podem contribuir de forma concentrada, quando na geração de despejos domésticos ou industriais, ou de forma dispersa, como acontece na aplicação de defensivos agrícolas no solo. A partir disso é possível perceber que o uso e ocupação do solo pelo homem têm implicação direta na qualidade de vida (SPERLING, 2005).

Segundo dados do IBGE (2008), no Brasil, 52% dos municípios e 33,5% dos domicílios apresentam serviço de coleta de esgoto, ainda, o esgotamento sanitário é o serviço de saneamento básico com menos cobertura nos municípios brasileiros, apesar de ter crescido 10,6%. Vale ressaltar que de 1989 a 2000, o Brasil obteve um crescimento de 10%, em se tratando de serviço de esgotamento sanitário. Sendo assim, o atendimento tem nível mais baixo na região Norte, onde apenas 2,4% dos domicílios são atendidos, seguidos da região nordeste (14,7%), Centro-Oeste (28,1%) e Sul (22,5%). Deste modo, a região sudeste apresenta o melhor atendimento: 53,0% dos domicílios possuem rede geral de esgoto.

Diante desse Panorama, observa-se que as políticas públicas para o saneamento não foram muito expressivas, deste modo a criação de alternativas menos dispendiosas e eficientes são propostas que possam ter uma aceitação por parte dos gestores, podendo assim contribuir para mudança do cenário do saneamento no país.

A resolução CONAMA N°430/2011 seção III – Artigo 21 que remete a condições e padrões para efluentes de sistema de tratamento de esgotos sanitários, diz que a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5</sub>, 20°C: deve ter no máximo uma concentração de 120 mg/L. No mais, esse limite só poderá ser ultrapassado se o sistema de tratamento tiver eficiência mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento do enquadramento do corpo receptor.

O estudo desse trabalho tem como foco a análise do desempenho de um reator em escala de bancada de leito fixo e fluxo contínuo de escoamento ascendente com material suporte sendo de bucha vegetal de cucurbitácea, como suporte de imobilização da biomassa combinando os processos anaeróbio-aeróbio no tratamento de águas residuárias. Deste modo, a combinação dos processos anaeróbio e aeróbio tem como objetivo aproveitar as vantagens de cada um, minimizando seus aspectos negativos. Assim sendo pode-se afirmar que o reator em escala de bancada de leito fixo com fluxo ascendente, torna-se uma alternativa eficiente e que pode contribuir significativamente no tratamento de águas residuárias, tendo em vista os resultados encontrados por (ARAÚJO JR, MM, 2006) e (OLIVEIRA NETTO, 2007 e 2011).

Espera-se assim contribuir com a implantação e ampliação das áreas de pesquisa dos laboratórios do campus do sertão, com a melhoria da qualidade de ensino e pesquisa na graduação e pós-graduação e com a área de tratamento de efluentes no âmbito nacional.

## **1.1 Objetivos da Pesquisa**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de escoamento ascendente e leito fixo, operado de modo contínuo, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário, contendo biomassa imobilizada em suporte de baixo custo e fácil obtenção na região de estudo (bucha vegetal de cucurbitácea).

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Avaliar a influência da variação do TDH sobre remoção de matéria orgânica;

Avaliar a influência da inclusão da zona aeróbia sobre a remoção de matéria orgânica.

## **2.0 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Tratamento de Esgoto Sanitário**

Em uma pesquisa feita pelo instituto Brasileiro de Geografia e estatística, observou-se em uma comparação de dados levantados pela Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB (2008) com aqueles obtidos pela PNSB (2000), aonde, permitiu-se constatar a evolução dos serviços de saneamento básico oferecidos à população brasileira nesse intervalo de tempo.

Relatou-se que quase totalidade dos municípios brasileiros, possuem serviço de manejo de resíduos sólidos, tendo em apenas duas dessas localidades, onde o mesmo não foi realizado.

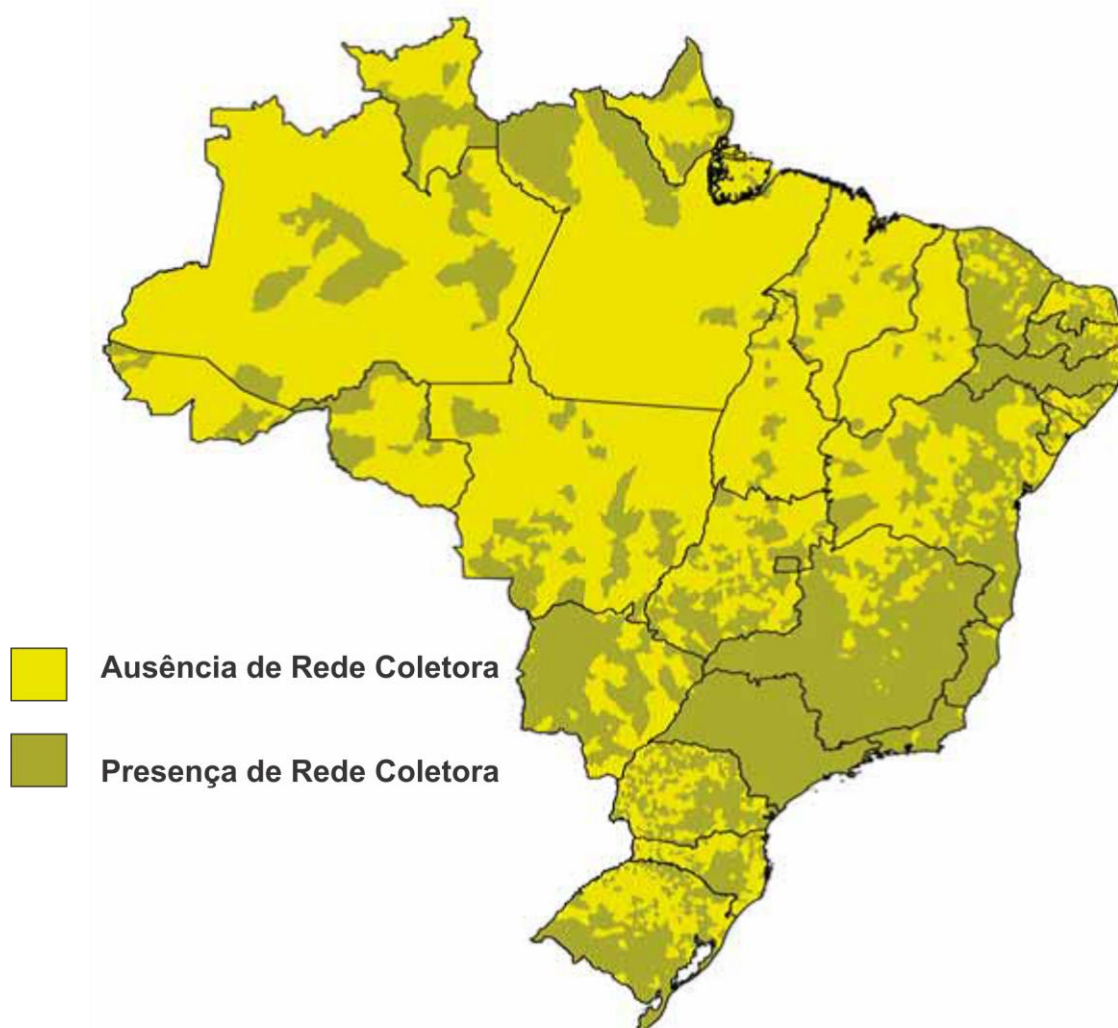
Ainda, houve um aumento de 6,7% no número de municípios com rede coletora de esgoto, o que representou mais 192 cidades ofertando esse tipo de serviço (IBGE, 2008).

Em relação ao abastecimento de água através de rede geral de distribuição, não obstante toda a melhora na oferta dos serviços de saneamento básico, observa-se que 33 municípios brasileiros, espalhados por nove Unidades da Federação, ainda permaneciam sem esse tipo de atendimento, situação que é mais acentuada nos Estados da Paraíba, Piauí e Rondônia. De um modo geral, os poços particulares e os carros-pipa foram as principais fontes alternativas para a solução do problema.

Com base no exposto, a disponibilidade de água está diretamente relacionada com o consumo, ou seja, quanto maior for o acesso a água de qualidade, maior o consumo da mesma e conseqüentemente maior produção de esgoto. Assim, é necessário a coleta desse esgoto para direcioná-lo para local de tratamento e conseqüentemente poder ser despejado no rio atendendo os parâmetros exigidos pela resolução 430 do CONAMA.

No que diz respeito ao esgotamento sanitário realizado por rede coletora, apesar do crescimento já referido, a situação mostrar-se ainda mais preocupante, pois verifica-se a falta de rede coletora em 2.495 municípios, distribuídos pelas Unidades da Federação, com exceção do Estado de São Paulo, onde apenas uma cidade não apresentava o serviço de esgotamento através de rede coletora (Figura 1).

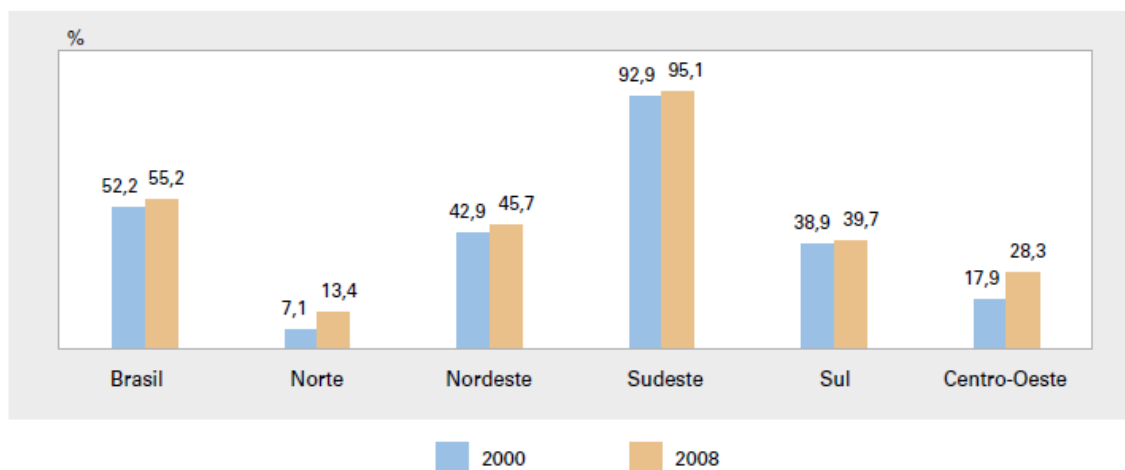
**Figura 1:** Municípios com serviço de rede coletora de esgoto - Brasil – 2008



**Fonte:** IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Em 2008, apenas a Região Sudeste registrava uma alta presença de municípios com rede coletora de esgoto (95,1%). As demais regiões registraram percentual de cobertura por rede coletora inferior, sendo a maior proporção observada na Região Nordeste (45,7%), seguida pelas Regiões Sul (39,7%), Centro-Oeste (28,3%) e Norte (13,4%) (gráfico 1). Das 26 Unidades da Federação (sem considerar o DF), em apenas oito, mais da metade dos municípios possuíam rede coletora de esgoto (Gráfico1), sendo que, o Estado de São Paulo apresentou o percentual de municípios com rede coletora com 99,8% e Piauí, o pior percentual com 4,5% apenas (IBGE, 2008).

**Gráfico 1-** Percentual de municípios com rede coletora de esgoto, segundo as Grandes Regiões - 2000/2008.

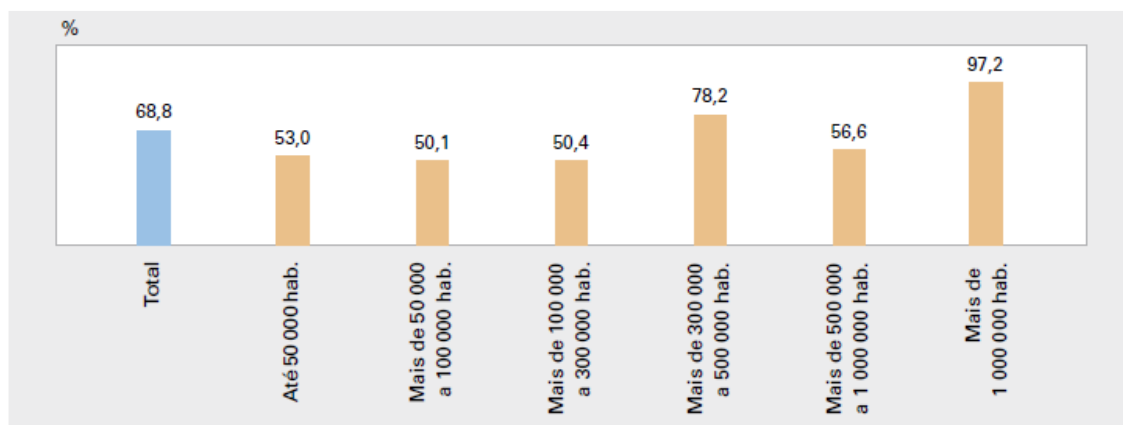


**Fonte:** IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000/2008.

Embora as regiões Sudeste e Sul apresentem o maior número de municípios, foi constatado que as melhoras foram pouco significativas: no Sudeste, de 92,9% dos municípios atendidos, em 2000, passaram para 95,1%, em 2008; no Sul, de 38,9% para 39,7%, respectivamente. Dando sequência, na Região Nordeste, também houve pouca variação na cobertura desse serviço, que passou de 42,9%, em 2000, para 45,7%, em 2008 (IBGE, 2008).

Apesar de menos de 1/3 dos municípios brasileiros efetuar tratamento de esgoto, o volume tratado representava, em 2008, 68,8% do que era coletado. Esse resultado sugere que os municípios com tratamento de esgoto concentravam uma parcela significativa do esgoto coletado. Nesse indicador, houve um avanço considerável em relação a 1989 e a 2000, quando, segundo a PNSB, essas proporções foram, respectivamente, de 35,3% e 19,9%. No entanto, apenas nos municípios com população superior a 1.000.000 habitantes, o volume de esgoto tratado foi superior a 90%. Na maioria das demais classes de tamanho da população do município, essa proporção ficou entre 50% e 60% (Gráfico 2).

**Gráfico 2:** Percentual do esgoto coletado tratado, segundo as classes de tamanho da população dos municípios - Brasil – 2008.



