

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

JULIO CESAR PRAMPERO

**FATORES OPERACIONAIS NA MANUTENÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM REATOR
UASB COMPARTIMENTADO TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO**

Ilha Solteira
2017

JULIO CESAR PRAMPERO

**FATORES OPERACIONAIS NA MANUTENÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM REATOR
UASB COMPARTIMENTADO TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Prof. Dr. Tsunao Matsumoto
Orientador

Ilha Solteira
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P898f Prampero, Julio Cesar.
Fatores operacionais na manutenção da eficiência de um reator UASB
compartimentado tratando esgoto sanitário / Julio Cesar Prampero. -- Ilha
Solteira: [s.n.], 2017
74 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia . Área de conhecimento: Recursos Hídricos, 2017

Orientador: Tsunao Matsumoto
Inclui bibliografia

1. Tratamento de águas residuárias. 2. Tecnologias ambientais.
3. Reator anaeróbio.

CRB 8- 4740



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: FATORES OPERACIONAS NA MANUTENÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM REATOR UASB COMPARTIMENTADO TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

AUTOR: JULIO CESAR PRAMPERO

ORIENTADOR: TSUNAO MATSUMOTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: RECURSOS HIDRÍCOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. ROSANE FREIRE BOINA
Departamento de Química e Bioquímica / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Profa. Dra. GIOVANA TOMMASO
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos / Universidade de São Paulo

Ilha Solteira, 02 de março de 2017

DEDICO

Especialmente a meus pais, que não mediram esforços para prover o que fosse necessário, apesar de todas as dificuldades, para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, por me proverem todo o apoio necessário durante essa e todas outras fases de minha vida.

Ao meu orientador Professor Dr. Tsunao Matsumoto, por todo auxílio, paciência, boas conversas e exímio conhecimento transmitido.

A todos os professores do DEC com os quais pude trocar experiências, em especial aos Professores Dr. William Deodato Isique, por todo o apoio e conhecimentos trocados no laboratório de saneamento, e Professor Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira pela oportunidade e por todo o conhecimento transmitido.

As amigas e companheiras de jornada e laboratório, em especial a Tatiana Santos da Silva, Mariane Luz dos Anjos e Flaviane Smaniotto.

Ao amigo e conterrâneo Moacir Feba Tetila pela motivação e apoio em meus primeiros passos na pós-graduação.

“O verdadeiro espelho de nossos discursos é o curso de nossas vidas”. M. Montaigne.

RESUMO

O uso de inovações estruturais em reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) para sua utilização no tratamento de esgoto doméstico, como a compartimentação, é uma alternativa para aprimorar um sistema de tratamento simples e eficiente. Projetado com configuração estrutural inovadora o Reator UASB Compartimentado (RUC) utilizado foi operado em fluxo contínuo com esgoto sanitário do município de Ilha Solteira- SP. Objetivando a avaliação da eficiência do RUC quanto a seus fatores operacionais, a pesquisa foi dividida em quatro etapas. O RUC foi submetido e operado a uma carga orgânica de 1,21kgDQO/d e temperatura ambiente média de 22,47°C, alcançando médias de 74% de remoção de DQO e até 87%. Para remoção de nutrientes foram atingidas médias de 36% para Nitrogênio Total e 44% para Fósforo Total, com máximas de 63 e 64%, respectivamente. Demandou pouca operação de manutenção e baixa produção de lodo. Durante todo período de atividade deparou-se com diversos problemas operacionais, tais como: acúmulo de gordura, tanto na câmara de gases quanto aderida ao lodo, os quais levaram a obstrução do sistema de saída e equipamento de monitoramento dos gases, resultando na perda de eficiência e conseqüentemente, necessitando de descarga completa e reinoculação do RUC.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto. Configuração inovadora. Eficiência. Operação.

ABSTRACT

The use of structural innovations in UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reactors for use in the sewage treatment, such as compartmentation, is an alternative to improve a simple and efficient treatment system. In an innovative structural configuration, the Compartmented UASB Reactor (CUR) used was run in continuous, using Ilha Solteira - SP municipal sewage. To evaluate the CUR efficiency as for operational factors, this research was divided in four steps. The CUR was submitted to an organic load of 1.21kgCOD/day, operated at average temperature of 22.47°C, showed average COD removal of 74%, reaching up to 87%. The nutrient removal average were 36% for Total Nitrogen and 44% for Total Phosphorus reached maximums of 63 and 64%, respectively. The reactor presented low maintenance and sludge production. During all time CUR come across operational troubles such as: fat accumulation in gas chamber and adhered to the sludge, which causing the obstruction of the exhaust system and monitoring device, resulted in efficiency loss and the needed to sludge discard and re-inoculation to restart.

Keywords: Sewage treatment. Innovative structural configuration. Efficiency. Operation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Representação esquemática simplificada do processo de degradação anaeróbica.....	16
Figura 2	- Curva característica do crescimento bacteriano.....	19
Figura 3	- Representação esquemática de um reator UASB.....	25
Figura 4	- Acúmulo de espuma no separador trifásico.....	30
Figura 5	- Estrutura suporte do UASB.....	32
Figura 6	- Representação do corte longitudinal do UASB.....	33
Figura 7	- Câmara de gases: (a) tubo quatro e (b) defletor de gases.....	34
Figura 8	- Representação esquemática da câmara de gases.....	34
Figura 9	- Esquemática de funcionamento do sistema de abastecimento do RUC.....	35
Figura 10	- Peneira Estática: (a) malha (b) Estrutura.....	36
Figura 11	- Reservatório e bomba helicoidal.....	36
Figura 12	- Caixa de nível.....	37
Figura 13	- Vertedouro de controle da vazão de entrada.....	37
Figura 14	- Caixa de gordura.....	38
Figura 15	- Base do RUC.....	39
Figura 16	- Saída do RUC.....	40
Figura 17	- (a) Tubulação de gás e (b) gasômetro.....	42
Figura 18	- Resultados obtidos de DQO do Período I.....	46
Figura 19	- Resultados obtidos de pH e alcalinidade do Período I.....	47
Figura 20	- Resultados obtidos de Nitrogênio e Fósforo Totais do Período I.....	48
Figura 21	- Volume medido de biogás.....	48
Figura 22	- Obstrução da câmara de gases.....	49
Figura 23	- Lado da descarga completa do RUC.....	50
Figura 24	- Abertura da base do RUC para limpeza.....	50
Figura 25	- Limpeza da parte superior do RUC.....	51
Figura 26	- Resultados obtidos de DQO do Período III – I.....	52
Figura 27	- Resultados obtidos de DQO do Período III – II.....	53
Figura 28	- Resultados obtidos de pH Alcalinidade do Período III-I.....	53
Figura 29	- Resultados obtidos de pH e Alcalinidade do Período III-II.....	54
Figura 30	- Resultados obtidos de temperatura do Período III-I.....	55
Figura 31	- Resultados obtidos de temperatura do Período III-II.....	55
Figura 32	- Resultados obtidos de ST para o Período III.....	56
Figura 33	- Resultados obtidos de SST para o Período III....	57
Figura 34	- Resultados obtidos de SSV para o Período III....	57
Figura 35	- Resultados obtidos de Nitrogênio e Fósforo Totais do Período III-II.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros de projeto do reator em condições operacionais.....	41
Tabela 2	- Valores máximos, médios e mínimos de DQO para o Período I.....	45
Tabela 3	- Valores máximos, médios e mínimos de pH e alcalinidade do Período I.....	46
Tabela 4	- Valores máximos, médios e mínimos de NT e PT do Período I.....	47
Tabela 5	- Valores de DQO máximos, mínimos e médios para o Período III-I.....	52
Tabela 6	- Valores máximos, médios e mínimos de DQO para o Período III-II.....	52
Tabela 7	- Valores máximos, médios e mínimos de pH e alcalinidade do Período III-I.....	53
Tabela 8	- Valores máximos, médios e mínimos de pH e alcalinidade do Período III-II.....	54
Tabela 9	- Valores máximos, médios e mínimos de temperatura Período III-I.....	54
Tabela 10	- Valores máximos, médios e mínimos de temperatura Período III-II.....	55
Tabela 11	- Valores máximos, médios e mínimos de ST para o Período III.....	56
Tabela 12	- Valores máximos, médios e mínimos de SST para o Período III.....	56
Tabela 13	- Valores máximos, médios e mínimos de SSV para o Período III.....	57
Tabela 14	- Valores máximo, médio e mínimo de NT e PT para o Período III-II.....	58
Tabela 15	- Valores obtidos para o Período IV.....	59
Tabela 16	- Comparação do histórico de dados do RUC com o Período I.....	60
Tabela 17	- Histórico de dados do RUC para o Período III-II.....	62
Tabela 18	- Histórico de dados de sólidos do RUC.....	63
Tabela 19	- Resultados obtidos para DQO, pH, alcalinidade para o PI	71
Tabela 20	- Resultados Obtidos para NT e PT para o PI.....	71
Tabela 21	- Resultados obtidos para DQO, pH, alcalinidade e temperatura no PIII-I.....	72
Tabela 22	- Resultados obtidos para DQO, pH, alcalinidade e temperatura no PIII-II.....	72
Tabela 23	- Resultados obtidos para NT e PT para o PIII-II.....	73
Tabela 24	- Dados obtidos para as séries de sólidos do PI.....	73
Tabela 25	- Dados obtidos para as séries de sólidos do PIII.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Desenvolvimento da pesquisa.....	41
Quadro 2	- Análises de monitoramento durante as fases de partida.....	43
Quadro 3	- Análises de monitoramento durante a fase operacional plena.....	43
Quadro 4	- Roteiro operacional.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CO ₂	- Gás Carbônico
CH ₄	- Metano
COV	- Carga Orgânica Volumétrica
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
Kg	- Quilograma
L	- Litros
m ³	- Metros cúbicos
mm	- Milímetros
NT	- Nitrogênio Total
O&G	- Óleos e Graxas
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PT	- Fósforo Total
RUC	- Reator UASB Compartimentado
ST	- Sólidos Totais
SST	- Sólidos Suspensos Totais
SSV	- Sólidos Suspensos Voláteis
TDH	- Tempo de Detenção Hidráulico
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanquet
Unesp	- Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	14
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	15
3.2	DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	15
3.2.1	Hidrólise	16
3.2.2	Acidogênese	17
3.2.3	Acetogênese	17
3.2.4	Metanogênese	18
3.3	CRESCIMENTO BACTERIANO.....	19
3.4	BALANÇO DE DQO E PRODUÇÃO DE METANO.....	21
3.4.1	Mecanismos básicos de formação do metano	22
3.4.2	Estimativa de Produção do Metano	23
3.5	NUTRIENTES.....	24
3.6	REATOR UASB.....	24
3.6.1	Pré-tratamento	26
3.6.2	Partida	26
3.6.3	Temperatura	27
3.6.4	pH e alcalinidade	27
3.6.5	Monitoramento da produção do Biogás	28
3.6.6	Remoção Óleos e Graxas	29
3.7	REATOR UASB COMPARTIMENTADO.....	31
4	MATERIAIS E METODOS	32
4.1	CARACTERÍSTICAS DO REATOR UASB.....	32
4.1.1	Estrutura e Funcionamento	35
4.2	DIMENSIONAMENTO.....	40
4.3	FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	41
4.4	MONITORAMENTO.....	42
4.5	MANUTENÇÃO DO SISTEMA.....	44
5	RESULTADOS	45
5.1	PERÍODO I.....	45
5.1.1	DQO	45
5.1.2	pH e Alcalinidade	46
5.1.3	Nitrogênio Total e Fósforo Total	47
5.1.4	Biogás	48
5.2	PERÍODO II.....	48
5.2.1	Obstrução da câmara de gases	49
5.3	PERÍODO III.....	51
5.3.1	DQO	51
5.3.2	pH e Alcalinidade	53
5.3.3	Temperatura	54

5.3.4	Sólidos.....	56
5.3.5	Nitrogênio Total e Fósforo Total.....	58
5.4	Período IV.....	58
6	DISCUSSÃO	60
6.1	PERÍODO I.....	60
6.2	PERÍODO II.....	61
6.3	PERÍODO III-I.....	61
6.4	PERÍODO III-II.....	62
6.5	PERÍODO IV.....	64
7	CONCLUSÃO	66
8	RECOMENDAÇÕES	67
	Referências.....	68
	APENDICE A. - DADOS OBTIDOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS	71

1 INTRODUÇÃO

O tratamento do esgoto sanitário busca reduzir seu potencial poluidor por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Dentre as técnicas mais utilizadas nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), destacam-se aquelas que envolvem os processos biológicos de tratamento, devido a sua eficiência e atrativa relação custo x benefício (SPERLLING, 1996; CHERNICHARO, 2007).

Dentre os modelos de sistemas para ETEs utilizados Brasil, sobressaem os anaeróbios, com ênfase para os Reatores de Manta de Lodo (do Inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB), devido a sua eficiência, custo relativamente baixo de instalação e operação, tolerância à variações de temperatura e cargas mais elevadas, além de baixos índices de consumo de energia elétrica e requisitos de área para implantação (CHERNICHARO, 2007).