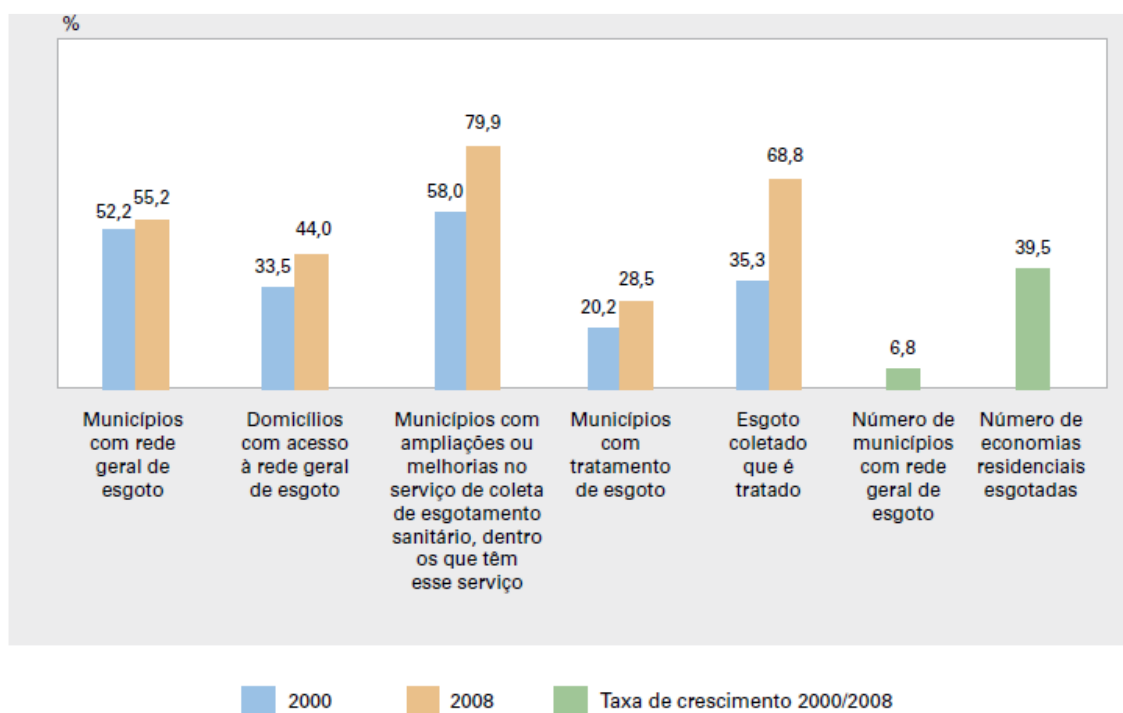
**Fonte:** IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Com base nos dados referentes ao tratamento de esgoto sanitário, observa-se que há uma preocupação maior quando existem grandes aglomerados urbanos, deste modo municípios com população inferior a 1.000.000 de habitantes têm menor percentual de tratamento.

Segundo dados do IBGE (2008) de 2000 a 2008, houve aumento de 2.875 para 3.069 no número de municípios com acesso a esgotamento sanitário, representando um acréscimo de 6,8% (194 municípios) no período. O aumento do número de economias residenciais esgotadas, no entanto, foi de 39,5%, o que sugere que a expansão tenha se dado, principalmente, entre os municípios que já tinham esse tipo de serviço.

Em decorrência do crescimento do setor, a proporção de domicílios com acesso à rede coletora de esgoto elevou-se de 33,5%, em 2000, para 44,0%, em 2008. No período, houve também avanços qualitativos, dentre os quais se destacam: o contingente de municípios com ampliações ou melhorias no serviço de coleta de esgotamento sanitário, que passou de 58,0%, em 2000, para 79,9%, em 2008; o de municípios com tratamento de esgoto, que passou de 20,2%, em 2000, para 28,5%, em 2008; bem como o esgoto coletado que recebe tratamento, cujo volume passou de 35,3%, em 2000, para 68,8%, em 2008 (Gráfico 3).

**Gráfico 3** - Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário - Brasil - 2000/2008



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000/2008.

Nota: O percentual de municípios com tratamento de esgoto, em 2000, refere-se àqueles que o coletam e tratam.

Diante desse panorama no país, observa-se, em se tratando da coleta e tratamento de esgoto que há necessidade de grandes investimentos, deste modo, a criação de tecnologias de baixo custo e de fácil aplicação, poderá contribuir para um tratamento de esgoto significativo e que assim possa melhorar ainda mais a qualidade de vida da população brasileira.

## 2.2 Tratamento Anaeróbio

### 2.2.1 Processo Anaeróbio

Segundo Lima (2006) a digestão anaeróbia é definida como sendo um processo fermentativo que tem como finalidade a remoção de matéria orgânica e a formação de biogás, do mesmo modo se mostra uma alternativa atraente para diversos casos de esgoto industrial e esgoto sanitário. Porém, um dos problemas encontrados primeiramente era sobre o desconhecimento dos fatores que influenciavam na digestão anaeróbia.

Nesse contexto, o processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Onde pode ocorrer uma via alternativa na presença de sulfato, nesse processo denomina-se de sulfetogênese (LIMA, 2006).

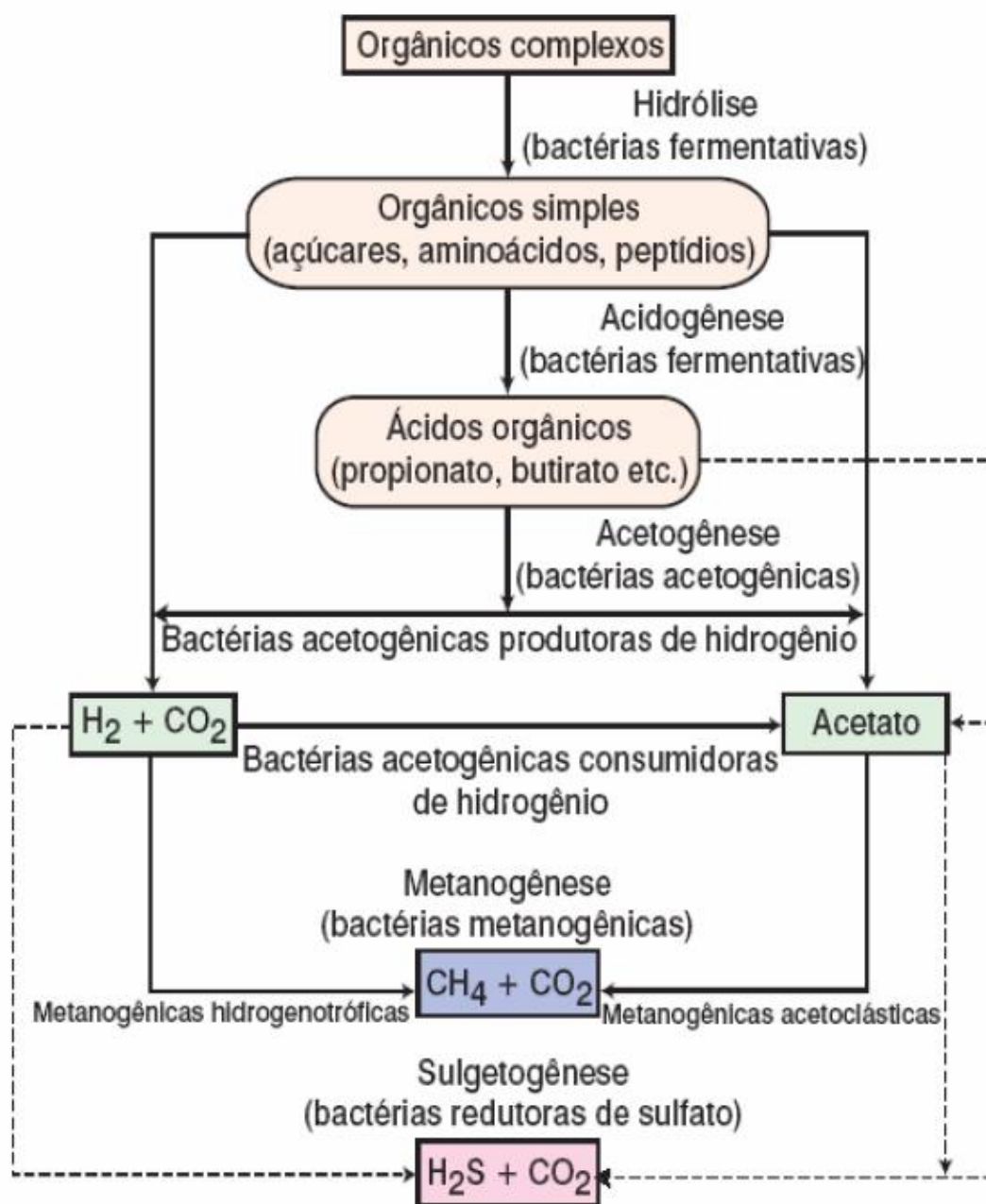


No que compreende a etapa de hidrólise, as bactérias fermentativas hidrolíticas excretam enzimas para gerar a conversão de materiais particulados complexos em substâncias dissolvidas (reações extracelulares).

A acidogênese acontece quando as bactérias fermentativas acidogênicas metabolizam as substâncias oriundas da etapa anterior até produtos mais simples, tais como ácidos graxos, hidrogênio, gás carbônico, amônia etc. Nesse instante, a fase de acetogênese, que ocorre em seguida, consiste na metabolização de alguns produtos da acidogênese pelo grupo de bactérias acetogênicas, gerando acetato, dióxido de carbono e hidrogênio.

Esses últimos produtos serão utilizados na metanogênese, evidentemente pelas bactérias metanogênicas, para formação do principal produto da digestão anaeróbia, que é o gás metano,  $\text{CH}_4$ , além de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Uma etapa que pode ocorrer quando da presença de sulfatos é a sulfetogênese, ou seja, formação de  $\text{H}_2\text{S}$  no meio, fruto da atuação das bactérias redutoras de sulfato que competem com as metanogênicas pelo mesmo substrato, o acetato. A Figura 2 a seguir mostra uma representação de como ocorre a digestão anaeróbia.

**Figura 2:** Diagrama esquemático da digestão Anaeróbia.



**Fonte:** adaptado de Chernicharo, 1998.

### 2.2.2 Reator Anaeróbio De Leito Fixo

Os processos de biodigestão anaeróbia de leito fixo compreendem os de tratamento biológico nos quais os microorganismos, estão aderidos a um meio suporte que pode ser de material sólido natural ou artificial que por sua vez são responsáveis pela conversão da matéria

orgânica ou outros constituintes de água residuárias a gases e biomassa celular, conforme VELA, 2006.

Segundo Vela (2006) os reatores com células imobilizadas se distinguem dos demais devido o uso de alguma estrutura física de confinamento que força as células a permanecerem em uma região particular de um reator. Pelo que se conhece, o mais antigo sistema que utiliza material suporte é o filtro biológico que fora utilizado pela primeira vez em 1893 na Inglaterra. Nesse tipo de sistema, os materiais suportes mais empregados são brita e plástico.

### **2.3 Tratamento Combinado**

Recentemente, vários pesquisadores têm proposto sistemas biológicos combinando os reatores anaeróbios, numa primeira etapa, seguidos de unidades de pós-tratamento, com bons resultados no polimento de efluentes e remoção de nutrientes. No âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), várias alternativas de pós-tratamento foram desenvolvidas, entre elas, reatores aeróbios, disposição no solo, tratamento físico-químico e lagoas de estabilização. Quando se deseja a remoção de nutrientes, especialmente o nitrogênio, os sistemas combinados anaeróbio-aeróbios têm sido os mais empregados.

O interesse desses pesquisadores por essa configuração de reator, que combina os processos anaeróbio e aeróbio, deve-se a fatores como: menor exigência de área requerida para implantação, menores custos operacionais, baixa geração de lodo, remoção de nutrientes e, sobretudo, a retenção elevada de microrganismos nessa unidade - a qual é uma das condições necessárias ao tratamento de esgoto sanitário, especialmente quando se trabalha com velocidade baixa de crescimento microbiana como, por exemplo, as apresentadas pelas archaeas metanogênicas e bactérias nitrificantes.

#### **2.3.1 Tipos de Pós-Tratamento**

A Tabela 1 apresenta os tipos de pós-tratamento mais usuais dos sistemas anaeróbio.

**Tabela 1**– tipos de pós-tratamento em efluentes de reatores anaeróbios.

<b>Modalidade de pós-tratamento</b>	<b>Alternativa</b>
Pós-tratamento no solo	Infiltração rápida Infiltração subsuperficial Irrigação Escoamento superficial Filtros de areia Valas de filtração Terras úmidas (alagadas ou <i>wetlands</i> )
Pós-tratamento em lagoas	Lagoa de polimento
Pós-tratamento em reatores com biofilme	Filtros biológicos percoladores Filtros biológicos submersos Biofiltros aerados submersos Filtros anaeróbios Biodiscos Reatores de leito fluidificado ou expandido
Pós-tratamento em reatores de lodos ativados	Sistema de lodos ativados convencional Sistema de reatores sequenciais em batelada
Pós-tratamento em sistemas de flotação	Flotação por ar dissolvido
Pós-tratamento em sistemas de desinfecção	Cloração Radiação ultravioleta Ozonização

**Fonte:** Mendonça (2002).

Conforme Mendonça (2002), o pós-tratamento tem como finalidade remover a matéria orgânica e sólidos suspensos totais, remanescentes do tratamento anaeróbio, e redução de nutrientes e desinfecção, deste modo, atendendo os padrões de lançamentos nos corpos receptores. Diante do exposto, o processo aeróbio pode ser utilizado após o processo anaeróbio, pois possui características e vantagens para a remoção de matéria orgânica com baixas concentrações. Nesse sentido, o reator anaeróbio removeria a maior parcela de matéria orgânica e o reator aeróbio removeria o a parcela remanescente.

### **2.3.2 Parâmetros Analisados**

A resolução de nº 430, de 13 de maio de 2011 dispõe sobre as condições padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA.

## **DQO**

Na secção III dessa resolução em que se refere as condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, mostra que a Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. No mais, um parâmetro importante no estudo de caracterização de esgotos sanitários e efluentes industriais é a Demanda Química de Oxigênio (DQO), quando utilizada conjuntamente com a DBO pode ser observado o nível de biodegradabilidade dos despejos. Assim sendo, quanto mais o valor de DBO se aproximar da DQO, equivale dizer que mais facilmente biodegradável é o efluente. É comum aplicar-se relações DQO/DBO de 3/1, por exemplo, em tratamentos biológicos para efluentes.

## **pH**

A resolução de nº 430, de 13 de maio de 2011 também exige que o pH de um efluente de um sistema de tratamento seja entre 5 e 9, por influenciar em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. O valor do pH é também um resultado importante para a composição dos chamados índices de qualidade de águas. No cálculo utilizado pela CETESB, o pH está entre os nove parâmetros escolhidos. Além de que, os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

Em ecossistemas formados nos tratamentos biológicos de esgotos o pH se mostra como uma condição que influencia decisivamente no processo. Normalmente, a condição de pH que corresponde à desenvolvimento de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável é próximo a neutralidade, tanto em meios aeróbios como nos anaeróbios.

## **Sólidos**

O nível de sólidos sedimentáveis principalmente em efluentes desejados por indústrias é também importante pois se trata de um parâmetro da legislação no estado de São Paulo, exemplificando, o limite máximo é de apenas 1mL/L para a descarga direta no corpo receptor e de 20 mL/L para a descarga no sistema público de esgotos provido de estação de tratamento (Decreto Estadual nº 8468). Na Resolução nº 357 do CONAMA aparece como padrão de emissão 1 ml/L de sólidos sedimentáveis (artigo34), ou ausência virtual em se tratando de

lançamento em lagos e lagoas onde a velocidade de circulação seja praticamente nula. No mais a medida da fração de sólidos é muito significativa para o estudo de águas residuárias por ainda contribuir na medida do nível de biodegradabilidade em que quanto mostra se é mais viável a utilização de um sistema de tratamento biológico ou físico-químico, porém poucos são usadas para o tratamento de águas de abastecimento público.

### **2.3.3 Reator Combinado**

Oliveira Netto (2007) avaliou desempenho de um sistema que combina os processos anaeróbio e aeróbio, para tratamento de esgoto sanitário, operado de modo contínuo sem e com recirculação da fase líquida. O desempenho do sistema foi avaliado em três diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH), 6, 8 e 10 horas, na fase anaeróbia, nos quais os melhores valores de remoção de matéria orgânica chegaram a 80% para TDH de 10 h, com valores de DQO efluente abaixo de 150 mg/L.

Já com a inserção da fase aeróbia ao sistema (TDH de aproximadamente 11 horas, sendo 8 horas para a fase anaeróbia e 3 horas para a fase aeróbia), pode-se alcançar uma eficiência de mais de 90% com DQO efluente abaixo dos 50 mg/L.

Foram obtidos ganhos quando feita recirculação do efluente tratado, principalmente em relação à remoção de matéria orgânica (95%) e remoção de nitrogênio total que foi 75% para razão de recirculação ( $r$ ) de 1,5. O reator avaliado apresentou estabilidade operacional, alta remoção de matéria orgânica e nitrogênio sem a necessidade de adição de fonte exógena de carbono e de suplementação de alcalinidade.

Segundo Oliveira Netto (2011), onde se avaliou também o desempenho de um reator em escala piloto de leito fixo, com tratamento combinado anaeróbio-aeróbio. Em seu trabalho, o reator operou sobre três tempos de detenção hidráulica (TDH): 12h, 10h e 8h e com recirculação da fase líquida tendo como razão 1,5 e 3. Foi possível observar em seu trabalho que na etapa de operação com TDH de 12h e razão de recirculação igual a 3, foi onde se mostrou uma remoção mais significativa da carga orgânica e a carga orgânica nitrogenada em relação aos demais, conseguindo uma eficiência na ordem dos 70%.

Baseado nos dados do trabalho de Abreu (2008) sobre o desempenho de um reator anaeróbio de leito fixo, onde ele também se utilizou de 3 diferentes tipos de TDH de 10h, 8h e 6h. Deste modo, na primeira etapa (TDH = 8 h), a DQO bruta efluente apresentou valor médio de  $175 \pm$

35 mg/L, com  $288 \pm 62$  mg/L afluente, o que resultou em uma remoção média de 37%. Com a diminuição do TDH para 6 h após 52 dias de operação, houve um esperado aumento na DQO efluente, mas o reator logo voltou a apresentar valores baixos para esse parâmetro, aproximadamente após 74 dias. Nessa segunda etapa a DQO bruta efluente teve uma média de  $214 \pm 30$  mg/L, com  $445 \pm 1$  mg/L afluente e consequente remoção média de 46%. Na terceira fase operacional a matéria orgânica se mostrou eficientemente removida para um TDH de 10 horas. Sendo assim, os valores efluentes, tanto para amostra bruta como solúvel, foram praticamente constantes durante todo o período operacional. O efluente apresentou um valor médio de DQO bruta de  $137 \pm 16$  mg/L, que se manteve independente das variações da DQO bruta afluente, que apresentou média de  $389 \pm 70$  mg/L. Deste modo o presente trabalho teve uma remoção mais significativa de 64 % para um TDH de 10 horas.

Segundo o trabalho de Araújo Jr. (2006) com reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para a remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria produtora de lisina, ele analisou o desempenho do reator com um TDH de 35 h com uma vazão em média de 0,4 l/h com razão de recirculação de 0,5, sendo 21h na zona anaeróbia e 14 na zona aeróbia, obtendo assim, uma eficiência em média de 95%, essa análise foi feita num período de 101 dias. Esse valor se mostra muito significativo o que revela que foi adotado uma configuração com um sistema bem eficiente.

Deste modo é possível perceber que essa configuração de reator combinado anaeróbio-aeróbio se mostra bastante eficiente no que se refere a remoção de matéria orgânica, onde se aproveita das vantagens de um e do outro, além de ser uma tecnologia que requer pouco espaço de implantação e baixa manutenção, favorecendo assim a sua utilização em efluentes domésticos e industriais.

## **2.4 Considerações Finais**

A partir da revisão literária buscada, foi possível a compreensão sobre o material suporte que pode contribuir para uma maior aderência da biomassa como também para uma melhor estabilização do sistema. Da mesma forma foi possível perceber que a utilização de reator combinado de leito fixo permitirá que os processos anaeróbio e aeróbio se utilizem um do outro de forma a se complementarem e dirimirem as desvantagens de cada um. Nesse cenário, o reator combinado associado a realidade em que será inserido, se mostra alternativa

economicamente e tecnicamente mais viável, visto que as políticas atuais visam empreendimentos nessa área de forma menos dispendiosa possível.

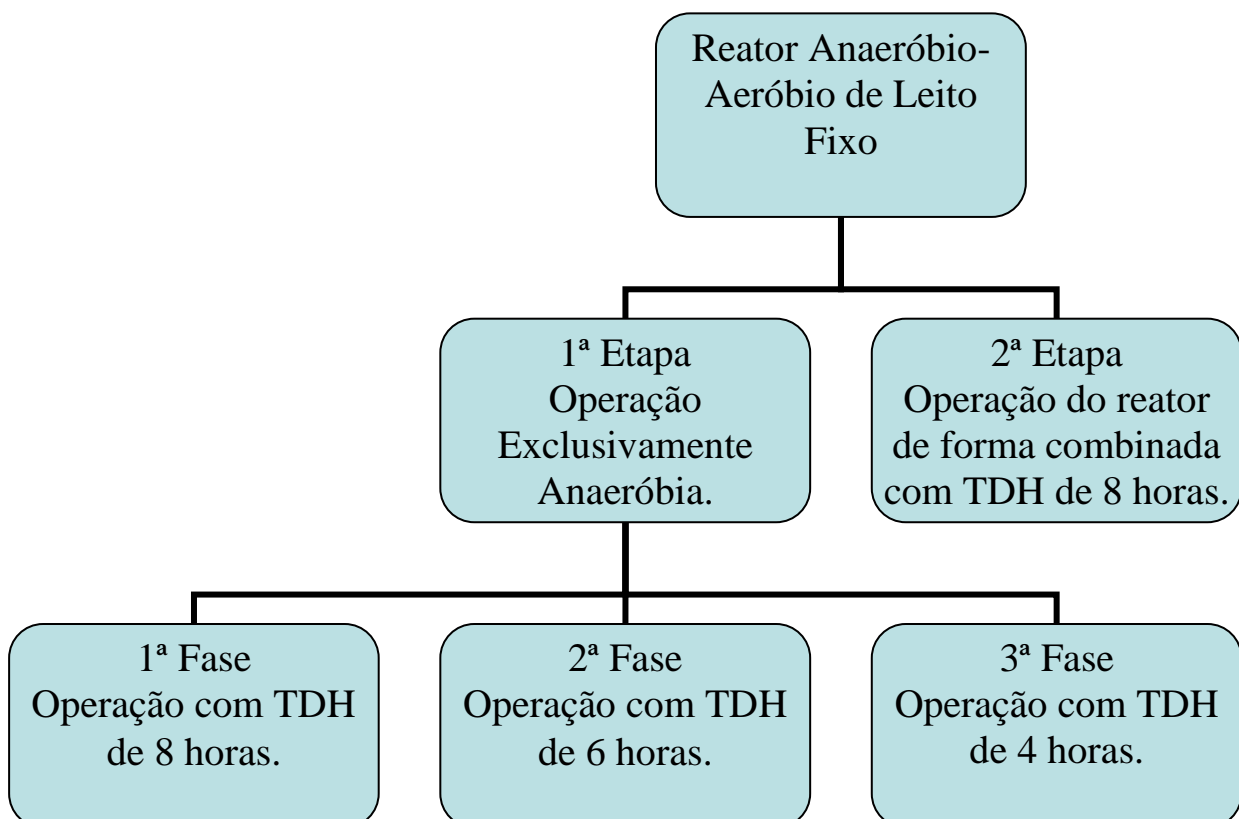
### 3.0 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 Visão Geral

Esse item contempla o material usado para realização do experimento, assim como o protocolo experimental adotado para desenvolvimento do mesmo. Foi utilizado um reator de leito fixo de escoamento ascendente, operado de modo contínuo, com bucha vegetal de cucurbitácea como suporte de imobilização da biomassa.

Em uma primeira etapa, o reator operou sob condições anaeróbias. Em uma segunda etapa, foi inserido ar na parte superior do reator, precedido por câmara de aeração. Assim, o reator passou a operar, ao mesmo tempo, como anaeróbio-aeróbio de leito fixo com fluxo ascendente.

**Figura 3:** Fluxograma.





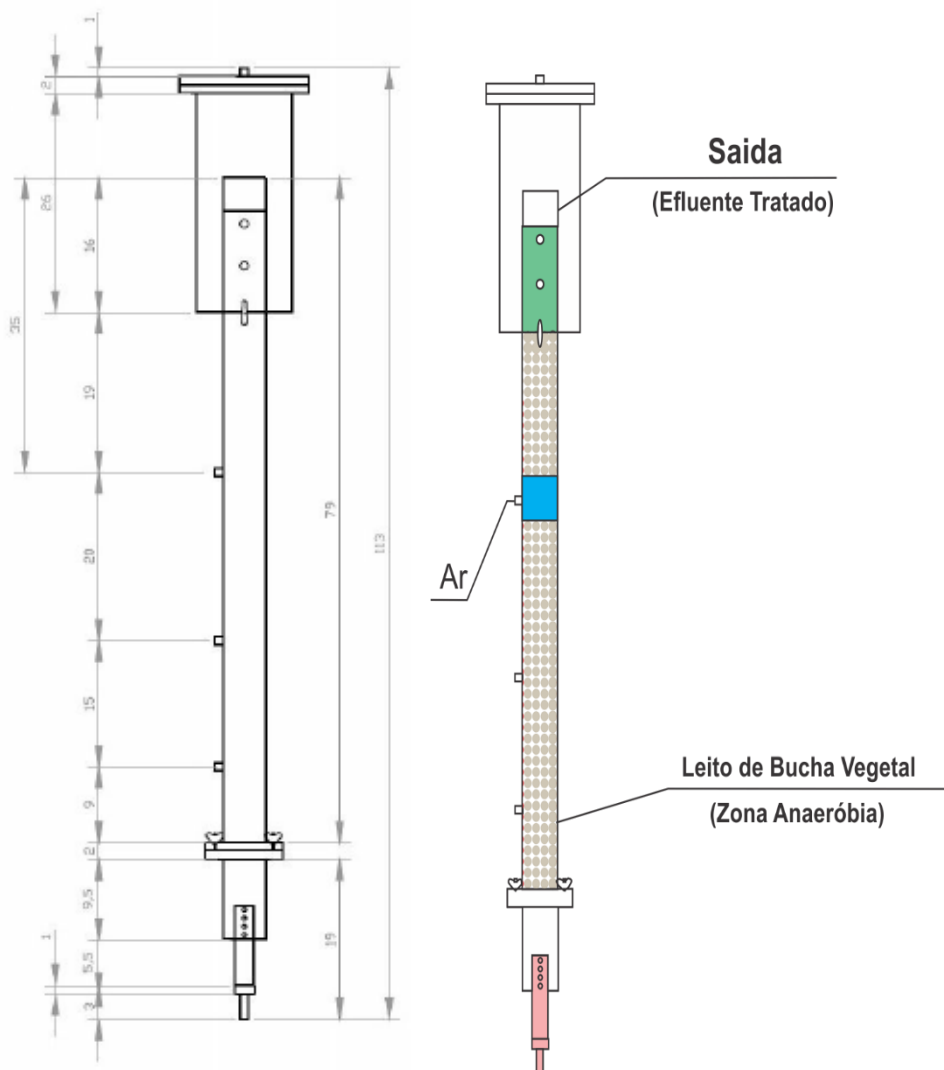
Assim, com esse procedimento operacional, buscou-se aliar as vantagens de cada processo de digestão biológica e incrementar a remoção de matéria orgânica do esgoto doméstico utilizado como substrato nesse experimento.

### 3.2 Reator Combinado Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo

Para realização dos experimentos foi utilizado reator de leito fixo e escoamento ascendente, operado de modo contínuo, apresentado na figura 4.

O reator foi construído em tuboacrílico com diâmetro interno de 53 mm e 900,5 mm de comprimento de leito reacional, com volume total, medido sem material suporte de aproximadamente 2,0 L.

**Figura 4:** Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo.



Fonte: Próprio Autor

O reator foi recoberto com papel alumínio, para evitar a incidência direta da luminosidade e minimizar a ação dos microrganismos fotossintetizantes no processo.

A Figura 5 apresenta o enchimento do reator em início operacional e ainda sem o recobrimento. Já a Figura 6 mostra o reator em operação.

**Figura 5:** Reator preenchido com o material e iniciando procedimento experimental.



**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 6:** Reator em operação.



**Fonte:** Próprio Autor

A alimentação era feita pela parte inferior do reator do reator por meio de bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso da marca Exatta. Já a aeração foi feita por meio de uma bomba da marca Jebo modelo 660 Air Pump que injetava o ar na câmara de aeração através de uma pedra porosa responsável pela difusão do mesmo na parte aeróbia do reator.

O esgoto afluyente antes de chegar ao reator, passava por peneiramento durante a coleta (Figura 7) e era armazenado em reservatório de 20L. Esse reservatório era abastecido diariamente de maneira que a água residuária era sempre renovada e nele se fazia a sucção do esgoto para o reator.

**Figura 7:** Peneiramento do esgoto.



**Fonte:** Próprio Autor

### **3.3 Inóculo**

O material suporte da unidade de tratamento foi inoculado pelo próprio afluente para melhor seleção da biomassa microbiana aderida. Zaiat et al. (2000) avaliaram a partida e o desempenho do reator anaeróbio horizontal de leito fixo, em escala piloto, tratando esgoto doméstico. Apesar da não inoculação do meio suporte, não ocorreu instabilidade no processo e observou-se um período curto de partida comprovado pelo monitoramento de alguns parâmetros tais como DQO, composição do biogás, concentração de metano e concentração de ácidos voláteis totais (AVT).

O lodo anaeróbio foi imobilizado na esponja natural, facilmente encontrada na comunidade local. O lodo foi retirado da fossa séptica utilizada como unidade de tratamento da Universidade Federal de Alagoas (campus Sertão) e inserido num barrilete, também utilizado como reservatório de alimentação do sistema, permanecendo em recirculação por dois dias consecutivos, sempre com troca do material armazenado para evitar processo de fermentação.

### **3.4 Material Suporte**

A finalidade da camada suporte é reter sólidos biológicos no interior do reator. Dessa forma, essa camada promove uniforme distribuição do escoamento no interior do reator e melhora o contato do afluente com a matéria orgânica nele contida (YOUNG, 1990).

Partículas de bucha vegetal de cucurbitácea dispostas em matrizes cúbicas de aproximadamente 1,0 cm de lado foram usadas como suporte de imobilização da biomassa.

Zaiat (1996) estudou a colonização em espuma de poliuretano e concluiu que o material é bastante adequado à imobilização de biomassa anaeróbia apresentando colonização rápida dos microrganismos, confirmada pela rápida partida do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF), e pelo pequeno arraste do lodo durante a operação do reator. O uso desse suporte para imobilização de biomassa aeróbia foi avaliado com sucesso por Fazolo (2003). A bucha vegetal (figura 8) de cucurbitácea apresentou comportamento similar com pouco arraste de sólidos e durabilidade ao longo do experimento. No entanto, serão necessários testes mais prolongados para averiguar sua eficácia para fins de colonização celular.