Perante a carência em investimentos na área de saneamento no país, a busca por aprimorar os sistemas de tratamento de esgoto pode garantir uma melhor proteção ao meio, com melhores padrões de despejo, diminuir custos do processo com o uso de sistemas de tratamento mais otimizados, podendo ainda agregar atrativo financeiro, como é o caso da produção de biogás para fins de aproveitamento energético (SPERLLING, 1996; CHERNICHARO, 2007).

O Reator UASB Compartimentado (RUC) utilizado alia características construtivas e operacionais de reatores UASB a reatores anaeróbios compartimentados, resultando em uma configuração diferenciada, que visa à separação das etapas acidogênica e metanogênica da digestão anaeróbia, buscando melhor adaptação de um reator UASB ao tratamento de efluente sanitário (CAMPOS, 1999), conciliada a uma melhoria da produção de metano (SATO, 2013).

Configurando um projeto de compartimentação inovador e diferenciado, otimizando o já conceituado modelo de reator UASB ao seu uso com esgoto sanitário, acrescentando uma viabilidade ainda maior a este, com eficiência de tratamento na remoção de carga orgânica e nutrientes, alto potencial à produção de biogás, baixa produção e facilitado manejo de lodo, entre seus maiores potenciais, demonstrando sua viabilidade frente aos demais meios utilizados no tratamento de efluente sanitário.

2 OBJETIVO

O objetivo principal da pesquisa foi avaliar a eficiência de um reator UASB compartimentado (RUC) quanto aos fatores operacionais tratando esgoto sanitário.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar meios de controlar o acúmulo de gordura no separador trifásico;
- Avaliar os parâmetros de controle de operação do reator;
- Avaliar a operação do reator quanto ao descarte e repartida.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO SANITÁRIO

Os mecanismos de tratamento biológico de esgoto sanitário buscam reproduzir a degradação natural dos efluentes que ocorre na natureza, denominada autodepuração, de uma maneira onde se possa ter controle da eficiência do tratamento, além da possibilidade de se tratar a elevadas taxas e em áreas compactas (SPERLING, 1996).

As bactérias heterotróficas são os principais organismos envolvidos na estabilização da matéria orgânica em sistemas de tratamento biológico, convertendo o material orgânico por ação bioquímica. Diferentes grupos de bactérias trabalham em conjunto na degradação da matéria orgânica. Dentre os processos de degradação, os que mais se destacam são os aeróbios, anóxicos, anaeróbios e os combinados. A ocorrência ou utilização de cada processo pode ser definida de acordo com fatores como: características do substrato, clima, pH, concentração de oxigênio, área de implantação, consumo de energia, dentre diversos outros mais específicos (CAMPOS et al., 1999; METCALF; EDDY, 1991).

No catabolismo bacteriano, em que as bactérias heterótrofas utilizam matéria orgânica como fonte de energia, os produtos resultantes variam de acordo com as bactérias envolvidas e com o ambiente que prevalece no sistema de tratamento, podendo este ser aeróbio, no qual o oxigênio funciona como oxidante ou anaeróbio, sem a presença do oxigênio (CAMPOS et al., 1999).

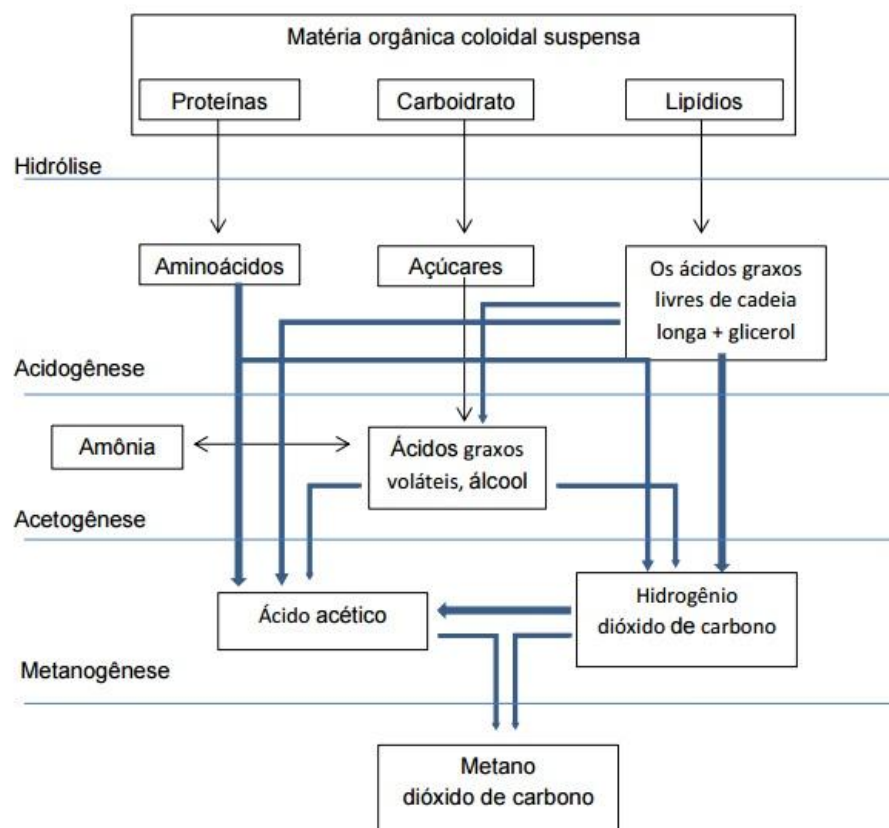
3.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Nos ambientes anaeróbios, diferentemente dos aeróbios, ocorre a mineralização ou oxidação, o material orgânico é transformado por processos fermentativos (CAMPOS et al., 1999). O processo de digestão anaeróbio depende da atividade microbiana e envolve ao menos três grupos de microorganismos, sendo eles: bactérias fermentativas (acidogênicas), bactérias sintróficas (acetogênicas) e microorganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 2007).

Na digestão anaeróbia, grupos de microorganismos trabalham interativamente convertendo matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás

sulfídrico e amônia. Constituído por duas fases, metanogênica e acidogênica, o processo de digestão anaeróbia pode ser subdividido em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, cada uma exigindo seu próprio grupo característico de microrganismos (CHERNICHARO, 2007; REITH, WIJFFELS; BARTEN, 2003). A Figura 1 apresenta um esquema simplificado da degradação anaeróbia.

Figura 1 - Representação esquemática simplificada do processo de degradação anaeróbica.



Fonte: REITH, WIJFFELS e BARTEN (2003).

3.2.1 Hidrólise

Primeira fase da digestão anaeróbia a hidrólise é o passo limitante do processo de digestão anaeróbia. Consiste na hidrólise de polímeros (material complexo, como proteínas, carboidratos e lipídios), por bactérias fermentativas, em compostos orgânicos solúveis (material dissolvido mais simples). A parede celular das bactérias responsáveis pela hidrólise se valem de enzimas como a celobiase,

protease e amilase (exoenzimas) para hidrolisar o substrato e possibilitar a assimilação deste pela parede celular das bactérias fermentativas hidrolíticas (BEAL, 2004; CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 2007).

Ocorre, usualmente, de modo lento, em condições de anaerobiose e pode ser influenciada pela temperatura, tempo de detenção hidráulico, composição do substrato, tamanho das partículas, pH, concentração de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e a concentração de produtos da hidrólise. (CHERNICHARO, 2007; LETTINGA et al., 1996 Apud ARAUJO, 2014).

3.2.2 Acidogênese

Nessa fase da decomposição anaeróbia, açúcares, aminoácidos e ácidos graxos (compostos orgânicos solúveis) produzidos na fase de hidrólise, são metabolizados por microorganismos acidogênicos, no interior de suas células através de fermentação, e produzem compostos mais simples, como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (principalmente acético, butírico e propiônico), ácido láctico e compostos minerais. (CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 2007; METCALF; EDDY, 1991; REITH, WIJFFELS; BARTEN, 2003).

3.2.3 Acetogênese

Para a produção de substrato apropriado para as arqueas metanogênicas é necessária a presença de bactérias sintróficas acetogênicas. Compostos orgânicos intermediários como propinato e butirato (ácidos graxos voláteis) produzidos na acidogênese, são convertidos em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, dióxido de carbono e hidrogênio (CAMPOS et al., 1999; CASSINI, 2003, CHERNICHARO, 2007). O acetato é o principal precursor direto da metanogênese em sistemas de tratamento de esgotos, nas condições mesofílicas e termofílicas, contabilizando aproximadamente 70 a 80 % do metano produzido. Cerca de 70% da DQO digerida é convertida em ácido acético e 30% concentra-se no hidrogênio formado. (CAMPOS et al., 1999; VAN LIER, 1995 apud TEIXEIRA, 2007).

Durante a acetogênese, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, causando a redução do pH do meio, hidrogênio este consumido no meio por meio de

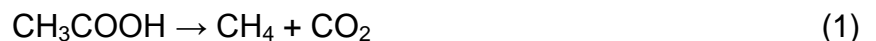
microrganismos metanogênicos, que utilizam o hidrogênio e o dióxido de carbono para produzir o metano, ou pela formação de ácidos orgânicos, como o ácido propiônico, o qual é formado por meio da reação entre o hidrogênio e ácido pirúvico (MOSEY, 1983 Apud LEAL, 2015).

3.2.4 Metanogênese

Última etapa da digestão anaeróbia, a metanogênese é a fase da digestão anaeróbia considerada mais importante e sensível. Ácidos orgânicos voláteis são consumidos por arqueas metanogênicas, produzindo metano e dióxido de carbono. Pode ainda haver a formação de metano na conversão do dióxido de carbono e hidrogênio, produzidos na acetogênese (CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 2007).

Os microorganismos responsáveis pela metanogênese são classificados dentro do domínio Archea e podem ser divididos em dois grupos fisiológicos, metanogênicas hidrogenotróficas e metanogênicas acetoclásticas (CHERNICHARO, 2007; REITH, WIJFFELS; BARTEN, 2003):

- Metanogênicas acetoclásticas são os microorganismos predominantes na digestão anaeróbia. Responsáveis por cerca de 60 a 70% de toda a produção de metano. Utilizam acetato como fonte de carbono e energia, produzindo gás carbônico e metano, como expresso na equação 1:



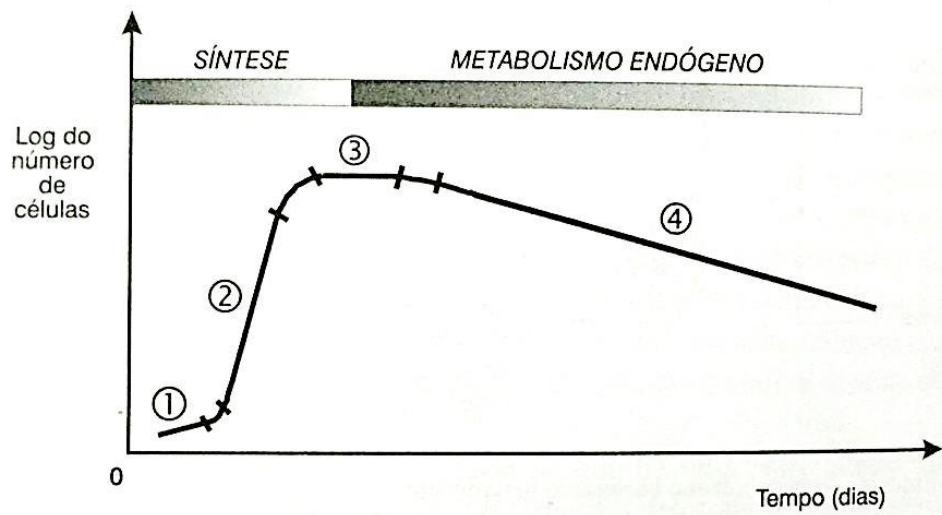
- Metanogênicas hidrogenotróficas utilizam gás carbônico (como fonte de energia e acceptor final de elétrons) e o hidrogênio (como fonte de energia). Parte do gás carbônico reage com o hidrogênio para formar o metano, como demonstra a equação 2:



3.3 CRESCIMENTO BACTERIANO

As bactérias se reproduzem principalmente por fissão binária, como apresentado na curva típica da Figura 2, esse modelo de crescimento se aplica a um ambiente ideal (uma única população de microorganismos e um único substrato), na prática há uma multiplicidade de microorganismos e variações na composição no substrato, gerando uma superposição de diversas curvas, com tipos, formas e tempos diferentes (CHERNICHARO, 2007).

Figura 2 – Curva característica do crescimento bacteriano



- 1- Fase de retardo ou adaptação
- 2- Fase logarítmica (crescimento exponencial)
- 3- Fase estacionária (crescimento igual ao declínio)
- 4- Fase de declínio ou mortandade (decréscimo exponencial)

Fonte: CHERNICHARO (2007).

O coeficiente de produção de biomassa bacteriana varia e se limita de acordo com a presença de nutrientes, sendo assim um fator importante e de difícil determinação prática. O lodo bacteriano ativo (biomassa) e o material insolúvel presentes em um reator biológico variam de acordo com a natureza do material suspenso encaminhado juntamente com o esgoto afluente (CHERNICHARO, 2007).

A taxa de crescimento bacteriano bruto é função do seu número, massa ou concentração em um dado instante e pode ser expresso pela equação 3 (SPERLING, 1996):

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (3)$$

Onde: X é a concentração de microrganismos no reator;
 μ a taxa de crescimento específico (1/d);
 t o tempo (d);
 SS ou SSV (g/m^3).