**Figura 8:** Material Suporte (Bucha Vegetal).

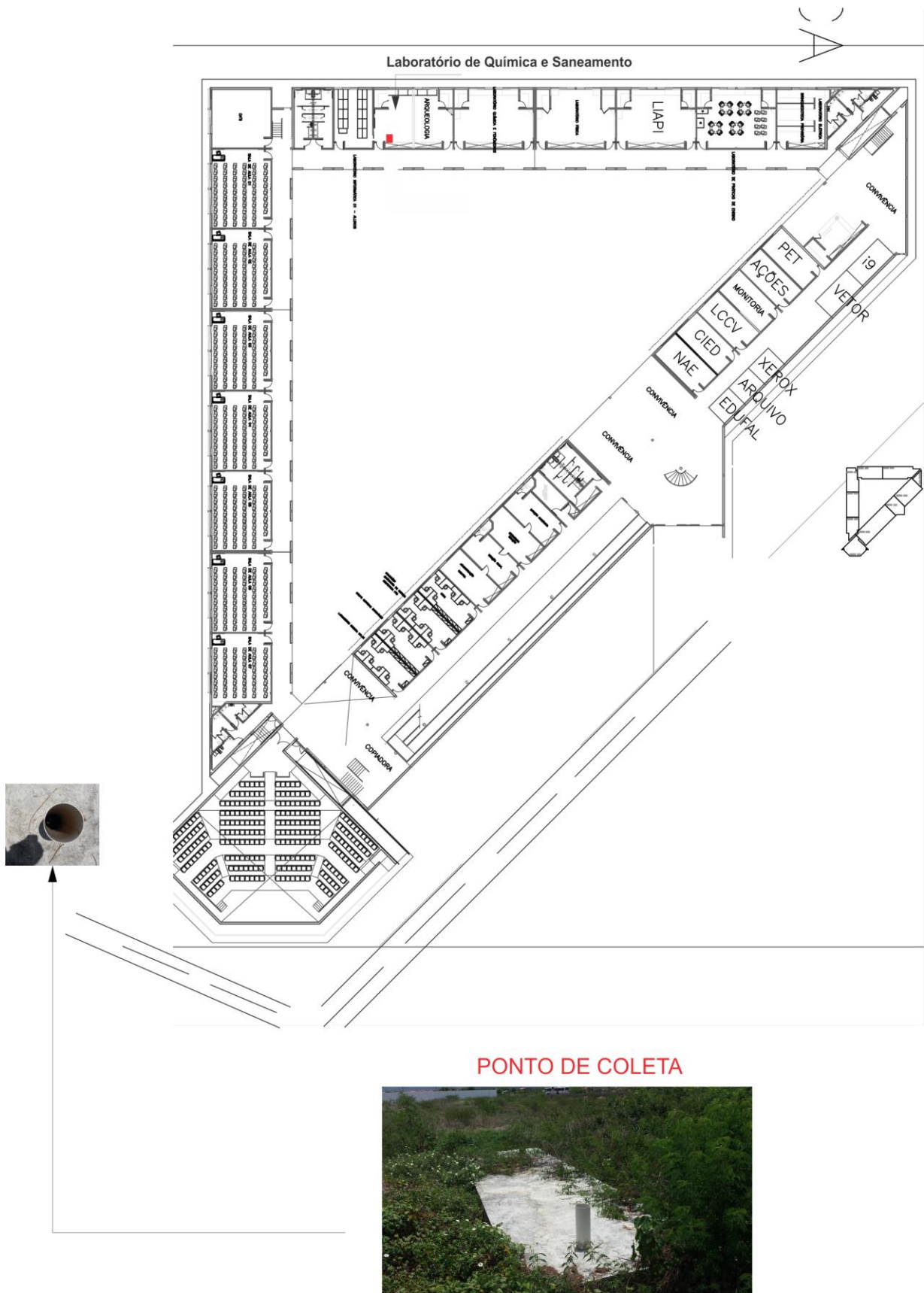


**Fonte:** Próprio Autor

### **3.5 Água Residuária**

A água residuária deste estudo abastece o sistema de tratamento de esgoto (fossa séptica) do *Campus* da Universidade Federal de Alagoas – *Campus* do sertão em Delmiro Gouveia. Trata-se de esgoto sanitário do *Campus* Universitário, proveniente dos banheiros, além de determinados resíduos de laboratórios. A figura 10 mostra a planta baixa do *Campus* do sertão com localização da ETE em detalhe.

**Figura 9 :** Planta de situação da ETE e do ponto de Coleta na Universidade Federal de Alagoas - Campus do Sertão.



Fonte: Próprio Autor

### 3.6 Coleta do Efluente na Fossa do Campus

Para que ocorresse a retirada do efluente no ponto de coleta localizado no campus do sertão, foi necessário a construção de uma bomba manual (Figura 10), devido à dificuldade que foi encontrada para se ter um efluente mais condizente com realidade.

**Figura 10:** Bomba desenvolvida em Laboratório para retirada do efluente no ponto de coleta.



**Fonte:** Próprio Autor

A bomba foi feita inteiramente de tubos em PVC, onde seu princípio de funcionamento se assemelha a um pistão, sendo assim, ela possui duas válvulas de retenção de modo oposto, uma para outra, que garantem a sucção e retenção do fluido dentro do tubo de 50 mm. O comprimento total da bomba é de aproximadamente 2,80 m.

O esgoto coletado através da bomba manual passava por peneiramento antes do enchimento do reservatório de alimentação do reator anaeróbio de leito fixo conforme mostrado na figura 6.

A escolha do ponto de coleta (Figura 11) se deu devido a sua proximidade com o Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Alagoas Campus do Sertão, além de ser o ponto de chegada de todo o esgoto do campus favorecendo o objetivo da pesquisa e a mobilidade dos membros envolvidos no trabalho e controle do processo de coleta.

**Figura 11:** Ponto de coleta (fossa do Campus do Sertão).



**Fonte:** Próprio Autor

Para que ocorresse a retirada do efluente no ponto de coleta, foi necessário a construção de uma bomba manual. A retirada se deu diariamente, com exceção dos finais de semana, onde se teve a preocupação de encher o barrilete por completo para evitar desabastecimento.

As amostras (Figura 12) afluentes e efluentes ao reator combinado de leito fixo foram guardadas em refrigeradores com temperatura controlada, sendo assim, pode-se ter um maior tempo de armazenamento para que se pudesse fazer a análise mensal, pois o laboratório ainda não possui aparato para análises.

**Figura 12:** Amostras de entrada e saída do reator.



**Fonte:** Próprio Autor



### 3.7 Métodos Analíticos

Durante a execução do experimento foram monitorados os parâmetros descritos na Tabela 2, segundo métodos descritos pela APHA (1998). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental do Campus do Sertão com auxílio do Laboratório do campus A. C. Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em Maceió.

**Tabela 2** – Parâmetros Analisados, método utilizado e frequência de amostragem.

<i>Parâmetro Analisado</i>	<i>Método de Análise</i>	<i>Frequência de Amostragem</i>
<i>Vazão</i>		Dária
<i>DQO bruta (mg/L)</i>	Espectrofotométrico	2 x semana
<i>DQO filtrada (mg/L)</i>	Espectrofotométrico	2 x semana
<i>pH</i>	Potenciométrico	2 x semana
<i>ST</i>	Gravimétrico	2 x semana
<i>STV</i>	Gravimétrico	2 x semana
<i>SSV</i>	Gravimétrico	2 x semana
<i>SST</i>	Gravimétrico	2 x semana

### 3.8 Procedimento experimental

O procedimento experimental foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, o reator anaeróbio foi operado com três diferentes tempos de detenção hidráulica: 8, 6 e 4 horas, correspondendo às três primeiras fases do trabalho. As vazões médias utilizadas no experimento foram de aproximadamente 0,22 l.h-1, 0,30 l.h-1 e 0,40 l.h-1 correspondente a tempos de detenção hidráulica de 8, 6 e 4 horas, respectivamente. O cálculo dos tempos de detenção foi baseado no volume total do leito reacional do reator.

Na segunda etapa, o reator operou com uma etapa anaeróbia seguida de outra aeróbia, correspondendo à quarta e última fase do trabalho. Para isso, o compartimento do reator (Figura 2) foi aerado por meio de um difusor poroso (Figura 13). O tempo de detenção

hidráulica (TDH) adotado foi o escolhido na primeira etapa (8 horas) em virtude dos melhores resultados para remoção de matéria orgânica.

**Figura 13:** Difusor poroso.



**Fonte:** Próprio Autor

Assim, a influência do TDH e da inserção da aeração sobre a remoção de matéria orgânica foram avaliadas em reator de leito fixo e fluxo ascendente. Para facilitar a visualização do procedimento experimental utilizado durante pesquisa com o reator combinado de leito fixo, foi elaborada a Tabela 3.

**Tabela 3** – Procedimento experimental utilizado durante a operação do sistema.

<b><i>Etapa</i></b>	<b>Fase</b>	<b>TDH</b>	<b>Vazão Média</b>
<i>Anaeróbia</i>	I	8h	3,0 mL/min
	II	6h	4,5 mL/min
	III	4h	6,0 mL/min
<i>Combinada Anaeróbio-Aeróbio</i>	IV	8h	3,0 mL/min

## **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste tópico serão discutidos os resultados experimentais que foram obtidos do reator de leito fixo, fluxo contínuo e com escoamento ascendente em todas as condições relatadas na metodologia. Serão apresentados os principais resultados dos parâmetros analisados e as informações básicas serão mostradas através do uso de tabelas e gráficos abrangendo o período de coleta de dados.

A etapa experimental para a fase anaeróbia foi realizada de 09/02/2015 à 31/05/2015, com o tempo total de operação do reator de 112 dias, já a fase combinada anaeróbia-aeróbia foi realizada entre 05/10/2015 e 06/11/2015, totalizando 33 dias de operação. Vale ressaltar que essa interrupção de tempo se deu por motivos da greve, visto que o experimento dentro do campus do sertão só é viável se existir produção de efluente para a alimentação do reator.

### **4.1 Avaliação do Desempenho do Reator**

Nesta etapa do trabalho serão apresentados e discutidos os resultados obtidos durante todo o período operacional dividido em 4 fases. As três primeiras fases que correspondem à primeira etapa operacional do reator que trabalhou apenas de forma anaeróbia. No que diz respeito a quarta fase, o reator operou com uma etapa anaeróbia seguida de outra aeróbia.

#### **4.1.1 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia**

Na operação anaeróbia do reator, inicialmente foi aplicado um TDH de 8 h. Em seguida, o TDH foi reduzido para 6 h, e por fim, aplicou-se TDH de 4 h. Esses tempos de detenção hidráulica foram adotados em virtude dos resultados encontrados em estudos realizados em sistema semelhante, segundo os trabalhos de Oliveira Netto (2007) que estudou o desempenho de reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário. Vale salientar que os tempos de detenção hidráulica adotados foram calculados em função do volume total do leito reacional.

#### **4.1.2 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia com Tempo de Detenção Hidráulica de 8 Horas**

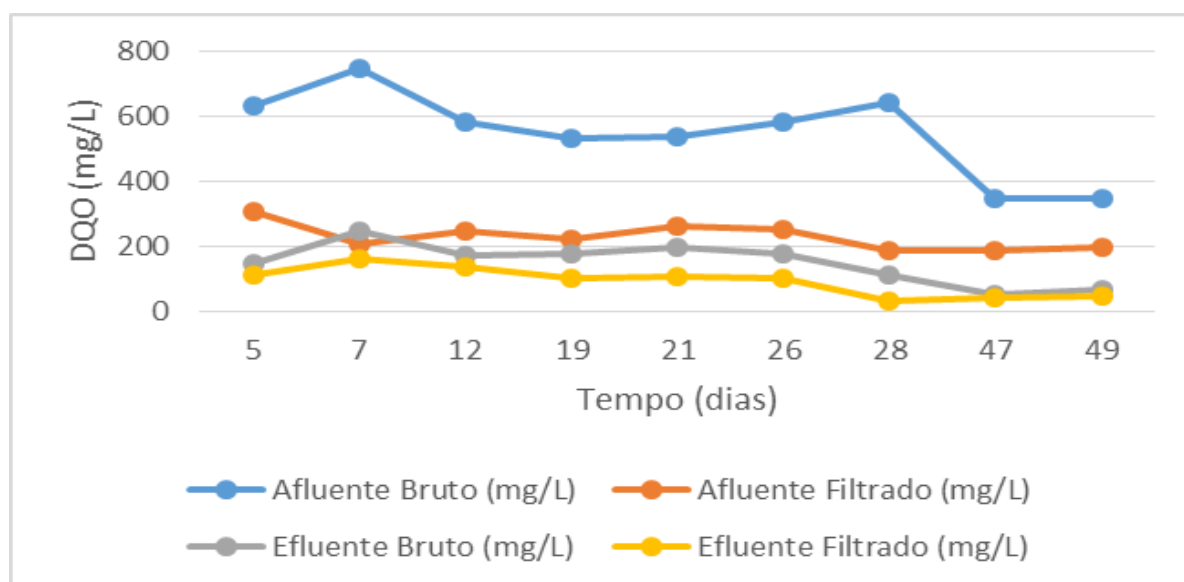
Durante 48 dias foram feitas coletas tanto do afluente como do efluente ao reator. A tabela 4 apresenta os valores médios dos principais parâmetros para o esgoto sanitário afluente e efluente durante essa etapa de operação, na qual o reator foi operado de modo contínuo a com vazão de aproximadamente 3,0 mL/min e tempo de detenção hidráulica de 8 horas.

**Tabela 4** – Média de valores dos parâmetros analisados durante a etapa de 8 horas.

Parâmetros	Afluente	Efluente	Nº de Amostras
pH	6,74±0,13	6,97±0,14	9
DQO Bruta (mg/L)	551,4±124,31	148,82±59,54	9
DQO Filtrada (mg/L)	229,77±37,35	92,72±41,59	9
SST (mg/L)	182,43±39,17	79,86±65,05	7
SSV (mg/L)	29,29±18,14	38,57±60,35	7

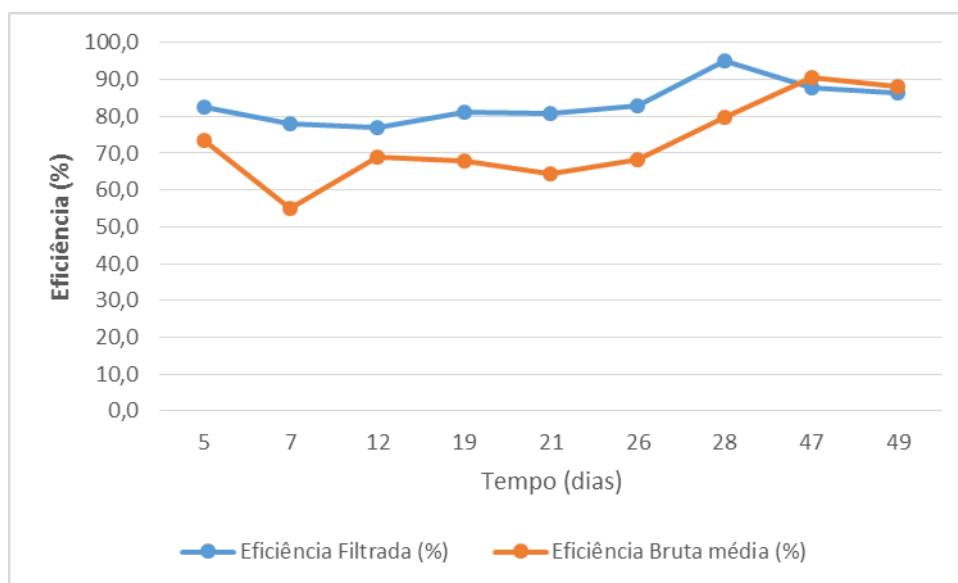
Com base nisso é possível observar através do gráfico 4 que o reator rapidamente alcançou baixos valores de DQO efluente, onde foi possível atingir estabilidade operacional após, aproximadamente, 28 dias de operação. O afluente apresentou valor médio de DQO bruta de 551,4±124,31 mg/L, já o valor médio da DQO filtrada afluente foi 229,77±37,35 mg/L, enquanto para o efluente foi observado um valor de 92,72±41,59 mg/L, como pode ser visto no gráfico 4. Na etapa operacional em análise em relação a amostra bruta foi possível perceber uma eficiência na ordem dos 70% até a estabilização do sistema.

**Gráfico 4** – Variação temporal da DQO para o reator de leito fixo com TDH de 8 horas.



O Gráfico 5 a seguir apresenta as eficiências de remoção de DQO para amostras brutas e filtradas. Essas eficiências foram calculadas a partir do afluente bruto durante este período operacional.

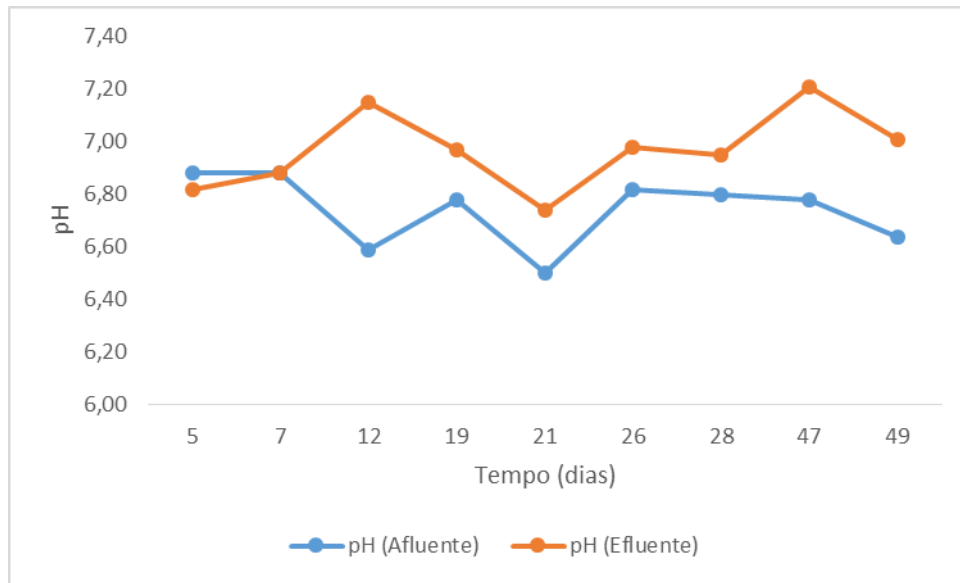
**Gráfico 5** - Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta média e filtrada para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 8 horas.



Pedo-se observar no gráfico que os resultados obtidos se mostraram satisfatórios, de modo que após a estabilização do sistema, a eficiência média na remoção de matéria orgânica ficou na ordem dos 80%.

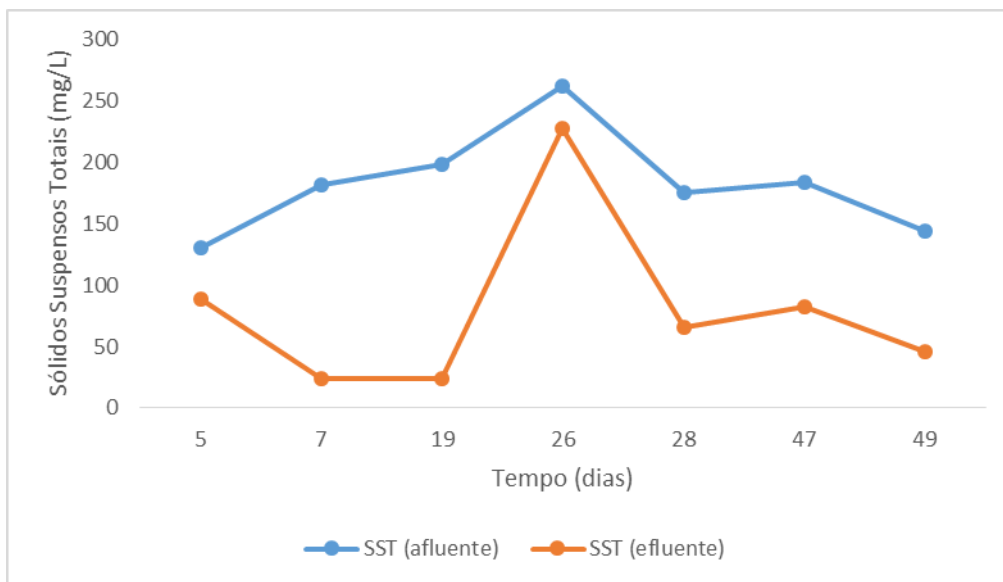
No Gráfico 6 é possível observar a variação do pH ao longo do tempo, em que durante a maior parte dessa fase do experimento, o pH do efluente foi maior que o afluente, consequentemente pode-se concluir que houve uma confirmação da estabilidade operacional. O valor médio do pH afluente foi de 6,74 e do efluente foi de 6,97.

**Gráfico 6** – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 8 horas.

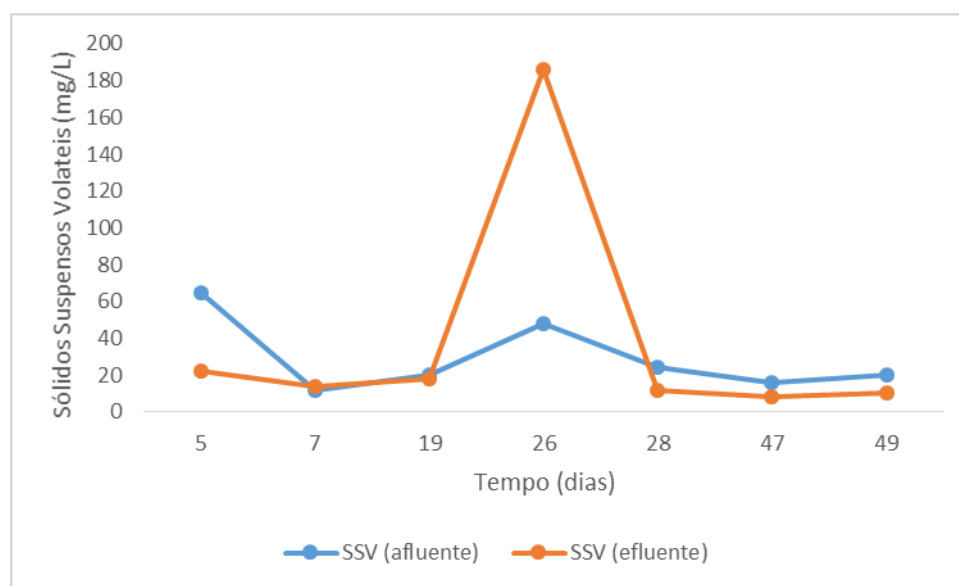


Nos Gráficos 7 e 8 estão apresentados os valores de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para a primeira condição operacional.

**Gráfico 7** – Variação temporal de sólidos suspensos totais para o reator de leito fixo com TDH de 8 horas.



**Gráfico 8** – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis para o reator de leito fixo com TDH de 8 horas.



É possível observar a similaridade entre o comportamento dos SST e dos SSV. A média de SST afluente e efluente foi de  $182,43 \pm 39,17$  e  $79,86 \pm 65,05$  mg/L, respectivamente; já para SSV, a média foi de  $29,29 \pm 18,14$  mg/L para afluente e  $38,57 \pm 60,35$  mg/L para efluente, como é mostrado no gráfico 8. Vale salientar que o ponto que marca uma concentração de sólidos muito alta em relação as demais concentrações, pode ter sido ocasionado por um erro de análise ou mesmo por um problema na coleta, no mais, as médias mostram uma presença significativa de sólidos suspensos voláteis no efluente, fator que se leva a concluir que automaticamente existe uma grande quantidade de matéria orgânica.

#### **4.1.3 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia com Tempo de Detenção Hidráulica de 6 Horas**

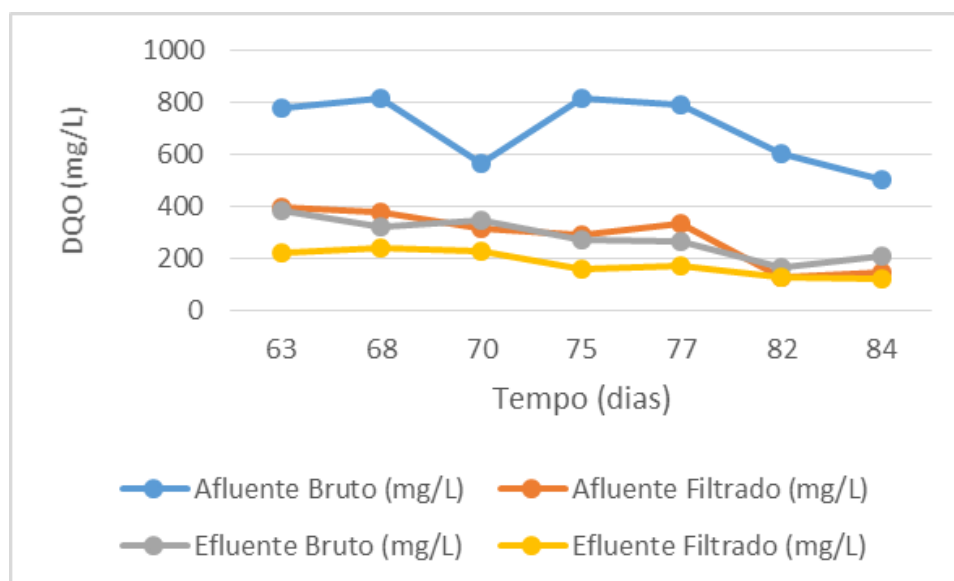
Durante 32 dias foram feitas coletas tanto do afluente como do efluente ao reator. A tabela 5 apresenta os valores médios dos principais parâmetros para o esgoto sanitário afluente e efluente durante essa etapa de operação, na qual o reator foi operado de modo contínuo sem recirculação da fase líquida com vazão de aproximadamente 4,5 mL/min e tempo de detenção hidráulica de 6 horas.

**Tabela 5** – Média de valores dos parâmetros analisados durante a etapa de 6 horas.

Parâmetros	Afluente	Efluente	Nº de Amostras
pH	6,67±0,18	6,81±0,16	7
DQO Bruta (mg/L)	696,61±123,67	280,78±71,57	7
DQO Filtrada (mg/L)	283,61±98,56	180,54±46,11	7
SST (mg/L)	352,8±60,05	78±40,54	5
SSV (mg/L)	28,4±22,75	14±14	5

Com base nisso é possível observar através do Gráfico 9 que o reator rapidamente alcançou baixos valores de DQO efluente, no entanto em menores proporções em relação a etapa anterior e atingiu uma estabilidade operacional em torno dos 20 dias com a nova condição de operação. O afluente apresentou valor médio de DQO bruta de 696,61±123,67 mg/L, já o valor médio da DQO filtrada afluente foi 283,61±98,56 mg/L, enquanto para o efluente foi observado um valor de 180,54±46,11 mg/L.

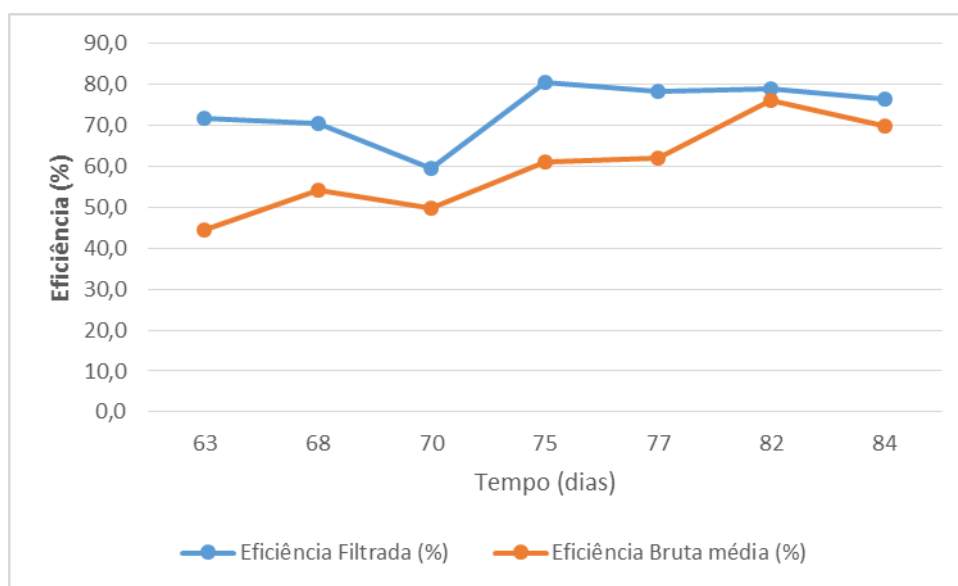
**Gráfico 9** – Variação temporal da DQO para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas.



O Gráfico 10 a seguir, mostra as eficiências de remoção de DQO para amostras brutas e filtradas. Vale ressaltar que as eficiências foram calculadas a partir do afluente bruto durante este período operacional.



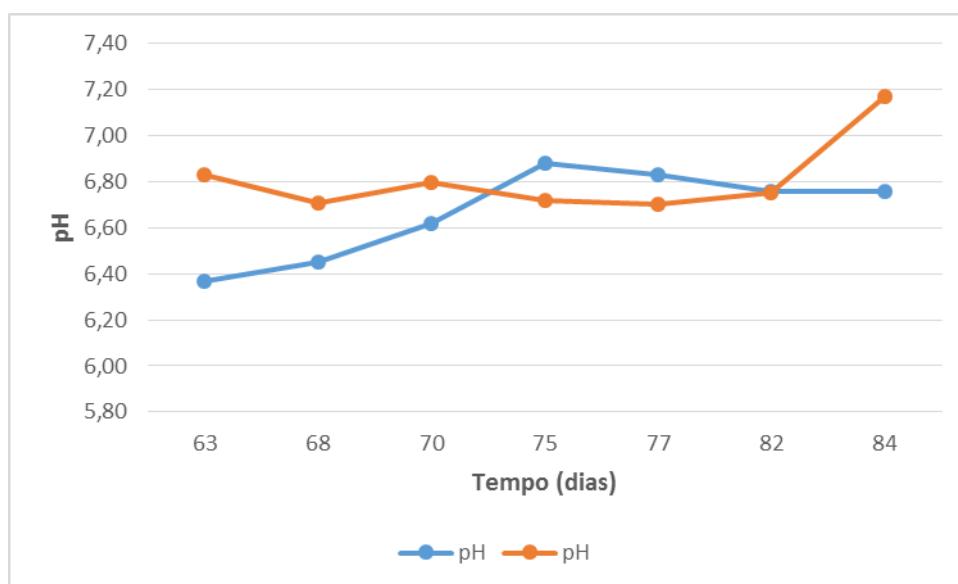
**Gráfico 10** - Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta média e filtrada para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 6 horas.



Deste modo, pode-se observar através do gráfico que os resultados se mostraram satisfatórios, de modo que após a estabilização do sistema. Na etapa operacional em análise em relação a amostra bruta foi possível perceber uma eficiência na ordem dos 60%. Deste modo pode-se perceber que o reator em operação com TDH de 8 horas se mostrou com eficiência superior ao TDH de 6 horas.