Levando-se em conta a limitação do crescimento pela presença de nutrientes, o crescimento pode ser expresso pela equação 4 de Monod (SPERLING, 1996):

$$\mu = \mu_{\text{máx}} \cdot \frac{S}{K_S + S} \quad (4)$$

Onde: $\mu_{\text{máx}}$ é taxa de crescimento específico máximo (1/d);
 S é concentração do substrato ou nutriente limitante (g/m^3) e;
 K_S a constante de saturação ou concentração de substrato (g/m^3).

A produção de biomassa bruta, decorrente do consumo do substrato por microrganismos heterótrofos, assume valores de aproximadamente 0,15mgSSV/mgDQO, para bactérias acidogênicas, e 0,03mgSSV/mgDQO, para arqueas metanogênicas. (Van Haandel; Lettinga, 1994 Apud LEAL, 2015).

Hezen e Harremões (1983 apud van Haande; Lettinga, 1994), estimaram os valores das constantes cinéticas relativas à digestão anaeróbia. Tanto as bactérias de fermentação ácida quanto as produtoras de metano podem metabolizar até 13mgDQO por mg de massa bacteriana por dia, com uma produção bruta de lodo de 0,18mgSVS/mgDQO a um coeficiente de rendimento de 0,15 para fermentação ácida e 0,03 para a metanogênica. Em uma cultura mista, composta em 5/6 por bactérias de fermentação ácida e 1/6 por arqueas produtoras de metano, com taxa máxima de conversão de material orgânico para biogás máxima de 1/6.

Para a obtenção da massa líquida de crescimento, deve-se descontar o decaimento bacteriano ou a perda dos microrganismos que ocorre devido ao metabolismo endógeno, por fatores como morte e predação. A taxa de decréscimo pode ser expressa pela equação 5:

$$\frac{dX}{dt} = -Kd.X \quad (5)$$

Onde: Kd: coeficiente de respiração endógena (1/d).

3.4 BALANÇO DE DQO E PRODUÇÃO DE METANO

Segundo Reith, Wijffels e Barten (2003), a DQO (Demanda Química de Oxigênio) pode ser utilizada para quantificar a matéria orgânica do efluente e prever o potencial de produção de biogás. Durante a digestão anaeróbica os produtos finais da DQO biodegradável, presente na matéria orgânica, são o metano e a massa bacteriana recém-formada.

No caso de um composto orgânico, este é completamente biodegradável e, teoricamente, seria completamente convertido pelos organismos anaeróbios em CH₄, CO₂ e NH₃. A quantidade de CO₂ presente no biogás geralmente é significativamente menor a teórica, devido a uma solubilidade relativamente elevada de CO₂ na água e parte do CO₂ pode tornar-se quimicamente ligado à fase aquosa (REITH; WIJFFELS; BARTEN, 2003).

No balanço da DQO ao longo do processo de digestão anaeróbia, os compostos presentes nos despejos podem ser classificados de acordo com sua degradabilidade, como apresentado a seguir (HUISSHOF POL, 1985 Apud CHERNICHARO, 2007):

- DQO biodegradável – Parcela da DQO total presente no despejo de fácil degradação biológica em ambiente anaeróbio;
- DQO acidificável – DQO que está disponível para as bactérias metanogênicas após a degradação da DQO biodegradável por organismos fermentativos, sendo representada pelas parcelas de DQO biodegradável que foram convertidas em ácidos orgânicos voláteis e metano;
- DQO recalcitrante – DQO biologicamente resistente, ou seja, que não pôde ser degradada pelos microorganismos fermentativos, devido a sua complexidade e a

falta de adaptação dos microorganismos, normalmente segue inalterada no efluente tratado;

- DQO particulada – DQO formada pela presença de sólidos orgânicos suspensos contidos na matéria orgânica

- DQO solúvel – Formada por partículas totalmente dissolvidas e partículas coloidais (responsáveis pela turbidez).

- DQO hidrolisável – Composta por polímeros orgânicos presentes nos esgotos, que necessitam ser convertidos em substratos mais simples, monômeros, para possibilitar sua degradação por fermentação.

3.4.1 Mecanismos básicos de formação do metano

Para garantir uma boa velocidade de produção de metano, cada uma das etapas da digestão anaeróbia deve ser mantida em equilíbrio, o equilíbrio reacional está relacionado à natureza do afluente e à intensidade e disponibilidade de H₂ (hidrogênio), que deve ser continuamente removido do meio para assegurar a produção de ácido acético para as bactérias metanogênicas acetoclásticas, que o decompõem formando metano e gás carbônico, segundo a equação 6:



Esse processo é responsável pela produção de cerca de 70% de todo o metano produzido em reatores anaeróbios (CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 2007).

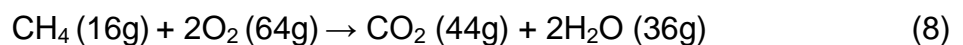
Quando o hidrogênio se encontra disponível, a maior parte do metano restante se forma a partir da redução de gás carbônico, que atua como acceptor de átomos de hidrogênio removido da matéria orgânica, no processo enzimático, por bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, como demonstrado na equação 7 (CHERNICHARO, 2007):



Nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^-) podem permitir o desenvolvimento bactérias que usam catabolismo anóxico, onde bactérias desnitrificantes podem reduzir o nitrato a nitrogênio molecular (N_2) e bactérias redutoras de sulfato podem reduzir o sulfato a sulfeto (H_2S). A redução de sulfato pode ser um processo indesejável na produção de metano, pois as bactérias redutoras de sulfato competem com as arqueas metanogênicas pelo consumo de acetato, H_2 e CO_2 , e levam a formação de sulfeto, sendo esse corrosivo e de odor desagradável (CAMPOS et al., 1999).

3.4.2 Estimativa da produção de metano

Segundo Chernicharo (2007), pode-se estimar a produção de metano a partir da DQO degradada. Cada 64 gramas de DQO degradada corresponde a 16g de CH_4 produzido e retirado da fase líquida, em unidade de volume temos a produção de 350 ml de CH_4 para cada grama de DQO degradada, como demonstrado na equação 8:



A equação teórica que representa a produção de metano por grama de DQO removida do efluente, com fator de correção para temperatura de operação pode ser representada pela equação 9:

$$Q_{\text{CH}_4} = \text{DQO}_{\text{CH}_4} / f(T) \quad (9)$$

Onde: Q_{CH_4} representa a produção teórica de metano (m^3/d);

DQO_{CH_4} a DQO removida e convertida em metano (gDQO) e;

$f(T)$ o fator de correção para temperatura de operação do reator (kgDQO/m^3).

Com a produção de metano sendo de fácil determinação em um reator anaeróbio, pode-se estimar a produção de metano diretamente a partir da eficiência do tratamento.

3.5 NUTRIENTES

Segundo Chernicharo et al. (2007) o nitrogênio e o fósforo são os dois elementos de maior abundância na composição da biomassa microbiana e deles depende a eficiência dos microrganismos para obtenção de energia para síntese.

Os nutrientes que se encontram presentes nos esgotos domésticos são, normalmente, encontrados em concentrações adequadas ao crescimento bacteriano. A proporção de nutrientes é realizada com base nos valores de DQO nas seguintes relações:

- Biomassa com baixo coeficiente de produção celular:
 $Y \sim 0,05 \text{ gSSV/gDQO}$
 $\text{DQO} : \text{N} : \text{P} = 1000 : 5 : 1$
 $\text{C} : \text{N} : \text{P} = 330 : 5 : 1$

- Biomassa com elevado coeficiente de produção celular:
 $Y \sim 0,15 \text{ gSSV/gDQO}$
 $\text{DQO} : \text{N} : \text{P} = 350 : 5 : 1$
 $\text{C} : \text{N} : \text{P} = 130 : 5 : 1$

A quantidade requerida de cada nutriente é variável e pode limitar o crescimento dos microrganismos, em baixas concentrações, ou mesmo se tornar tóxica, em altas concentrações, podendo chegar a inibir a atividade e o crescimento bacteriano (RAMOS, 2008 Apud SATO, 2013).

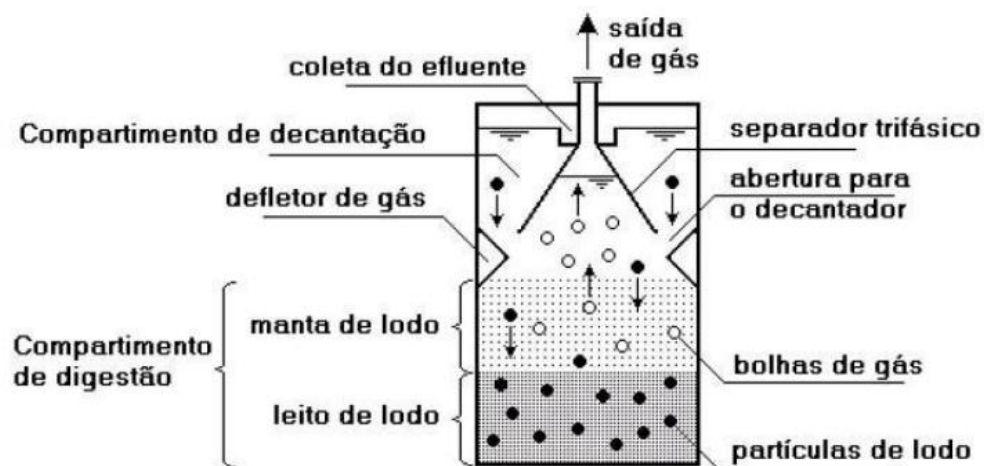
3.6 REATOR UASB

Segundo Campos et al. (1999), desde os primeiros relatos significativos de estudos com tratamento anaeróbio em 1882, pesquisadores vem buscando melhorias e adequações nos reatores anaeróbios. Em 1970, quase noventa anos depois, surgiram várias configurações de reatores anaeróbios de alta, até então para águas residuárias industriais, como é o caso dos reatores de leito fluidizado e de fluxo ascendente.

Com diversas denominações no Brasil, como: RAFA, DAFA, RAFAALL, entre outros, o reator de manta de lodo se consagrou mundialmente com UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) dada em inglês por Gatze Lettinga, pesquisador pioneiro Holandês, passando a ser adotada também no Brasil.

Uma das principais características do reator UASB é o fato de não requerer material suporte para os microrganismos, ocorrendo a imobilização destes por auto-adesão, formando flocos ou grânulos densos suspensos, dispostos em camadas de lodo a partir do fundo do reator. A Figura 3 apresenta uma representação de um esquema simples de um UASB tradicional.

Figura 3 – Representação esquemática de um reator UASB



Fonte: Chernicharo (2007).

Dentre os principais fatores na utilização de um sistema de tratamento e garantia de sua funcionalidade estão: tempo de detenção hidráulica (TDH), tempo de retenção celular, carga orgânica a ser tratada, produção de gases, relação entre a matéria orgânica disponível no efluente e a biomassa presente no reator. Outros fatores importantes para o bom funcionamento de um reator são os fatores ambientais, como pH, alcalinidade, temperatura, nutrientes e a presença de agentes tóxicos.

O uso de reatores UASB no tratamento de esgotos sanitários é bastante reconhecido, porém a perda de sólidos no efluente e a formação de espuma no interior do separador trifásico são limitações comuns desta aplicação. Segundo

Segundo Foresti et al (2006) devido aos reatores UASB não terem sido inicialmente elaborados para o tratamento de esgoto doméstico, o qual a composição não favorece a formação dos grânulos, o bom desempenho dos reatores UASB tratando efluentes domésticos deve ser melhorado, adaptando seu desenho as características dos esgotos sanitários.

3.6.1 Pré-tratamento

É comum às estações de tratamento de esgotos a utilização de equipamentos grosseiros no pré-tratamento do efluente, como grades e peneiras com elevada abertura, para garantir melhores condições de operação a reatores UASB segundo Chernicharo (2007) essa abertura deve ser inferior a 15 mm e é também indicado a utilização de dispositivo de remoção de gorduras, visando melhorar o funcionamento do sistema diminuindo riscos de obstrução nos tubos de alimentação.

3.6.2 Partida

De acordo com Campos et al. (1999), a partida de reatores anaeróbios é marcada por muitas instabilidades operacionais, devido à baixa taxa de crescimento e a sensibilidade das bactérias formadoras de metano. A partida pode ser conseguida de três diferentes formas:

a) Utilizando-se lodo de inóculo adaptado ao esgoto a ser tratado: partida rápida, sem necessidade de adaptação dos microorganismos;

b) Utilizando-se lodo de inóculo não adaptado ao esgoto a ser tratado: necessário um período de adaptação, com fase de seleção microbiana;

c) Sem a utilização de lodo de inóculo: forma mais desfavorável onde os próprios microrganismos presentes no esgoto deverão inocular o reator. A baixa concentração de microrganismos no esgoto resulta em um elevado tempo para retenção e seleção de massa microbiana.

Segundo Chernicharo (2007) a partida de reatores UASB sem a utilização do inóculo pode demorar cerca de quatro a seis meses. Foresti e Vilella (1996) realizando a partida reator UASB sem inóculo obtiveram um tempo de partida de cinco meses. Sato (2013) utilizando como inóculo lodo oriundo de uma lagoa anaeróbia observou a estabilização da eficiência com dois meses de operação. Leal

(2015), utilizando o material presente no reator já preenchido com material adaptado, porém paralisado por 75 dias, conseguiu a estabilização da DQO após 42 dias.

3.6.3 Temperatura

Um dos fatores mais importantes na operação de reatores UASB é a temperatura e seus efeitos no metabolismo bacteriano, podendo inibir ou favorecer o seu crescimento (CAMPOS et al., 1999).

Segundo Batistone et al. (2002) apud CHERNICHARO (2007), no processo de digestão anaeróbia a temperatura pode ser descrita em três faixas:

- Faixa psicrófila com valores variando de 4° a 15°C;
- Faixa mesófila de 20° a 40°C e;
- Faixa termófila entre 45° e 75°C

O efeito da temperatura no desempenho geral do reator depende não só do seu valor absoluto, mas também do tempo em que o reator opera fora da faixa de temperatura ideal. A temperatura ótima para reatores anaeróbios se encontra entre 30° e 35°C (faixa mesófila), a qual favorece o crescimento bacteriano e torna o sistema mais estável. Segundo Zupancic e Grilc (2012) a faixa de temperatura ideal para a hidrólise e acidogênese é de 25 a 25°C e para a metanogênese de 30 a 40°C na faixa mesofílica e de 50 a 60°C a faixa termofílica.

Os efeitos causados pela mudança na temperatura de operação dependerão das características do lodo bem como da dinâmica de população bacteriana. Em temperaturas que excedam a taxa máxima de crescimento microbiano, a taxa de decaimento celular excederá a taxa de crescimento consequente, ocorrendo assim um decréscimo na atividade do lodo (LIER et al., 1990).

3.6.4 pH e alcalinidade

Segundo Lettinga et al. (1996) apud Chernicharo (2007), o efeito do pH pode interferir de duas formas:

- Diretamente - afetando a atividade das enzimas, como é o caso da alteração de suas estruturas proteicas e;
- Indiretamente - provocando a alteração de substâncias e afetando a toxicidade do meio.

As arqueas metanogênicas possuem crescimento ótimo na faixa de pH 6,6 e 7,4, embora também consigam estabilidade numa faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0; enquanto bactérias acidogênicas tem crescimento ótimo na faixa de pH entre 5,0 e 6,0, possuindo tolerância maior em valores de pH mais baixos.

Para Zupancic e Grilc (2012) o pH ideal para microorganismos metanogênicos está entre 6,5 e 7,5, mais especificamente de 5,2 a 6,3 para a hidrólise e acidogênese e de 6,7 a 7,5 para a metanogênese. Se o valor diminuir abaixo de 6,5, uma maior produção de ácido pode levar o Sistema ao colapso.

O balanço entra a produção e o consumo de ácido durante a digestão anaeróbia é essencial para a estabilidade do processo, controlado pelo valor da alcalinidade, a qual atua neutralizando os ácidos graxos voláteis que são produzidos na acidogênese e acetogênese. Valores de pH constantemente abaixo de 6,5 ou acima de 8,0 devem ser evitados, devido a possibilidade de ocorrer uma diminuição significativa da taxa de produção de metano, uma vez que as bactérias metanogênicas são sensíveis a estas variações (CHERNICHARO, 2007; CAMPOS, 1999; SCHIRMER et al., 2014)

3.6.5 Monitoramento da produção do Biogás

Segundo Zupancic e Grilc (2012) a produção de biogás depende completamente da eficiência da digestão anaeróbia, assim a manutenção das condições que conferem eficiência ao tratamento deve ser mantida. Quanto a quantificação do biogás, existem dois parâmetros principais que descrevem sua produção:

1. Produção específica – Definida como o volume de biogás produzido por massa de substrato tratado (m^3/kg), com a massa do substrato podendo ser expressa em Kg de massa úmida, sólidos totais ou DQO;

2. Taxa de produção de biogás – Definida como volume de biogás produzido por volume de esgoto tratado por dia e demonstra o quanto de biogás pode-se obter pelo volume ativo do reator por dia.

A coleta de biogás em reatores UASB é comumente realizada através da condução forçada do gás produzido feita por separador trifásico, composto por duto afogado, defletor de gases e orifício de saída do gás (CHERNICHARO, 2007).

A produção bruta real de biogás em reatores anaeróbios pode ser monitorada de maneira simples, quando se tratando de volume bruto produzido. Rissoli (2004), Miki (2010) e Araujo (2014) utilizaram de medidores de gás tipo turbina na quantificação da produção volumétrica de biogás, mais especificamente os mesmos modelos utilizados para abastecimento de gás (GLP) domiciliar. Pereira (2007), Araujo (2011) e Braga (2011) utilizaram gasômetros do modelo Milligas Counter (MGC) para avaliar a produção volumétrica de gases oriundos de reatores anaeróbios.

Teixeira (2007), Araujo (2011) e Braga (2011) utilizaram análise cromatográfica gasosa de amostras do biogás, a fim de qualificar e identificar as concentrações de metano e o dióxido de carbono presentes na fase gasosa, juntamente com os valores em volume de gás produzido e matéria orgânica degradada, demonstraram poder avaliar o potencial de produção de metano em reatores UASB.

3.6.6 Remoção óleos e graxas

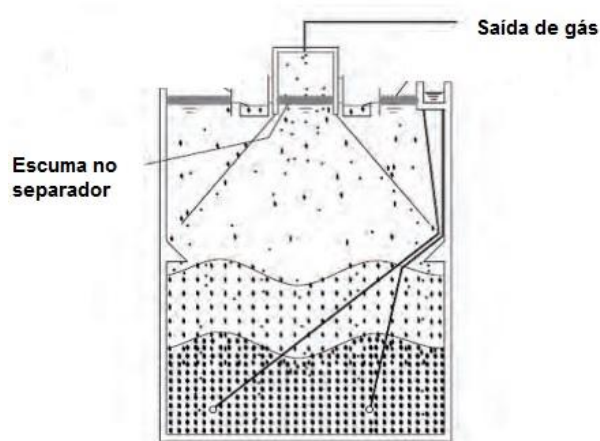
Efluentes ricos em lipídios e com uma menor proporção de proteínas e carboidratos podem resultar em uma degradação mais lenta. A adsorção de lipídios pode ocasionar a flotação do lodo ou a formação de lodo com diferentes características físico-químicas e menor atividade. A adsorção de gordura na superfície do lodo pode ainda limitar o transporte de substratos solúveis na biomassa e diminuir as taxas de conversão (VIDAL et al., 2000).

Segundo Foresti e Vilella (1996) a própria atividade do reator UASB tem potencial para degradação de lipídios, na avaliação de um reator UASB tratando esgoto doméstico alcançaram uma eficiência na remoção de lipídios acima de 75%, com valores variando entre 75 a 94%.

Apesar da possibilidade de remoção de gorduras diretamente pela digestão anaeróbia, como citado no item 3.4, a presença destas leva a formação de espuma no interior do separador trifásico o que leva a obstruções em locais de difícil acesso e limpeza como a câmara de gás.

De acordo com Miki et al, (2010), um dos principais problemas dos reatores UASB é a formação e acumulação de espuma, formada por óleos e graxas acumulados na superfície, no separador trifásico, como ilustrado na Figura 4, e a falta de dispositivos devidamente projetados para a retirada desta espuma.

Figura 4 – Acúmulo de espuma no separador trifásico



Fonte: Adaptado de Souza (2006) Apud Miki (2010).

Quando formada dentro do separador trifásico, a espuma acaba endurecendo e aprisionando o gás por meio do desenvolvimento de uma espécie de selo. Se a pressão abaixo da camada de espuma aumentar, pode-se haver o rompimento do selo, provocando uma movimentação das placas endurecidas. A ocorrência do selo gera uma grande zona morta debaixo do separador trifásico, além de curto-circuitos, tanto em condições de sub-vazão como de super-vazão. Elaborar um dispositivo de remoção de espuma fácil de ser operado e sem problemas de geração de odor, ou a introdução de algum produto que degrade ou oxide a camada de espuma formada no separador é de vital importância para sanar problemas operacionais como entupimentos e aprisionamento do gás (MIKI, 2010).

3.7 REATOR UASB COMPARTIMENTADO

Configurações alternativas para reatores anaeróbios vêm sendo estudadas desde o início da década de 1990, como os Reatores Anaeróbios Compartimentados (RACs), de leito expandido, com recirculação interna e de processos anaeróbio-aeróbios combinados (CHERNICHARO, 2007).

Segundo Barber e Stuckey (1999) o RAC de configuração simples, com divisões internas para aumentar o tempo de detenção hidráulica e melhorar o contato entre biomassa e o efluente, possui compartimentos formados por estas divisões que obrigam o esgoto a se movimentar descendente e ascendentemente, atravessando regiões de elevada concentração de microrganismos ativos. A compartimentação presente possibilita ainda a exploração da separação parcial das fases da digestão anaeróbia, conferindo aumento na resistência a mudanças de condições ambientais.

Ainda segundo Barber e Stuckey (1999), RACs possuem vantagens quando comparados a reatores anaeróbios tipo manta de lodo e filtros anaeróbios, como uma melhor resistência a cargas de choques orgânicas e hidráulicas, maior tempo de retenção da biomassa e menor produção de lodo.

A maior atividade bacteriana, em termos de produção de gás bem como o aumento da vazão, reduz a formação de canais preferenciais, mantendo o leito de lodo no reator anaeróbio compartimentado parcialmente fluidificado, diminuindo a ocorrência de volume de biomassa morto (GROBICKI; STUCKEY, 1991).

Segundo Sato (2013) a utilização de compartimentação interna no reator UASB ocorre com o intuito de conferir melhor desempenho ao mesmo baseando-se na cinética de crescimento dos microrganismos presentes. Com o coeficiente de produção de biomassa das bactérias acidogênicas sendo cerca de cinco vezes maior que o coeficiente metanogênico, a modificação consiste na redução do compartimento onde ocorre a etapa acidogênica e o aumento na dimensão onde sucede a etapa metanogênica, visando maior produção de metano e melhor desempenho no tratamento.

4 MATERIAIS E METODOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DO REATOR UASB COMPARTIMENTADO

A pesquisa foi realizada utilizando um reator UASB compartimentado em escala piloto, instalado na estação elevatória de esgoto do municipal de Ilha Solteira– SP localizada a $20^{\circ}26'08,32''\text{S}$ $51^{\circ}20'45,39''\text{O}$.

O RUC foi instalado em uma estrutura suporte de madeira, apresentada na Figura 5, de forma a comportar o reator e os demais equipamentos utilizados para seu funcionamento.

Figura 5 – Estrutura suporte do RUC



Fonte: Próprio autor

O RUC foi construído e instalado por SATO, no ano de 2013. Constituído de tubos de PVC, composto por quatro tubos de forma concêntrica, resultando em três compartimentos, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Representação do corte longitudinal do RUC



Fonte: Sato (2013).

A compartimentação formada pela disposição dos tubos e os compartimentos resultantes decorrem como apresentado a seguir:

- O primeiro compartimento, localizado na parte mais interna do reator, composto por um tubo de 200mm de diâmetro e 5,0m de comprimento ($0,150\text{m}^3$), onde está localizada a entrada do efluente na base do reator, funcionando como zona de hidrólise e degradação acidogênica.

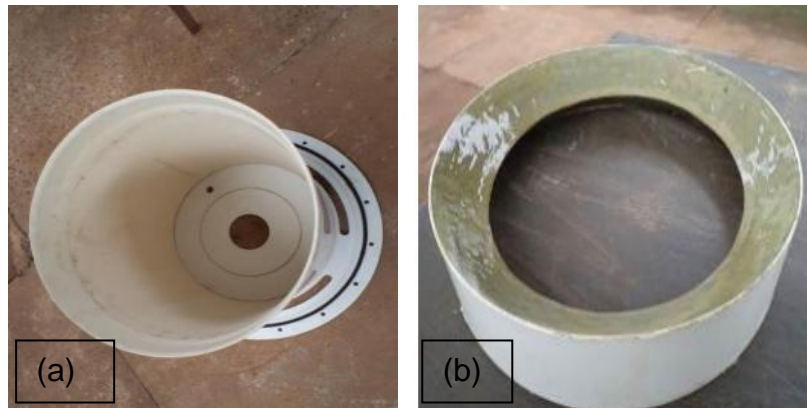
- O segundo compartimento, externo ao primeiro, é composto pela parede externa do primeiro tubo e a parede interna do segundo, sendo que o segundo tubo possui 250mm de diâmetro e 4,9m de comprimento. Seu volume ($0,085\text{m}^3$) comporta o esgoto acidificado.

- O terceiro compartimento, externo ao segundo tubo, é composto pela parede externa do segundo tubo e a parede interna do terceiro, sendo que o terceiro tubo

possui um diâmetro de 500mm e 5,10m de comprimento ($0,715\text{m}^3$). Esse compartimento compõe a zona de degradação metanogênica.