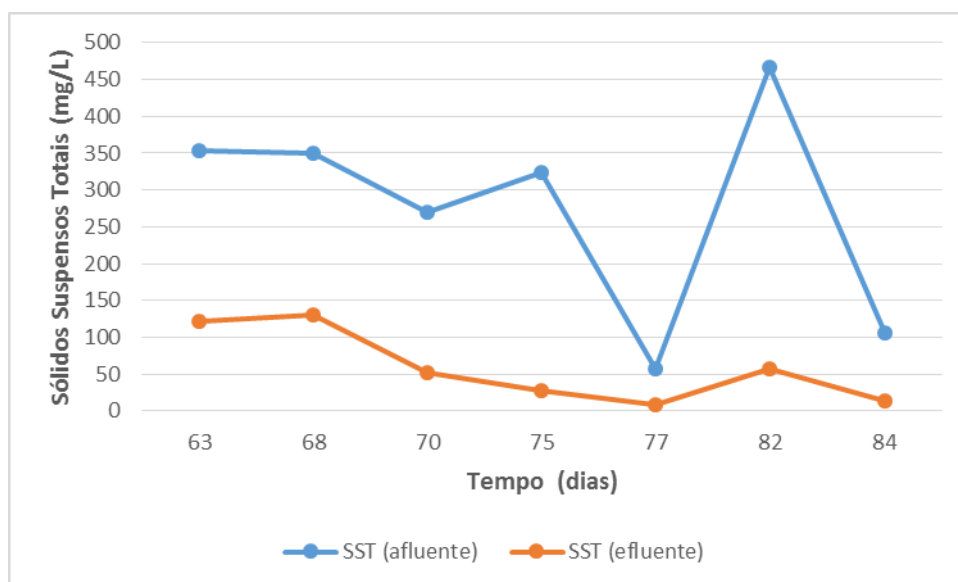
No Gráfico 11 é possível observar a variação do pH ao longo do tempo, em que durante a maior parte dessa fase do experimento, o pH do efluente foi maior que o afluente, consequentemente pode-se concluir que houve uma confirmação da estabilidade operacional, onde o valor médio do pH afluente foi de  $6,79 \pm 0,06$  e do efluente foi de  $7,23 \pm 0,1$ .

**Gráfico 11** – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 6 horas.

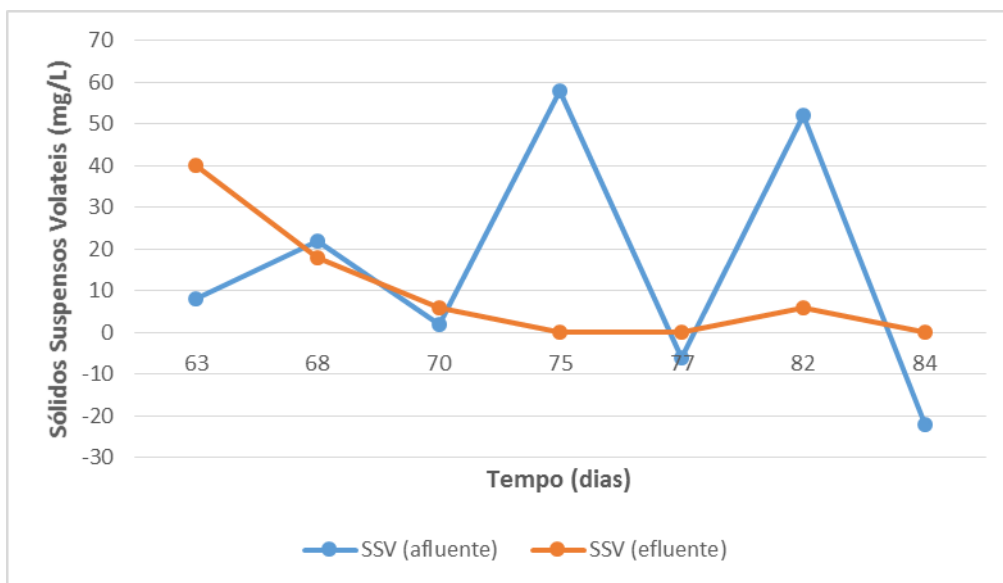


Nos Gráficos 12 e 13 estão apresentados os valores de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para a condição operacional com TDH de 6 horas.

**Gráfico 12** – Variação temporal de sólidos suspensos totais para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas.

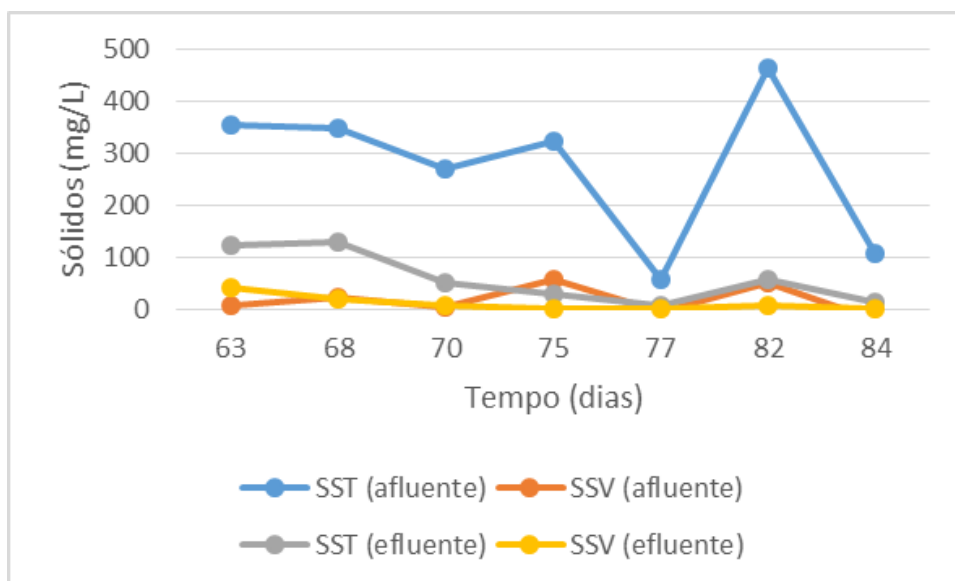


**Gráfico 13** – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas.



A média de SST afluente e efluente foi de  $352,8 \pm 60,05$  mg/L e  $78 \pm 40,54$  mg/L, respectivamente; já para SSV, a média foi de  $28,4 \pm 22,75$  mg/L para afluente e  $14 \pm 14$  para efluente, como é mostrado no Gráfico 14. Como pode-se perceber a partir das amostras coletadas, não houve quantidade significativa de sólidos suspensos voláteis na média dos valores do efluente.

**Gráfico 14** – Variação temporal de sólidos para o reator de leito fixo com TDH de 6 horas.



#### 4.1.4 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Anaeróbia com Tempo de Detenção Hidráulica de 4 Horas

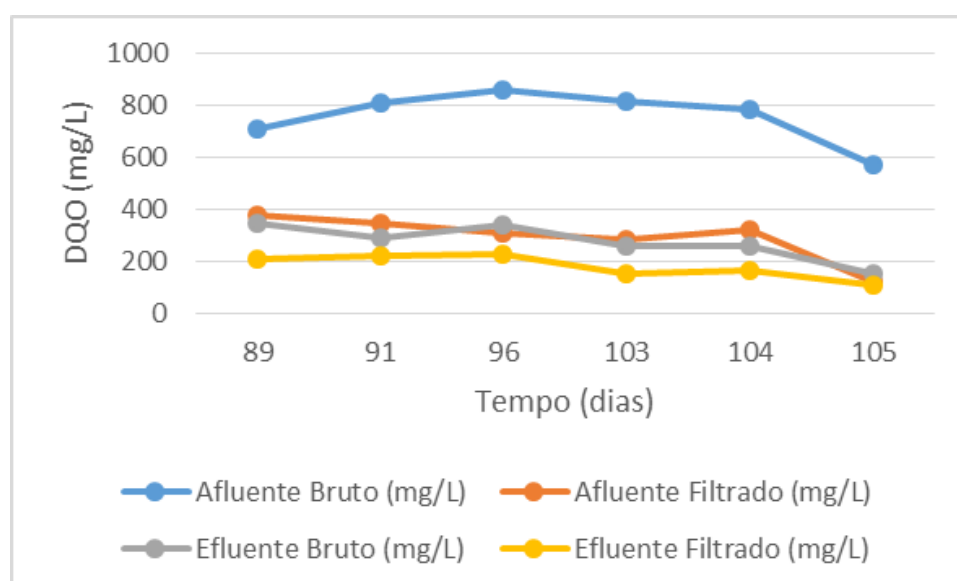
Durante 30 dias foram feitas coletas tanto do afluente como do efluente ao reator. A Tabela 6 apresenta os valores médios dos principais parâmetros para o esgoto sanitário afluente e efluente durante essa etapa de operação, na qual o reator foi operado de modo contínuo sem recirculação da fase líquida com vazão de aproximadamente 6,0 mL/min e tempo de detenção hidráulica de 4 horas.

**Tabela 6** – Média de valores dos parâmetros analisados durante a etapa de 4 horas.

Parâmetros	Afluente	Efluente	Nº de Amostras
pH	6,79±0,06	7,23±0,1	6
DQO Bruta (mg/L)	757,89±92,12	272,75±63,57	6
DQO Filtrada (mg/L)	292,59±91,96	180,19±40,38	6
SST (mg/L)	156,67±90,81	80,67±56,49	3
SSV (mg/L)	44±29,03	12,67±10,63	3

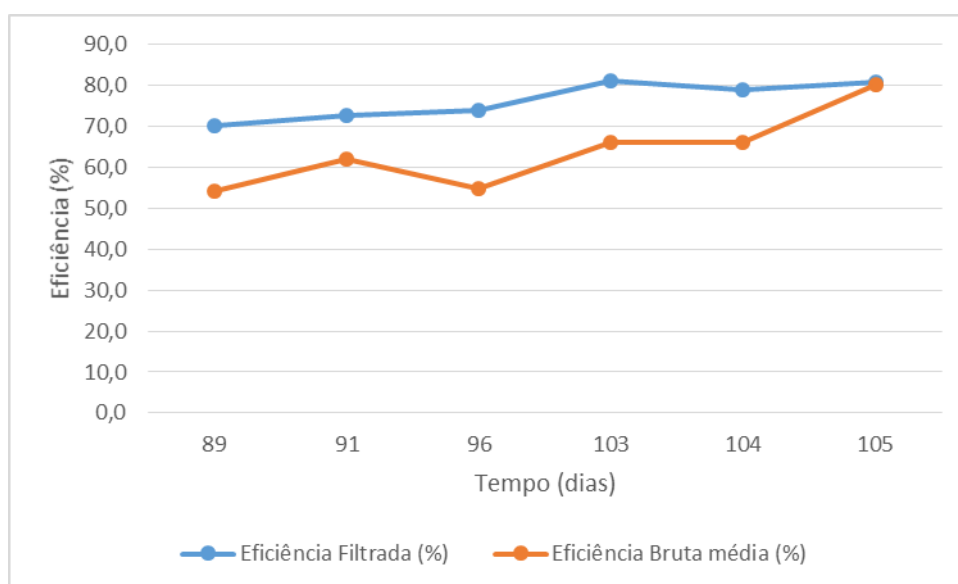
Com base nisso é possível observar através do Gráfico 15 que o reator com TDH de 4 horas teve comportamento similar se comparado a etapa com TDH de 6 horas. O afluente apresentou valor médio de DQO bruta de 757,89±92,12 mg/L, já o valor médio da DQO filtrada afluente foi 292,59±91,96 mg/L, enquanto para o efluente foi observado um valor de 180,19±40,38 mg/L.

**Gráfico 15** – Variação temporal da DQO para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas.



O Gráfico 16 a seguir mostra as eficiências de remoção de DQO para amostras brutas e filtradas. No mais, é importante salientar que as eficiências foram calculadas a partir do afluente bruto durante este período operacional.

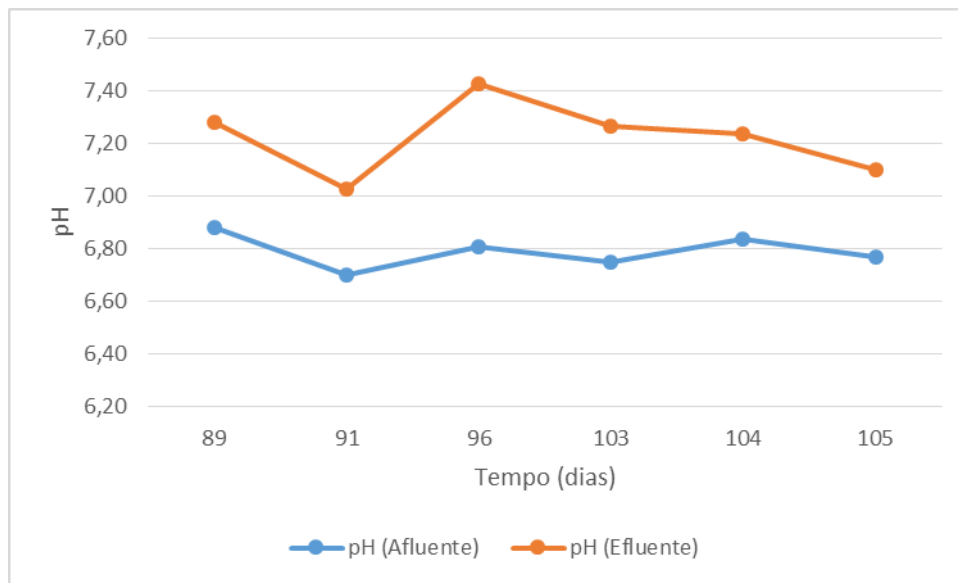
**Gráfico 16** - Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta média e filtrada para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 4 horas.



Deste modo, pode-se observar através do gráfico que os resultados se mostraram satisfatórios, de modo que após a estabilização do sistema, na etapa operacional em análise em relação a amostra bruta, foi possível perceber uma eficiência na ordem dos 60% do mesmo modo que a condição de operação com TDH de 6 horas. Deste modo pode-se perceber que o reator em operação com TDH de 8 horas se mostrou com eficiência superior também ao TDH de 4 horas.

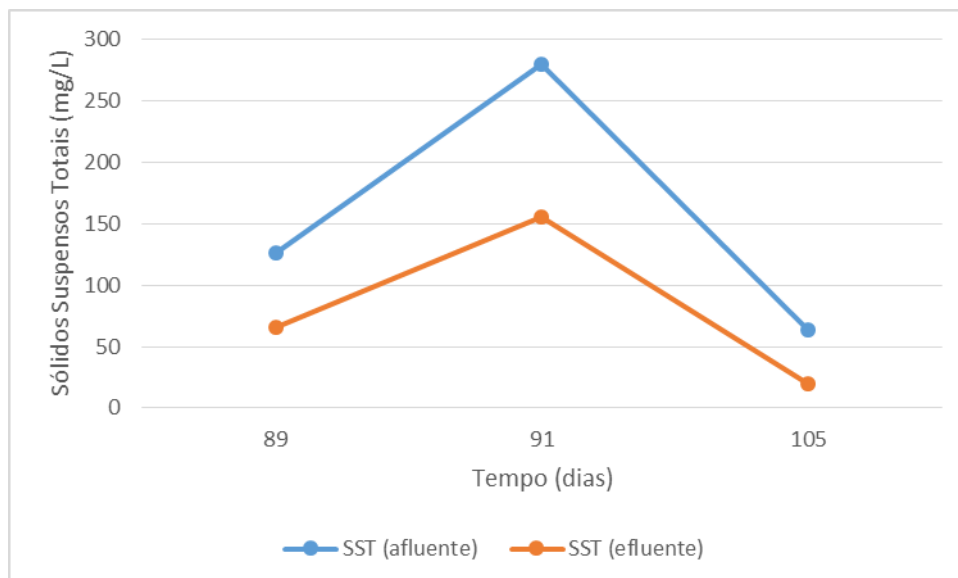
No Gráfico 17 é possível observar a variação do pH ao longo do tempo, em que durante a maior parte dessa fase do experimento, o pH do efluente foi maior que o afluente, consequentemente pode-se concluir que houve uma confirmação da estabilidade operacional, onde o valor médio do pH afluente foi de  $6,79 \pm 0,06$  e do efluente foi de  $7,23 \pm 0,1$ .