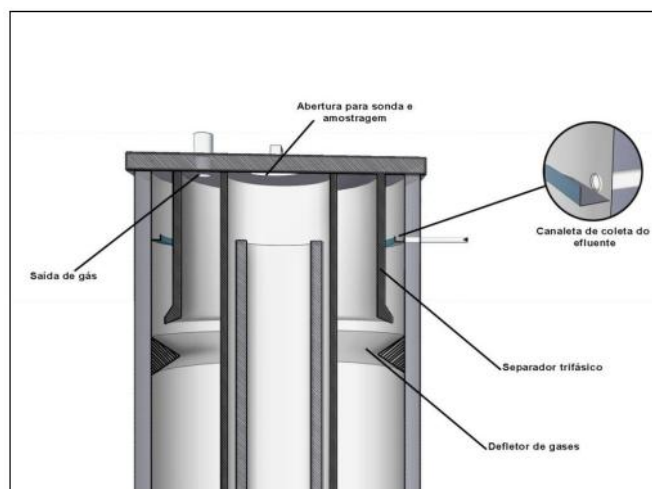
- O quarto tubo compõe o separador de gases (Figura 6), localizado no terceiro compartimento, entre a parede interna do terceiro tubo e externa do segundo. Possui 0,5m de comprimento e 400mm de diâmetro. Localizado no topo do reator, possui um orifício para saída dos gases produzidos no compartimento. A câmara de gases é formada pelos tubos acima descritos e pela parede externa do tubo de 250mm e separador de gases tipo defletor, apresentados na Figura 7 e, esquematicamente representada na Figura 8. Todo material utilizado é constituído de PVC, para evitar possível corrosão.

Figura 7 – Câmara de gases: (a) tubo quatro e (b) defletor de gases.



Fonte: Sato (2013).

Figura 8 – Representação esquemática da câmara de gases

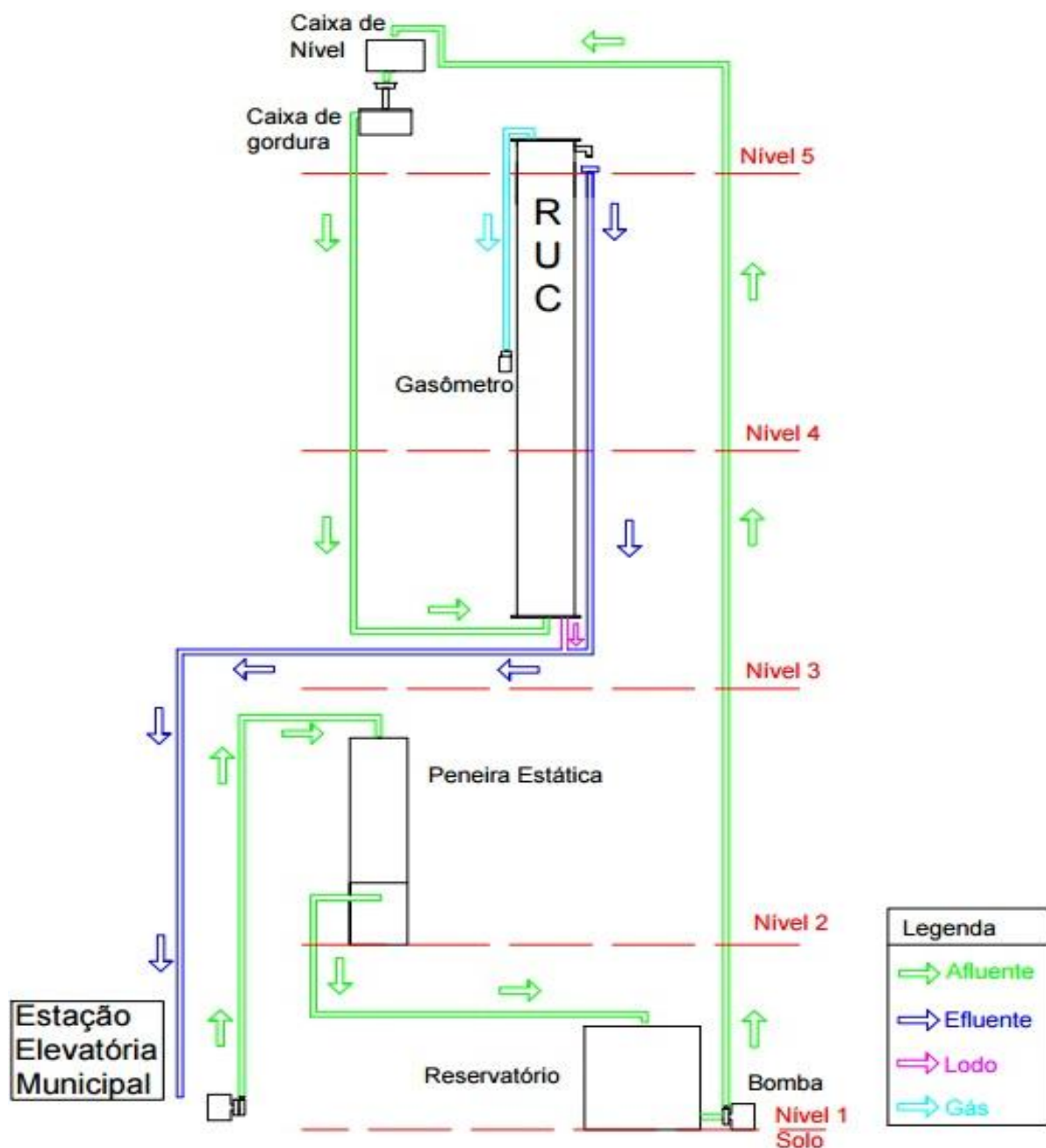


Fonte: Sato (2013).

4.1.1 Estrutura e funcionamento

O sistema utilizado para alimentar e operar o RUC foi instalado em uma estrutura de madeira de 12 m de altura, dividida em cinco níveis. A alimentação ocorreu em fluxo contínuo, com o esgoto da estação elevatória municipal de Ilha Solteira. O funcionamento do sistema ocorreu como indicado na Figura 9.

Figura 9 – Esquematização de funcionamento do sistema de abastecimento do RUC



Fonte: Próprio autor

I - Peneira estática - O efluente recebido da estação elevatória passava por uma peneira estática de abertura 0,5 mm (Figura 10), localizada no segundo nível, utilizada para remover sólidos grosseiros.

Figura 10 – Peneira Estática: (a) malha (b) Estrutura



Fonte: Próprio autor

II – Reservatório - Após a passagem pela peneira, o efluente seguia para um reservatório de 250L (Figura 11), localizado no primeiro nível (térreo), que acumulava efluente para ser bombeado para o reator.

Figura 11 – Reservatório e bomba centrífuga



Fonte: Próprio autor

III – Bomba centrífuga - O efluente armazenado foi bombeado para o UASB utilizando uma bomba d'água elétrica KSB de 0,5 HP, apresentada na Figura 11.

IV – Caixa de Nível – O efluente bombeado do reservatório seguia para a caixa de nível (Figura 12), a qual teve a função possibilitar o abastecimento do reator gravitacionalmente (sem pressão) e o controle da vazão.

Figura 12 – Caixa de nível



Fonte: Próprio autor

A caixa de nível utilizada possui uma saída com vertedouro triangular regulável para controle da vazão (Figura 13).

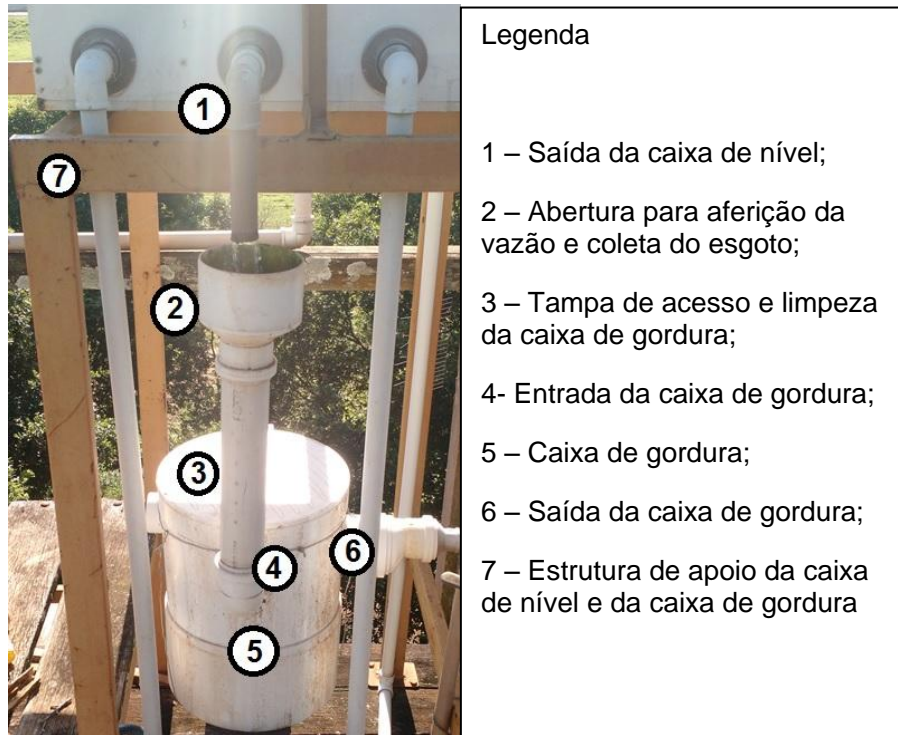
Figura 13 – Vertedouro de controle da vazão de entrada



Fonte: Próprio autor

V – Caixa de gordura – O esgoto após sua passagem pelo vertedouro, segue para a caixa de gordura (Figura 14), localizada imediatamente abaixo da caixa de nível, de onde segue para a entrada do reator.

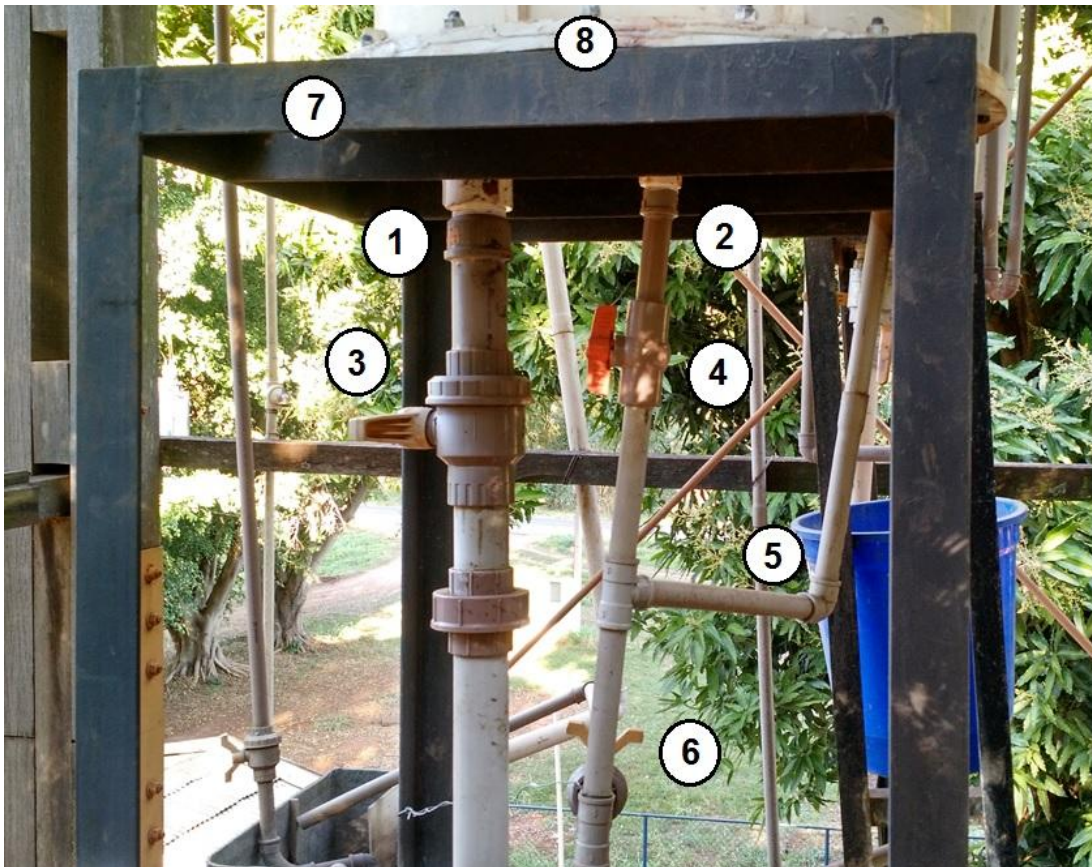
Figura 14 – Caixa de gordura



Fonte: Próprio autor

VI – Entrada do reator – O abastecimento do RUC foi realizado com o esgoto conduzido por tubulação de PVC da saída da caixa de gordura até a entrada do reator, localizada no centro de sua base como indicado na Figura 15.

Figura 15 – Base do RUC



Legenda:

- 1 - Saída para descarte de lodo do compartimento externo;
- 2 - Entrada para abastecimento/ Saída para descarte de lodo do compartimento interno;
- 3 - Registro para controle do descarte de lodo do compartimento externo;
- 4 - Registro para controle da entrada e do descarte de lodo do compartimento interno;
- 5 - Suspiro da tubulação de abastecimento;
- 6 - Registro para controle do descarte de lodo do compartimento interno;
- 7 - Estrutura de apoio do reator;
- 8 - Base do reator.

Fonte: Próprio autor

VII – Saída do reator (efluente tratado) - Após o tratamento o efluente era descartado pela saída do reator (Figura 16), localizada no quinto nível, de onde voltava para a estação elevatória.

Figura 16 – Saída do RUC



Fonte: Próprio autor

4.2. DIMENSIONAMENTO

Segundo Sato (2013) o reator foi dimensionado relacionando o coeficiente de produção de biomassa das bactérias acidogênicas e metanogênicas, com as acidogênicas possuindo o coeficiente cerca de cinco vezes maior quando comparadas as metanogênicas, podendo ser expressa em valores de $0,15\text{gSSV/gDQO}$ e $0,03\text{gSSV/gDQO}$, respectivamente. Enquanto a taxa de crescimento específico máximo apresenta os seguintes valores: $2,0/\text{d}$ para bactérias de fermentação ácida e $0,4/\text{d}$ para microorganismos produtores de metano.

A divisão do reator em três compartimentos teve o intuito de separar as fases da digestão anaeróbia, com o primeiro compartimento destinado ocorrência da etapa acidogênica, tendo um volume igual a $1/5$ do terceiro compartimento, o qual se destinava a prevalência dos microrganismos metanogênicos.

Os principais parâmetros de dimensionamento do reator e seus compartimentos, utilizando como início de cálculo o volume total do reator e o tempo de detenção hidráulica, bem como a velocidade constante estimada para o projeto de $1,0\text{m/h}$, a fim de não ocorrer o arraste e instabilidade da biomassa e garantir boa mistura evitando o surgimento de caminhos preferenciais, estão apresentados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de projeto do reator em condições operacionais

Critérios/Parâmetros	RUC	1° Comp.	2° Comp.	3° Comp.
Vazão (m ³ /h)	0,078	0,078	0,078	0,078
Tempo de Detenção Hidráulico (h)	12,00	1,92	1,08	9,17
Carga Hidráulica Volumétrica (m ³ /m ³ d)	1,97	12,48	22,02	2,62
Volume útil (m ³)	0,95	0,150	0,085	0,715
Área útil (m ²)	0,19	0,030	0,017	0,140
Vel. superficial do fluxo (m/h)	-	2,6	4,6	0,52

Fonte: Sato (2013).

4.3 FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O Quadro 1 apresenta, em fases, o desenvolvimento da pesquisa.

Quadro 1 – Desenvolvimento da pesquisa

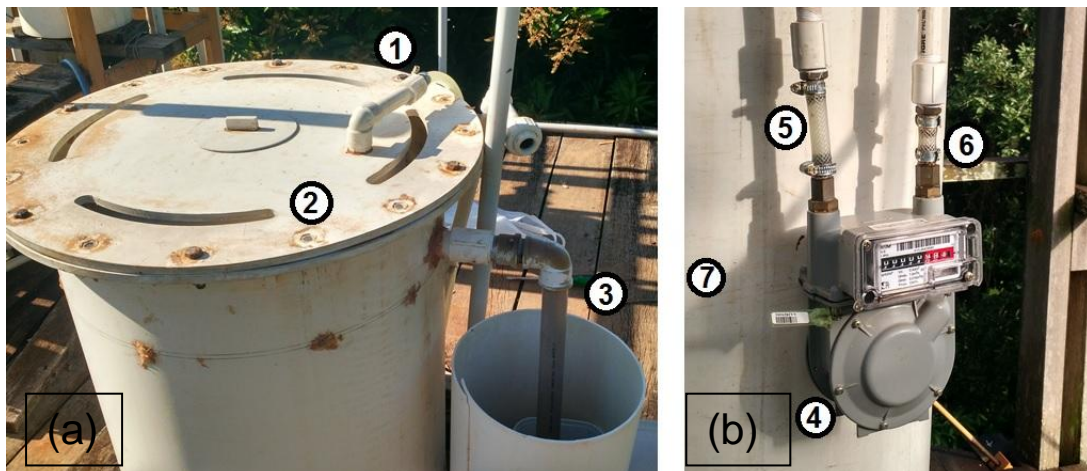
Períodos	Atividade	Duração
I	- Início do abastecimento e operação do RUC (partida); - Instalação do medidor de gases; - Instalação da caixa de gordura;	Julho a Agosto/2015
	- Monitoramento dos parâmetros do esgoto e do RUC conforme programado.	08/Set. a 30/Out./2015
	- Interrupção das operações por falha na bomba de abastecimento.	12/Nov/2016
II	- Substituição da bomba de abastecimento; - Manutenção da câmara de gases devido a obstrução por espuma; - Descarga completa e limpeza do RUC devido a problemas acarretados pelo acúmulo de gordura no lodo.	Janeiro a Maio de 2016
III	- Reinoculação e re-partida do RUC	Junho de 2016
	-Período III-I: Monitoramento dos parâmetros do esgoto e do RUC conforme programado.	27/Jun. a 26/Ago./2016
	-Período III-II: Monitoramento dos parâmetros do esgoto com DQO, alcalinidade e pH como dados diários.	31/Ago. a 28/Set/2016
IV	- Avaliação de Óleos e Graxas.	Setembro e Outubro/2016

Fonte: Próprio autor

O medidor de gases foi instalado no quarto nível da torre suporte, junto ao corpo do reator e a tubulação de condução do gás, apresentada na Figura 17, composta por mangueiras e tubos de PVC, que liga a saída de gás do reator, localizada no quinto nível, até a entrada do medidor.

O equipamento utilizado para a mensuração do biogás foi um gasômetro da marca LAO modelo G 0.6, apresentado na Figura 17.

Figura 17 – (a) Tubulação de gás e (b) gasômetro



Legenda	4 - Gasômetro
1 – Saída de gás do reator;	5 – Entrada do gás para o gasômetro;
2 – Tampa superior;	6 – Saída do gás do gasômetro;
3 – Saída do efluente;	7 – Corpo do reator.

Fonte: Próprio autor

Para buscar evitar o acúmulo de gordura no separador trifásico, foi instalada uma caixa de gordura da marca Tigre de 5 litros (Figura 14), no quinto nível, logo abaixo da saída da caixa de nível, antes da entrada do reator.

4.4 MONITORAMENTO

Para o monitoramento do reator, foram realizadas análises dos parâmetros físico-químicos do afluente e efluente com a coleta de amostras realizadas entre as 8 e as 10 horas da manhã. Todas as análises foram realizadas de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, no Laboratório de

Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, como detalhado nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 – Análises de monitoramento durante as fases de partida

Análise	Ponto de Coleta	Periodicidade	Unidade	Metodologia
DQO	1 e 2	3 vezes por semana	mg/L	Determinação colorimétrica

Fonte: Próprio autor

Quadro 3 – Análises de monitoramento durante as fases operacionais

Análise	Ponto de Coleta	Periodicidade	Unidade	Metodologia
DQO	1 e 2	3 vezes por semana	mg/L	Determinação colorimétrica
pH	1 e 2	3 vezes por semana	mg/L	Potenciométrico
Alcalinidade	1 e 2	3 vezes por semana	mg/L	Titulometria
Sólidos totais	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Sólidos totais fixos	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Sólidos totais voláteis	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Sólidos suspensos totais	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Sólidos suspensos fixos	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Sólidos suspensos voláteis	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Sólidos filtráveis	1 e 2	Semanal	mg/L	Métodos Gravimétricos
Temperatura	1, 2 e ambiente	Diária	°C	Termômetro
Biogás (quantitativa)	3	2 vezes ao dia	L/dia	Gasômetro
Fosforo	1 e 2	Semanal	mg/L	Digestão ácido persulfato (Hach)
Nitrogênio	1 e 2	Semanal	mg/L	Método persulfato (Hach)
Óleos e graxas - quantitativa	1, 2	-	mg/L	Extração n-Hexano

Fonte: Próprio autor

Onde o Ponto 1 (P1) se refere a entrada do efluente bruto da estação elevatória no RUC, o Ponto 2 (P2) é a saída do efluente já tratado e o Ponto 3 (P3) a saída de gases.

4.5 MANUTENÇÃO DO SISTEMA

As atividades de manutenção previstas para operação do reator, listadas no Quadro 4, decorreram ao longo de todas as fases da pesquisa, de maneira a conferir bom funcionamento ao sistema de abastecimento garantindo melhor eficiência ao RUC.

Quadro 4 – Roteiro operacional

Atividades	Periodicidade	Procedimento
Descargas de lodo	Semanal	Abertura dos registros de descarga central e periférico
Limpeza da peneira	Diária	Retirada de material acumulado nas aberturas
Limpeza do reservatório	Semanal	Descarga de fundo por registro
Limpeza da caixa de gordura	Diária	Limpeza do sobrenadante com peneira
Limpeza da câmara de gases	Somente em caso de obstrução	Abertura da tampa superior do reator
Limpeza da caixa de nível	Diária	Retirada de material acumulado no vertedouro e descarga de fundo
Verificação da vazão de entrada	2 vezes ao dia	Verificação da vazão por método volumétrico e regulagem do vertedouro
Retirada da gordura da abertura superior do RUC	Diária	Retirada do sobrenadante com peneira

Fonte: Próprio autor

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos durante o monitoramento do RUC estão apresentados neste capítulo em períodos e fases, divididos conforme o desenvolvimento da pesquisa. Os valores estão apresentados em tabelas e gráficos de dispersão, divididos e ordenados segundo os parâmetros analisados.

5.1 PERÍODO I

O primeiro período de levantamento de dados, denominado Período I, se estendeu de 08 de Setembro de 2015 a 12 de Novembro de 2015, totalizando 65 dias, e foi interrompido por falta de abastecimento, devido a avarias na bomba de alimentação.

Os resultados referentes ao Período I estão listados nos itens a seguir, subdivididos por parâmetro.

5.1.1 DQO

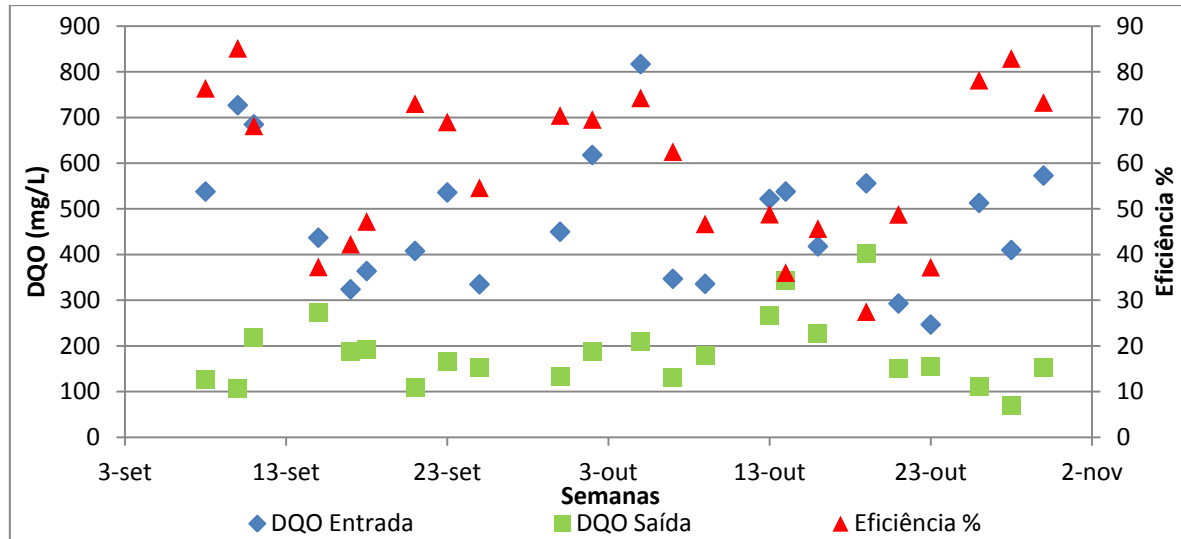
Os valores de DQO obtidos durante o Período I estão apresentados em máximo, médio e mínimo na Tabela 2. O gráfico da Figura 18 apresenta os dados de DQO obtidos durante o Período I.

Tabela 2 – Valores máximos, médios e mínimos de DQO para o Período I

DQO (mg/L)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Máxima	817	403	85,14
Mínima	247	70	3,5
Média	477,91±145,52	185±78,28	58,93±17,10

Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Resultados obtidos de DQO na Fase I



Fonte: Próprio autor

5.1.2 pH e alcalinidade

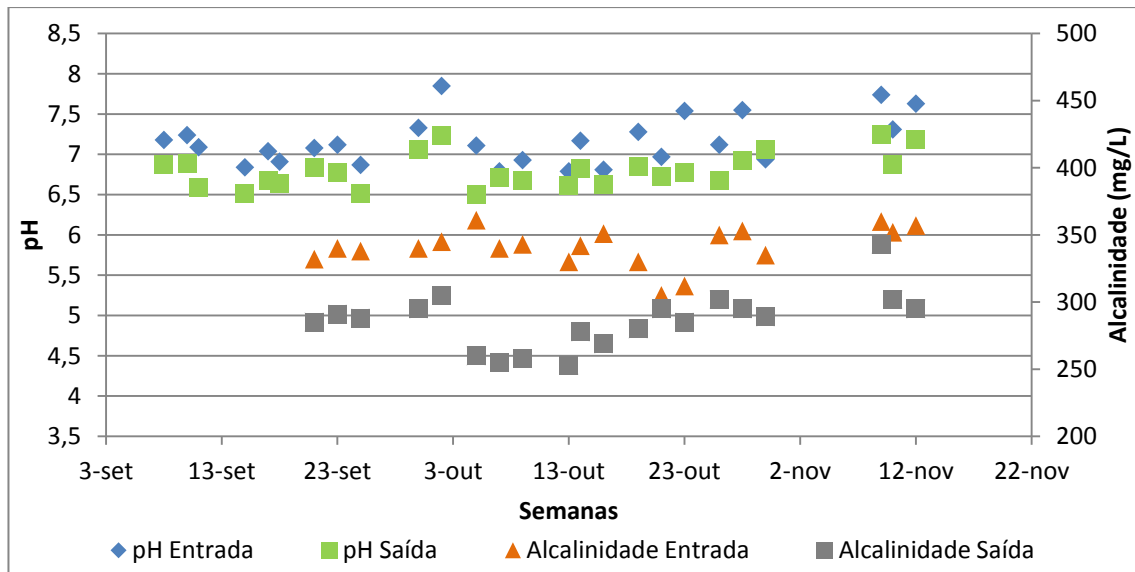
Os valores de pH e Alcalinidade obtidos durante o Período I estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 3 e em valores semanais no gráfico da Figura 19.