**Gráfico 17** – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa anaeróbia com TDH de 4 horas.

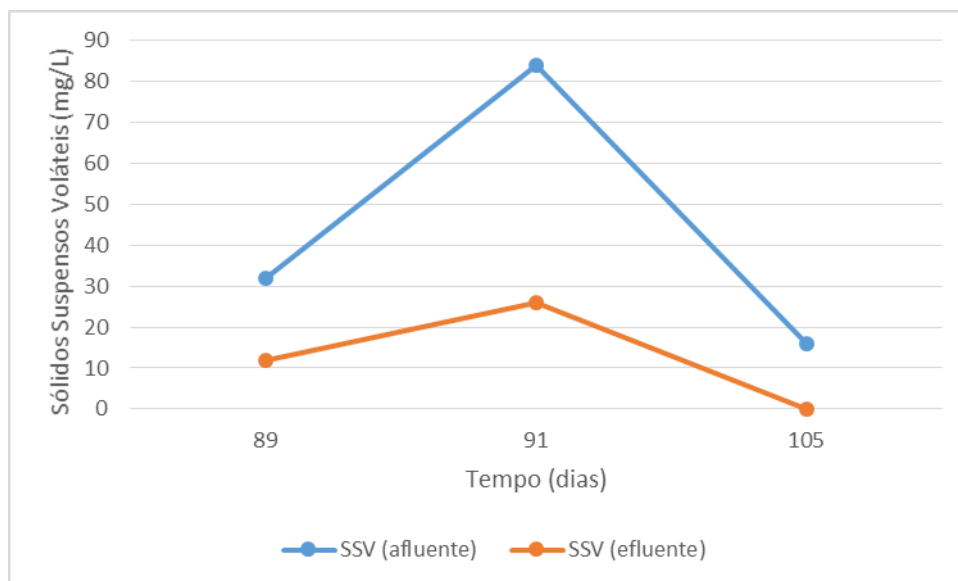


Nos Gráficos 18 e 19 estão apresentados os valores de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para a condição operacional com TDH de 4 horas.

**Gráfico 18** – Variação temporal de sólidos suspensos totais para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas.

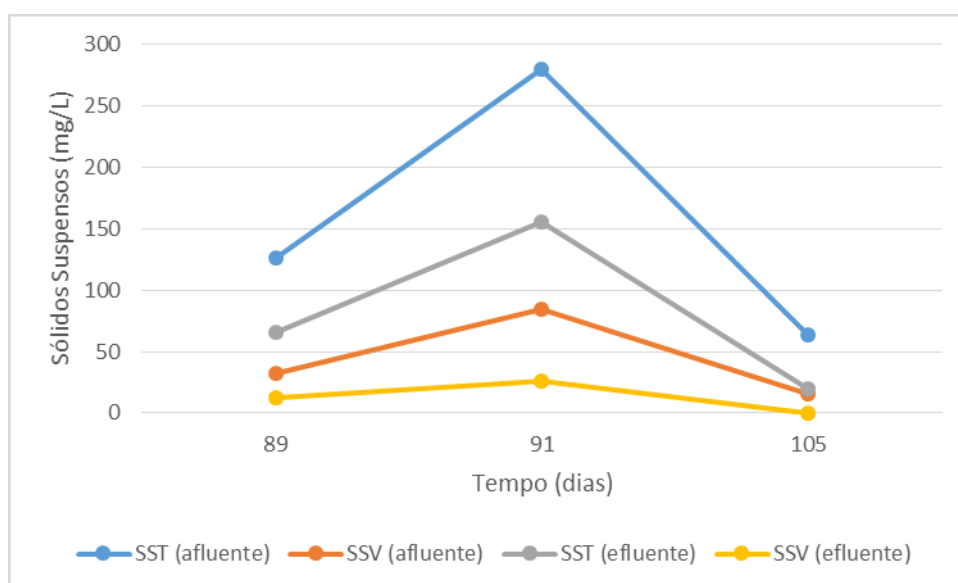


**Gráfico 19** – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas.



A média de SST afluente e efluente foi de  $156,67 \pm 90,81$  mg/L e  $80,67 \pm 56,49$  mg/L, respectivamente; já para SSV, a média foi de  $44 \pm 29,03$  mg/L para afluente e  $12,67 \pm 10,63$  mg/L para efluente, como é mostrado no gráfico 20. Como se pode perceber a partir das amostras coletadas, também não mostraram uma quantidade significativa de sólidos suspensos voláteis na média dos valores do efluente. No entanto as médias foram ligeiramente superiores a etapa com TDH de 6 horas.

**Gráfico 20** – Variação temporal de sólidos para o reator de leito fixo com TDH de 4 horas. Comparação entre as três fases anaeróbias.



Para facilitar a observação e consequente análise dos resultados obtidos durante a fase em que o reator foi operado apenas em etapa anaeróbia, os resultados dos principais parâmetros foram agrupados na Tabela 7. São mostrados apenas valores efluentes para as três etapas estudadas, evidenciando ganhos quando se teve tempo de detenção hidráulica de 8 em relação a 6 e 4 horas, principalmente em relação à remoção de matéria orgânica.

Os resultados obtidos nas operações com diferentes tempos de detenção se mostraram satisfatórios. Porém, os resultados mostram que a condição operacional com maior eficiência no sistema foi com o TDH de 8 horas, tanto para eficiência global do processo quanto para a estabilidade do processo de digestão anaeróbia. Embora tenha apontado uma velocidade de escoamento do líquido menor em relação aos outros tempos de detenção hidráulica, tendo como consequência a diminuição da velocidade de transferência de massa na fase líquida, o melhor desempenho nessa fase operacional pode ser corroborado, devido a menor carga orgânica aplicada ao sistema ocasionado pelo maior tempo de contato da biomassa do reator com o substrato, resultando em maior tempo de reação.

**Tabela 7** – Comparação entre os valores efluentes das três fases anaeróbias estudadas.

<b>Parâmetros</b>	<b>TDH = 8horas</b>	<b>TDH=6horas</b>	<b>TDH=4horas</b>
<b>pH</b>	<b>7,00 ± 0,14</b>	<b>6,81 ± 0,15</b>	<b>7,23 ± 0,1</b>
<b>DQO Bruta (mg/L)</b>	<b>148,82 ± 54,25</b>	<b>280,78 ± 71,57</b>	<b>272,75 ± 63,57</b>
<b>DQO Filtrada (mg/L)</b>	<b>97,72 ± 36,06</b>	<b>180,54 ± 46,11</b>	<b>180,19 ± 40,38</b>
<b>SST (mg/L)</b>	<b>79,86 ± 65,05</b>	<b>78±40,54</b>	<b>80,67±56,49</b>
<b>SSV (mg/L)</b>	<b>38,58 ± 60,35</b>	<b>14±14</b>	<b>12,67±10,63</b>

#### **4.2 Avaliação do Desempenho do Reator Operado de Forma Combinada**

Durante 26 dias foram feitas coletas tanto do afluente como do efluente ao reator. A tabela 8 apresenta os valores médios dos principais parâmetros para o esgoto sanitário afluente e efluente durante essa etapa de operação, na qual o reator foi operado de modo contínuo sem recirculação da fase líquida com vazão de aproximadamente 3,0 mL/min e tempo de detenção hidráulica de 8 horas.

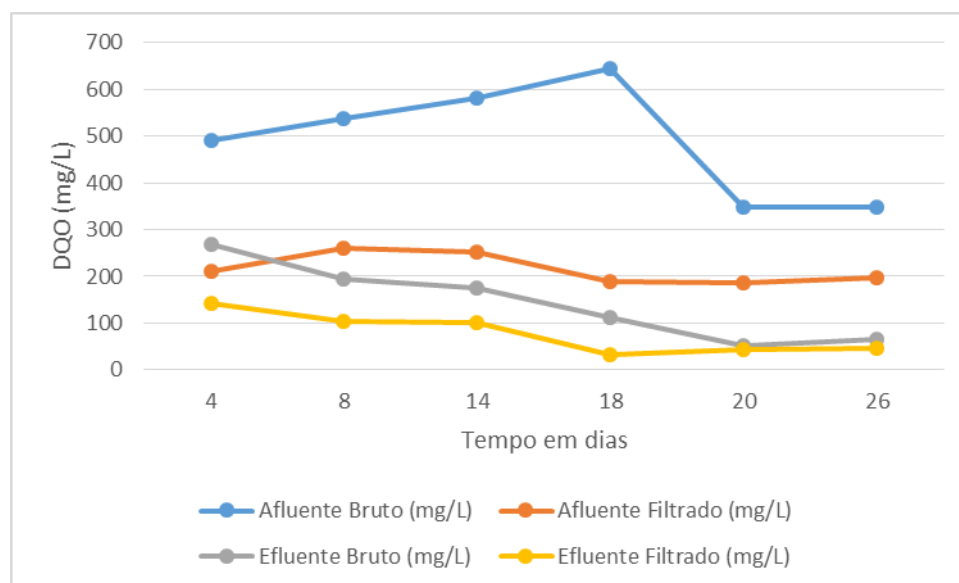


**Tabela 8** – Principais características do esgoto Sanitário afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo, em etapa combinada e TDH de 8 horas.

Parâmetros	Afluente	Efluente	Nº de Amostras
pH	6,75±0,05	7,44±0,08	6
DQO Bruta (mg/L)	447,82±140,16	75,95±25,36	6
DQO Filtrada (mg/L)	190,57±4,00	40,62±6,45	6
SST (mg/L)	282,67±169,12	31,34±20,55	6
SSV (mg/L)	34,67±28,86	2,00±2,83	6

O Gráfico 21 mostra os valores de DQO de amostras bruta e filtrada, variando ao longo do período operacional de reator em etapa combinada, respectivamente, para afluente e para efluente.

**Gráfico 21** – Variação temporal de DQO para o reator de leito fixo em etapa combinada.



No Gráfico 21 pode-se observar que a matéria orgânica foi removida eficientemente no reator de leito fixo utilizando um TDH de 8 horas, operando em condição anaeróbia seguida de aeróbia. Pode-se observar que, independentemente do valor da DQO afluente, os valores obtidos para efluente, tanto para amostra bruta quanto para amostra filtrada, a partir do dia 18 logo após a adaptação do sistema, estiveram abaixo de 120mg/L. O sistema se manteve

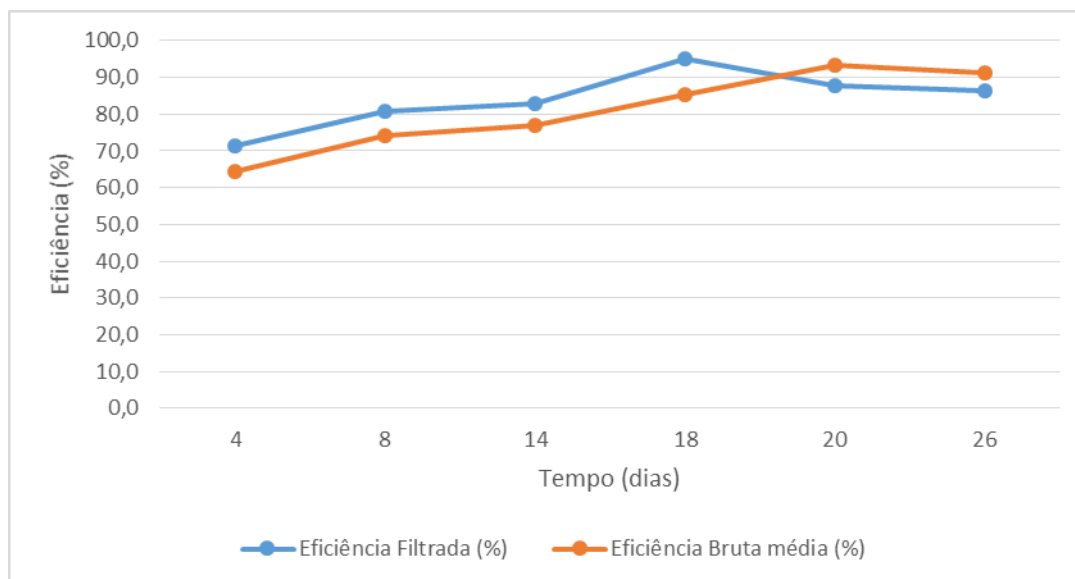
estável durante todo o tempo de operação e os valores efluentes para DQO de amostra bruta e filtrada foram menores comparando-se com as condições anteriores.

O efluente apresentou valor médio de DQO de amostra bruta de  $75,95 \pm 25,36$  mg/L, o qual se manteve independente das variações da DQO bruta afluente, que apresentou valor médio de  $447,82 \pm 140,16$  mg/L. É importante ressaltar que mesmo para um pico de DQO de 646,03 mg/L no 18º dia de operação, o efluente apresentou valor igual a 110,85 mg/L, ou seja, o sistema operava com eficiência satisfatória, independente das variações afluentes.

Quanto as Demandas Químicas de Oxigênio nas amostras filtradas do efluente mantiveram-se estáveis, assim como os valores das amostras brutas. Tendo como valor médio da DQO filtrada afluente aproximadamente  $190,57 \pm 4,00$  mg/L enquanto para efluente foi de  $40,62 \pm 6,45$  mg/L. Deste modo pode se observar que os valores de afluentes de DQO encontrados para o reator com fase combinada foram semelhantes aos encontrados em fase anaeróbia.

O Gráfico 22 a seguir mostra as eficiências de remoção de DQO para amostras brutas e filtradas. No mais, é importante salientar que as eficiências foram calculadas a partir do afluente bruto durante este período operacional.

**Gráfico 22** – Eficiências de remoção de DQO ao longo do tempo para amostras bruta e filtrada em reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.