Tabela 3 – Valores máximos, médios e mínimos de pH e alcalinidade do Período I

	Entrada		Saída	
	pH	Alcalinidade (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
Máxima	7,85	361	7,23	305
Mínima	6,84	305	6,59	253
Média	7,16±0,2	340,8±14,1	6,8±0,2	286,15±20,4

Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Resultados obtidos pH e alcalinidade do Período I



Fonte: Próprio autor

5.1.3 Nitrogênio total e fósforo total

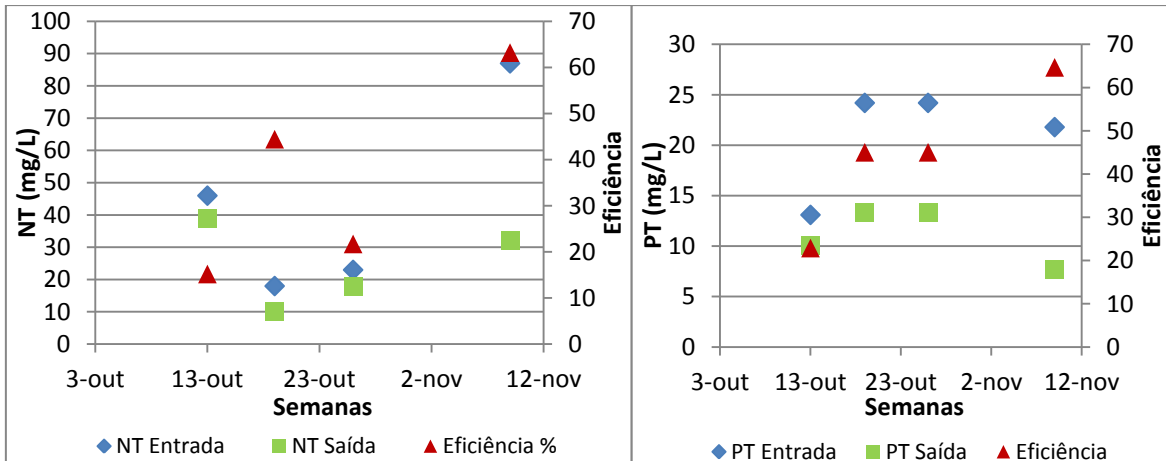
Os dados obtidos para Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT) durante o Período I estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 4 e em valores semanais nos gráficos da Figura 20.

Tabela 4 - Valores máximos, médios e mínimos de NT e PT do Período I

NT e PT (mg/L)	Entrada		Saída		Eficiência	
	NT	PT	NT	PT	NT	PT
Máxima	87	24,2	39	13,3	63,21	64,67
Mínima	18	13,1	10	10,1	15,21	22,9
Média	43,5±31,4	20,82±5,2	24,7±13,1	11,1±2,7	36,1±21,9	44,41±17

Fonte: Próprio autor

Figura 20 – Resultados obtidos de Nitrogênio e Fósforo Totais do Período I

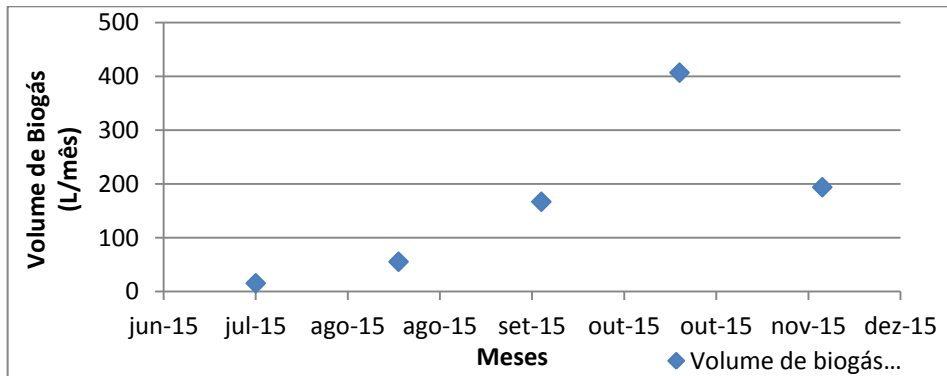


Fonte: Próprio autor

5.1.4 Biogás

Os valores obtidos durante o monitoramento da produção de biogás para o Período I estão apresentados a seguir no gráfico da Figura 21.

Figura 21 – Volume medido de biogás



Fonte: Próprio autor

5.2 PERÍODO II

Após a substituição da bomba de alimentação, deu-se início ao Período II, que apresentou, durante todo seu percurso, problemas operacionais na câmara de gases. O Período II se estendeu do reinício da atividade do RUC, em 11 de janeiro de 2016, a 20 de maio de 2016, onde as atividades com o RUC tiveram de ser novamente interrompidas.

5.2.1 Obstrução da câmara de gases

Em fevereiro de 2016 foi constatada obstrução da saída de gases do RUC por acúmulo de espuma no separador trifásico, como demonstrado na Figura 22, o que impediu o monitoramento do volume de gás produzido. Foram realizadas tentativas de desobstrução, através da abertura da tampa do reator para remoção do material acumulado, porém a estrutura do reator não permitiu acesso à câmara.

Figura 22 – Obstrução da câmara de gases



Fonte: Próprio autor

Em maio de 2016 decidiu-se por realizar descarga completa do material do interior do reator. Foi estocado um volume de 500 litros de lodo do terceiro compartimento, para ser usado como inóculo na repartida. A Figura 23 apresenta imagens do material retirado do interior do reator durante a descarga.

Figura 23 – Lodo da descarga completa do RUC



Fonte: Próprio autor

Com o reator vazio, realizou-se a limpeza de seu interior através da retirada de sua base, como demonstrado na Figura 24. Com a abertura da base do RUC foi possível ter acesso ao segundo e terceiro compartimentos e realizar a limpeza destes, retirando todo material que permaneceu em seu interior mesmo após o descarte do lodo pelo registro.

Figura 24 – Abertura da base do RUC para limpeza



Fonte: Próprio autor

Após a limpeza da base, foi desmontado o separador trifásico para limpeza da câmara de gases, como demonstrado na Figura 25.

Figura 25 – Limpeza da parte superior do RUC



Fonte: Próprio autor

5.3 PERÍODO III

O RUC, após estar devidamente limpo, foi novamente montado e abastecido com o inóculo reservado, iniciando-se assim uma nova fase de operação, retomando as atividades de manutenção, operação e monitoramento, fase esta que se estendeu de 27 de junho de 2016 a 28 de setembro de 2016, totalizando 85 dias. Os parâmetros de monitoramento DQO, pH, alcalinidade e temperatura foram avaliados três vezes semanais de 27 de junho a 26 de agosto de 2016, etapa aqui denominada Período III-I, parâmetros os quais passaram a ser avaliados diariamente de 31 de agosto a 28 de setembro de 2016, etapa aqui denominada Período III-II.

5.3.1 DQO

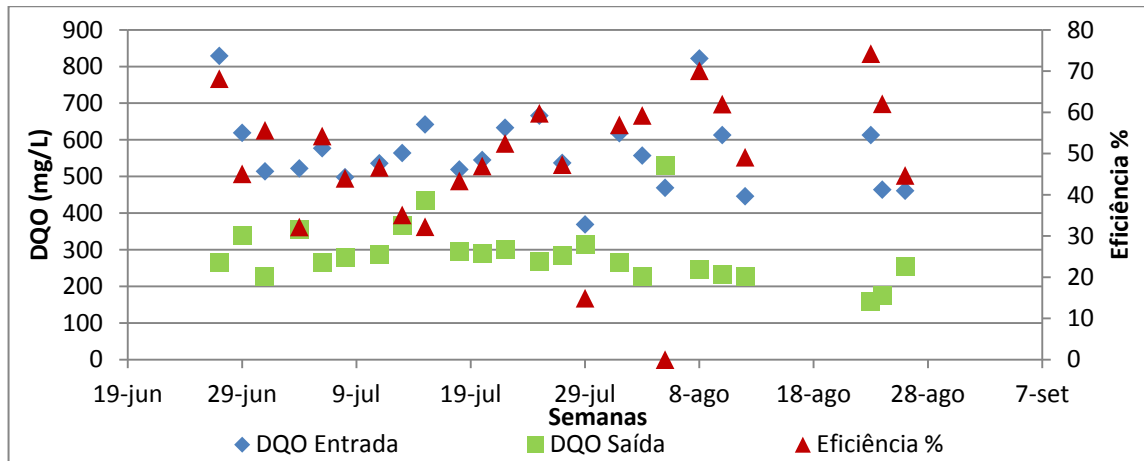
Os valores de DQO obtidos durante o Período III-I, estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 5 e em dados semanais no gráfico da Figura 26 (cada agrupamento de dados representa uma semana).

Tabela 5 – Valores de DQO máximos, mínimos e médios para o Período III-I

DQO (mg/L)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Máxima	829	530	74,22
Mínima	369	101	0,00
Média	568±104,62	286,79±16,53	48,18±16,53

Fonte: Próprio autor

Figura 26 - Resultados obtidos de DQO do Período III - I



Fonte: Próprio autor

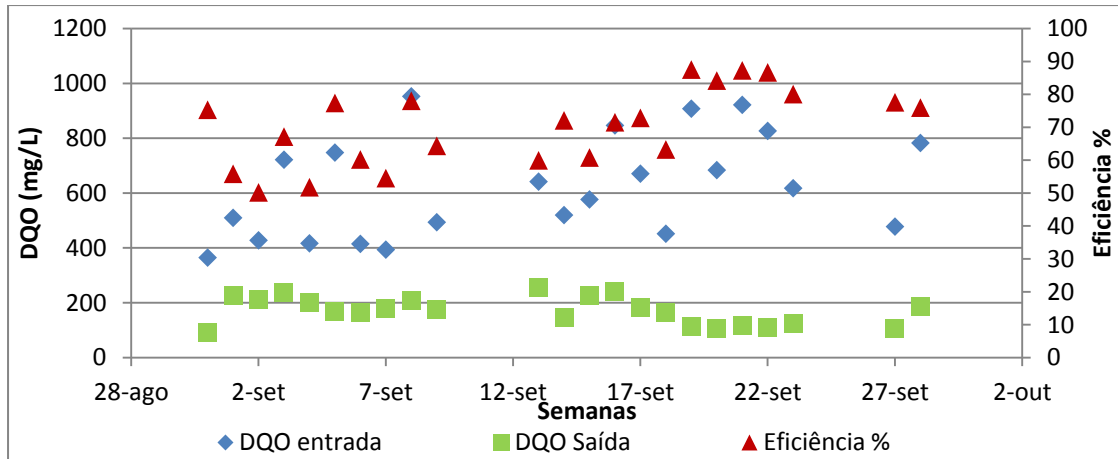
Os valores de DQO obtidos durante o Período III-II, estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 6 e em dados semanais no gráfico da Figura 27 (cada agrupamento de dados representa uma semana).

Tabela 6 – Valores máximos, médios e mínimos de DQO para o Período III-II

DQO (mg/L)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Máxima	922	257	87,5
Mínima	365	90	50,2
Média	632,86±182,47	171,86±49,92	70,54±11,52

Fonte: Próprio autor

Figura 27 – Resultados obtidos de DQO do Período III – II



Fonte: Próprio autor

5.3.2 pH e alcalinidade

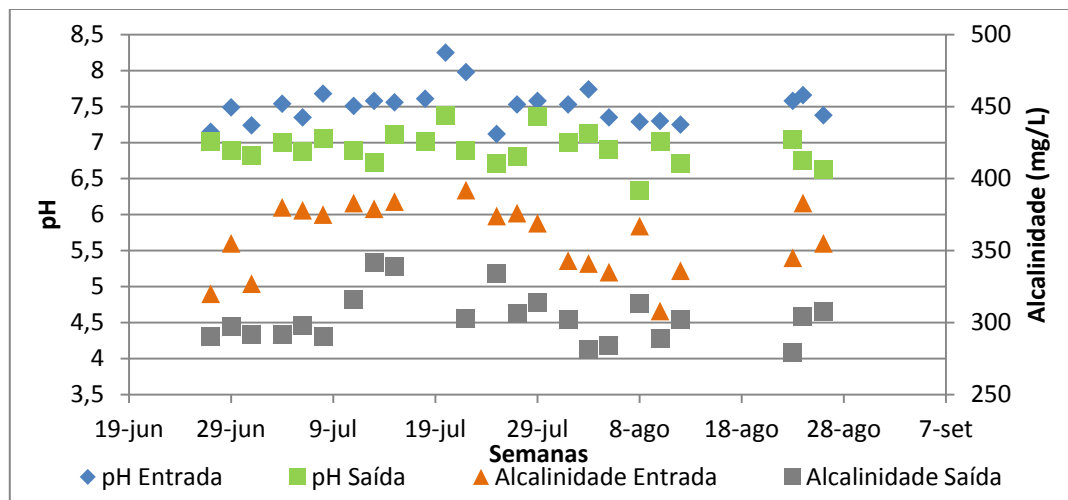
Os valores de pH e alcalinidade obtidos durante o Período III-I estão apresentados Tabela 7 no gráfico da Figura 28, agrupados em semanas (cada grupo de dados interligados representa uma semana).