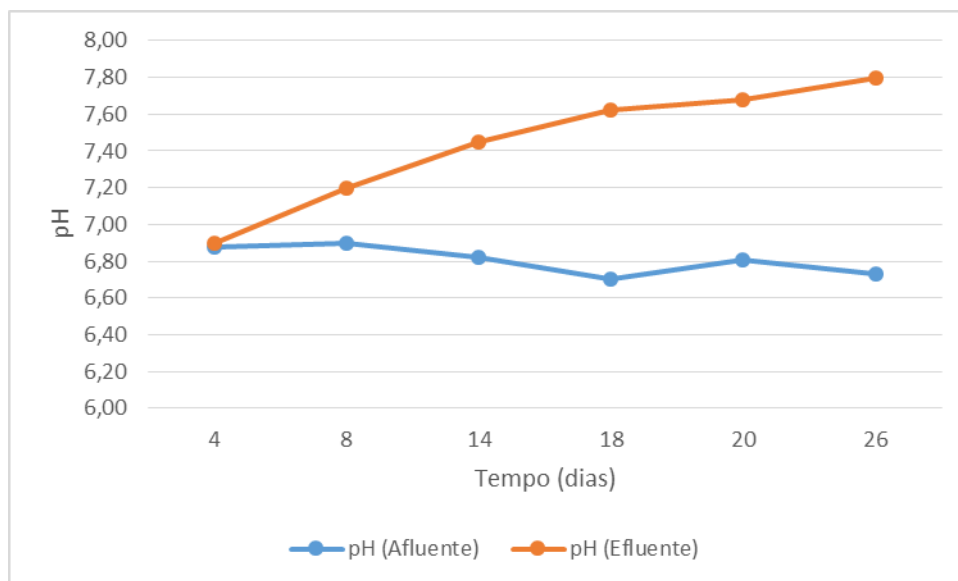


Deste modo, pode-se observar através do gráfico que os resultados se mostraram satisfatórios, de modo que após a estabilização do sistema, na etapa operacional em análise em relação a

amostra bruta, foi possível perceber uma eficiência muito próxima aos 90%. Deste modo pode-se perceber que o reator em operação com TDH de 8 horas em fase combinada se mostrou com eficiência superior a etapa exclusivamente anaeróbia.

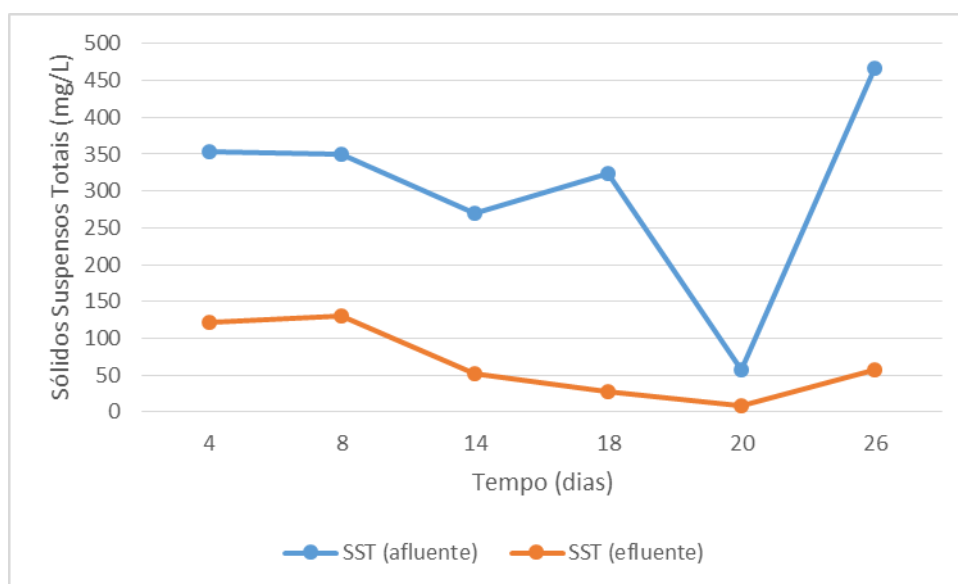
No Gráfico 23 é possível observar a variação do pH ao longo do tempo, em que durante a maior parte dessa fase do experimento, o pH do efluente foi maior que o afluente, consequentemente pode-se concluir que houve uma confirmação da estabilidade operacional, onde o valor médio do pH afluente foi de  $6,75 \pm 0,05$  e do efluente foi de  $7,44 \pm 0,08$ .

**Gráfico 23** – Variação temporal do pH afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.

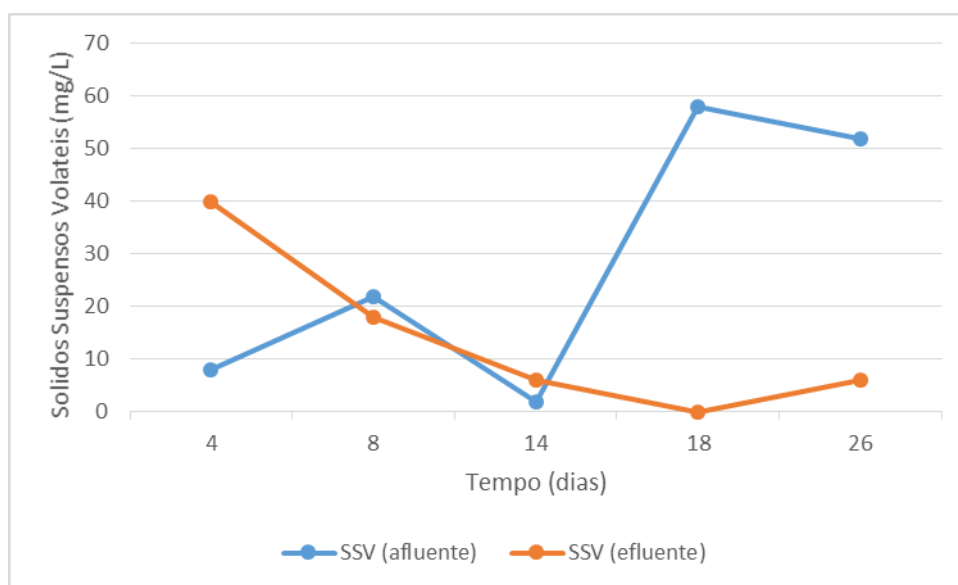


Nos Gráficos 24 e 25 estão apresentados os valores de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para a esta condição operacional de etapa combinada.

**Gráfico 24** – Variação temporal de sólidos suspensos totais afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.



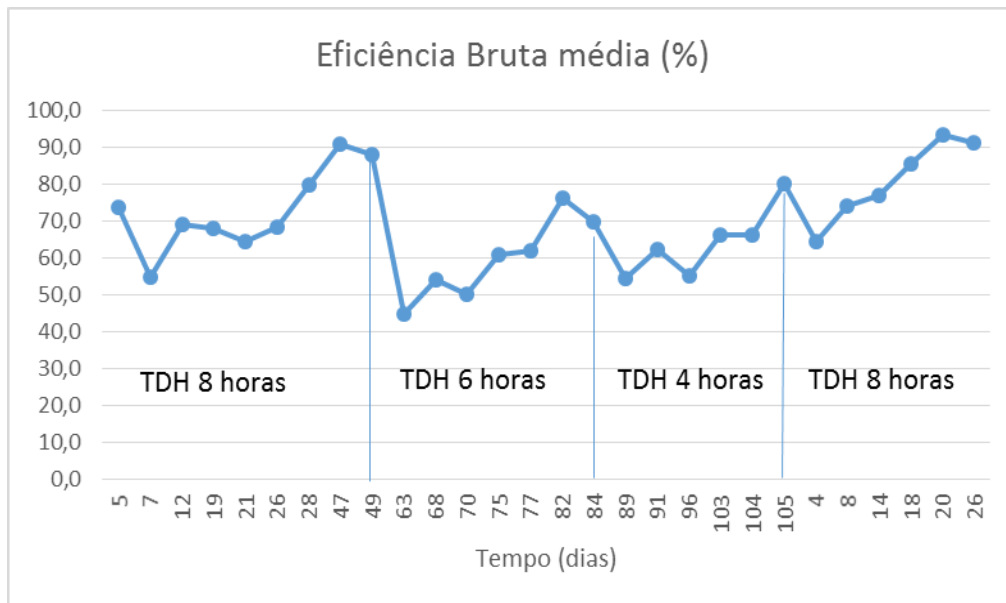
**Gráfico 25** – Variação temporal de sólidos suspensos voláteis (SSV) afluente e efluente para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.



É possível observar a similaridade entre o comportamento dos SST e dos SSV. A média de SST afluente e efluente foi de  $352,81 \pm 64,05$  mg/L e  $78,01 \pm 40,54$  mg/L, respectivamente; já para SSV, a média foi de  $28,41 \pm 22,75$  mg/L para afluente e  $3,01 \pm 3,00$  mg/L para efluente, como é mostrado no gráfico 25. Vale salientar que o ponto que marca uma concentração de sólidos muito baixa em relação as demais concentrações, pode ter sido ocasionado por um erro de análise ou mesmo por um problema na coleta, no mais, como pode-se perceber a partir das amostras coletadas, não houve quantidade significativa de sólidos suspensos voláteis na média dos valores do efluente.

No Gráfico 26 pode se ver a eficiência em relação a DQO bruta média em análise com os diferentes TDH que forma utilizados na fase exclusivamente anaeróbia bem como como na fase combinada, deste modo consegue-se perceber que a fase combinada mostrou uma eficiência bruta maior que que as demais etapas do sistema.

**Gráfico 26** – Variação temporal da eficiência bruta média para o reator de leito fixo operado de modo contínuo e em etapa combinada com TDH de 8 horas.



### 4.3 Comparação entre a Fase Anaeróbia e a Fase Combinada

Para facilitar a observação e consequente análise dos resultados obtidos durante a fase em que o reator foi operado apenas em etapa anaeróbia e logo em seguida operou-se a fase combinada, os resultados dos principais parâmetros foram agrupados na tabela 9. São mostrados apenas valores efluentes para as fases estudadas, evidenciando ganhos quando se teve tempo de detenção hidráulica de 8 em relação a 6 e 4 horas, principalmente em relação à remoção de matéria orgânica. E ainda se observou um ganho maior quando foi inserido a aeração no reator, em se tratando de remoção de matéria orgânica e sólidos presentes.

Os resultados obtidos nas operações com diferentes tempos de detenção se mostraram satisfatórios. Porém, os resultados mostram que a condição operacional com maior eficiência no sistema foi com o TDH de 8 horas em fase combinada, tanto para eficiência global do processo quanto para a estabilidade do processo de digestão anaeróbia. Embora tenha reduzido o leito reacional da fase anaeróbia com a inserção da aeração, a remoção de matéria orgânica se mostrou satisfatória, o melhor desempenho nessa fase operacional pode ser corroborado, devido a menor carga orgânica aplicada ao sistema ocasionado pelo maior tempo

de contato da biomassa do reator com o substrato e uma remoção adicional devido a presença de bactérias aeróbias, resultando em uma maior remoção de matéria orgânica. Onde se utilizou de uma remoção combinando os processos anaeróbios e aeróbios, unindo as vantagens de um com as desvantagens do outro.

**Tabela 9** – Comparação entre os valores efluentes das três fases anaeróbias estudadas.

Parâmetros	Fase Anaeróbia			Fase Combinada
	TDH = 8horas	TDH=6horas	TDH=4horas	TDH=8horas
pH	7,00 ± 0,14	6,81 ± 0,15	7,23 ± 0,1	7,44±0,08
DQO Bruta (mg/L)	148,82 ± 54,25	280,78 ± 71,57	272,75 ± 63,57	75,95±25,36
DQO Filtrada (mg/L)	97,72 ± 36,06	180,54 ± 46,11	180,19 ± 40,38	40,62±6,45
SST (mg/L)	79,86 ± 65,05	78±40,54	80,67±56,49	31,34±20,55
SSV (mg/L)	38,58 ± 60,35	14±14	12,67±10,63	3,01±3,00

Estes resultados revelam a importância da utilização de novas alternativas para o tratamento de águas residuárias. O uso dessas tecnologias potencializa o tratamento de efluentes residenciais.

Vale salientar que nos dias que foram coletadas as amostras não ocorreram problemas na bomba fabricada, dessa maneira foi possível manter o barrilete com efluente e o reator de bancada sempre em funcionamento. O que contribui para que o afluente não fermentasse. Outro fator importante foi que houve muitas dificuldades em tentar chegar a vazão de projeto de aproximadamente 3,0 mL/min, para que assim pudesse fazer uma coleta da amostra do efluente com tempo de detenção de 8 horas que foi de extrema importância para que houvesse uma remoção aceitável. Com relação aos demais tempos de detenção foi possível se chegar a uma vazão esperada sem tantos problemas, já que era uma maior vazão em relação ao TDH de 8 horas. Deste modo, esse estudo mostra que o reator tem forte potencial para ser aprimorado para se chegar melhores resultados além de ser uma tecnologia de baixo custo tendo como material suporte a bucha curcubitacea facilmente encontrado na região e que contribuiu para a colonização da biomassa e eficiente remoção da matéria orgânica.

## 5.0 CONCLUSÕES

O reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo se mostrou bastante eficiente em se tratando da remoção de matéria orgânica e remoção de sólidos suspensos totais, corroborando sua importância para a utilização como alternativa no tratamento de esgoto doméstico. Na etapa exclusivamente anaeróbia com TDH de 8 horas, foi possível perceber que o reator operou de forma mais efetiva em relação ao TDH de 6 e 4 horas no que diz respeito a digestão anaeróbia. Deste modo, pode-se chegar ao melhor tempo de detenção hidráulica a ser utilizada na etapa seguinte combinada anaeróbia-aeróbia, tendo valores significativos em se tratando da remoção de sólidos suspensos e remoção da matéria orgânica chegando a valores superiores a 90 % com concentração de DQO abaixo de 120 mg/L, fator esse que pode ser justificado pelo fato da zona aeróbia remover a parte remanescente da zona anaeróbia, revelando que a combinação dos dois processos contribui para uma maior eficiência global do sistema otimizando as vantagens de um processo e diminuindo as desvantagens do outro.

Com o trabalho realizado é possível dar continuidade para se avaliar com mais precisão a durabilidade do material suporte utilizado, bem como inserir a recirculação para analisar a remoção de nitrogênio do reator em estudo. O material suporte se mostrou bastante efetivo em se tratando da boa aderência da biomassa.

## 6.0 SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

O tipo de material suporte se mostra inovador, pois é possível observar que diante das referências consultadas não se percebeu a utilização de material semelhante, para trabalho futuro pode-se tentar medir a biodegradabilidade desse tipo de material, visto que o mesmo é um material orgânico o que poderá contribuir para uma melhor compreensão do seu comportamento no processo de tratamento de águas residuárias.

## 7.0 REFERÊNCIAS

ABREU, B. S.; **Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

ARAÚJO JR., M.M. (2006). **Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria produtora de lisina.** Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 136p.

FAZOLO, A. (2003). **Determinação de parâmetros cinéticos e de transferência de massa em reator radial aeróbio-anóxico alimentado com esgoto sanitário tratado em reator anaeróbio.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD (2010). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

KATO, M. T.; ANDRADE NETO, C. O.; CHERNICHARO C. A. L.; FORESTI E.; CYBIS, L. F. (1999). **Configurações de reatores anaeróbios.** In: Campos, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, pp.53-99.

OLIVEIRA NETTO, A. P.; **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

OLIVEIRA NETTO, A. P.; **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo em escala piloto, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

SONOBE H. G.; OLIVEIRA NETTO A. P.; ZAIAT M. **Influência da carga orgânica no desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** Anais do IV seminário do projeto temático. São Carlos/SP, 2010.

Von SPERLING, M.; **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. rev. Belo Horizonte: DESA/UFMG. v. 1, 1996.

YOUNG, J.C. (1990). **Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters.** Fayetteville University of Arkansas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS. São Carlos, julho de 1990. 33p.

ZAIAT, M. (1996). **Desenvolvimento de reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) para tratamento de águas residuárias.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

VELA, F. J.; **Tratamento de Esgoto Sanitário em Reator Anaeróbio Operado em Batelada Sequenciais e Periodicamente Aerado.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

LIMA, A. B. B.; **Pós-Tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial construído de ozonização em processo biológico aeróbio.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.