Tabela 7 – Valores máximos, médios e mínimos de pH e alcalinidade do Período III-I

	Entrada		Saída	
	pH	Alcalinidade (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
Máxima	8,25	392	7,37	342
Mínima	7,12	308	6,62	279
Média	7,51±0,25	359,32±23,4	6,92±0,22	303,41±17,1

Fonte: Próprio autor

Figura 28 – Resultados obtidos de pH Alcalinidade do Período III-I



Fonte: Próprio autor

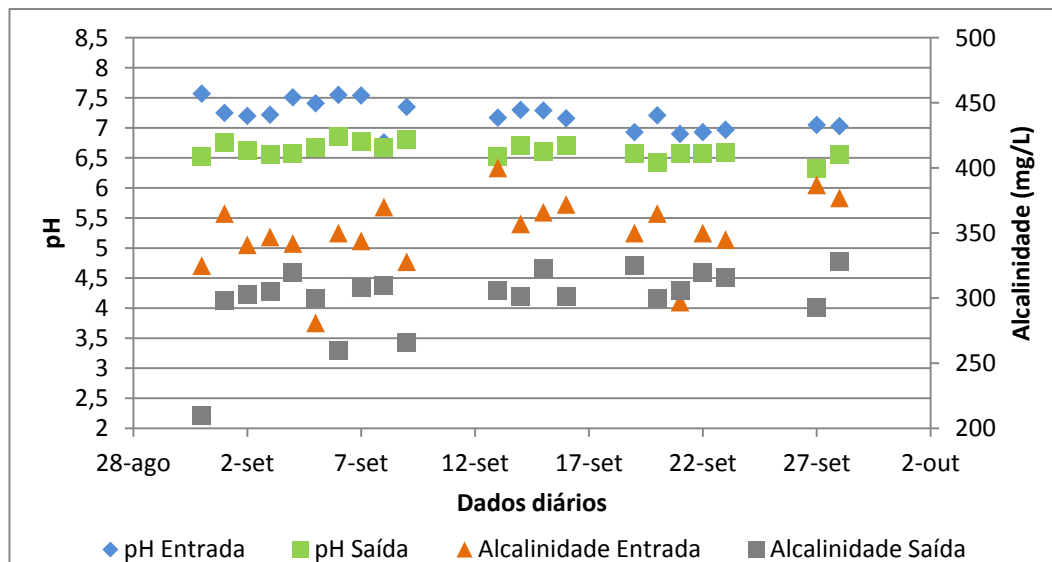
Os valores de pH e alcalinidade obtidos durante o Período III-I estão apresentados Tabela 8 no gráfico da Figura 29, agrupados em semanas (cada grupo de dados interligados representa uma semana).

Tabela 8 - Valores máximos, médios e mínimos de pH e alcalinidade do Período III-II

	Entrada		Saída	
	pH	Alcalinidade (mg/L)	pH	Alcalinidade (mg/L)
Máxima	7,57	400	6,86	328
Mínima	6,76	281	6,33	210
Média	7,02±0,22	350,43±26,8	6,61±0,12	299,95±25,9

Fonte: Próprio autor

Figura 29 – Resultados obtidos de pH e Alcalinidade do Período III-II



Fonte: Próprio autor

5.3.3 Temperatura

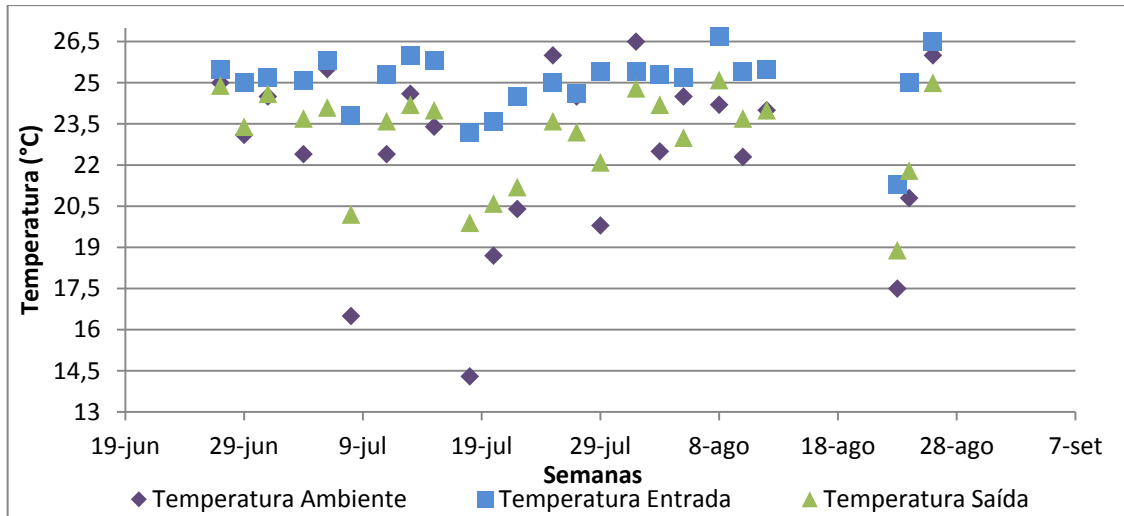
Os valores para temperatura obtidos durante o Período III-I estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 9 e semanais no gráfico da Figura 30 (cada grupo de dados interligados representa uma semana).

Tabela 9 – Valores máximos, médios e mínimos de temperatura Período III-I

Temperatura °C	Entrada	Saída	Ambiente
Máxima	26,7	25,1	26,5
Mínima	23,2	18,9	14,3
Média	25±1,12	23±1,72	22,47±3,13

Fonte: Próprio autor

Figura 30 – Resultados obtidos de temperatura do Período III-I



Fonte: Próprio autor

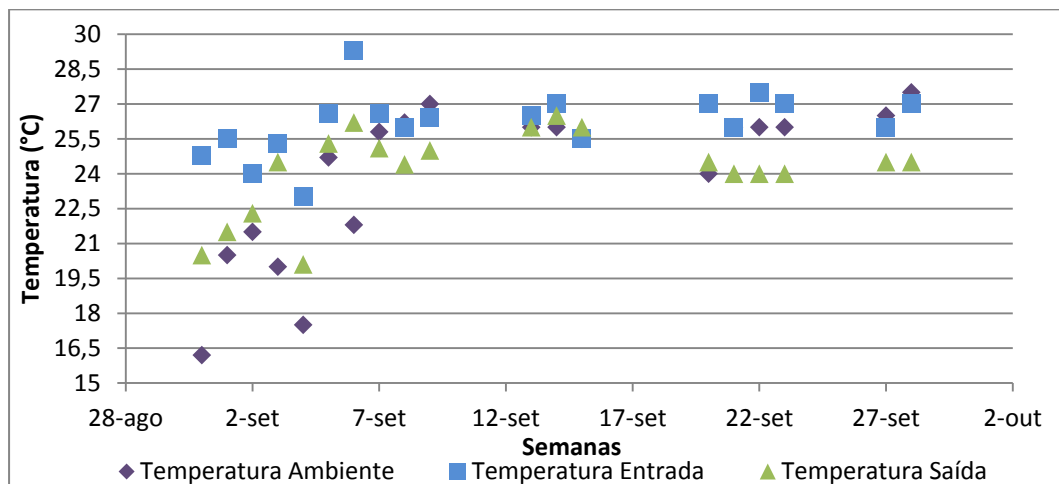
Os valores para temperatura obtidos durante o Período III-II estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 10 e semanais no gráfico da Figura 31.

Tabela 10 – Valores máximos, médios e mínimos de temperatura Período III-II

Temperatura °C	Entrada	Saída	Ambiente
Máxima	29,3	26,5	27,5
Mínima	23	20,01	16,2
Média	26,15±1,32	24,15±1,78	23,93±3,24

Fonte: Próprio autor

Figura 31 – Resultados obtidos de temperatura do Período III-II



Fonte: Próprio autor

5.3.4 Sólidos

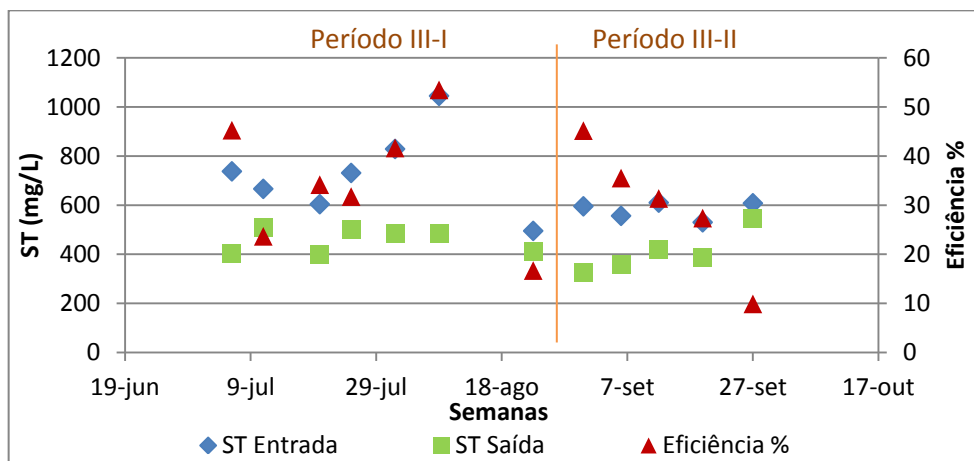
A obtenção de dados para as séries de sólidos se deu semanalmente durante todo o período III, não sendo necessária a sua subdivisão. Os dados de Sólidos Totais (ST) obtidos durante o Período III estão apresentados Valores máximos, médios e mínimos na Tabela 11 e em dados semanais no gráfico da Figura 32.

Tabela 11 – Valores máximos, médios e mínimos de ST Período III

ST (mg/L)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Máxima	1045	547,5	53,46
Mínima	495	326,25	9,87
Média	435,64±64,86	66,17±145,69	32,98±11,98

Fonte: Próprio autor

Figura 32 – Resultados obtidos de ST para o Período III



Fonte: Próprio autor

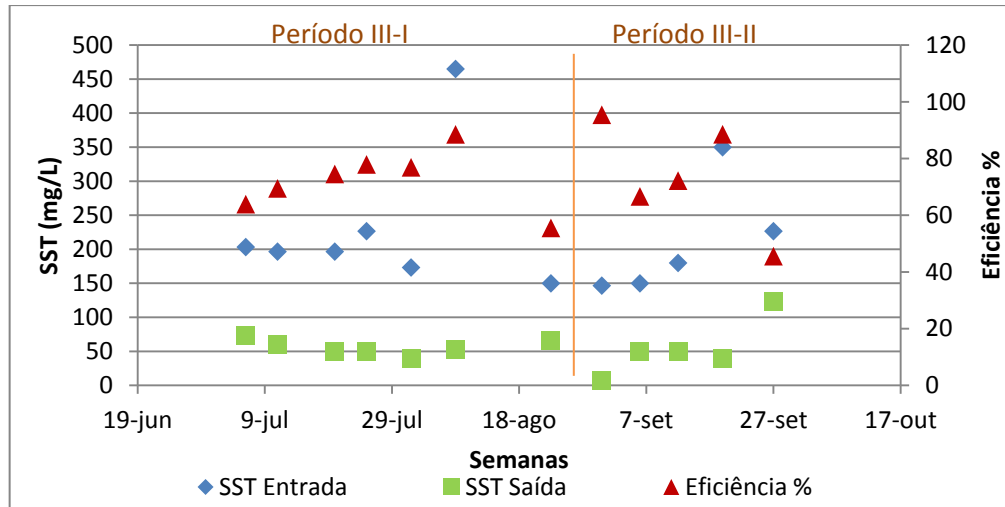
Os dados de Sólidos Suspensos Totais (SST) obtidos durante o Período III estão apresentados Valores máximos, médios e mínimos na Tabela 12 e em dados semanais no gráfico da Figura 33.

Tabela 12 – Valores máximos, médios e mínimos de SST Período III

SST (mg/L)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Máxima	465	123,32	95,45
Mínima	146,65	6,66	45
Média	222,06±90,04	55,27±25,09	72,95±13,6

Fonte: Próprio autor

Figura 33 – Resultados obtidos de SST para o Período III



Fonte: Próprio autor

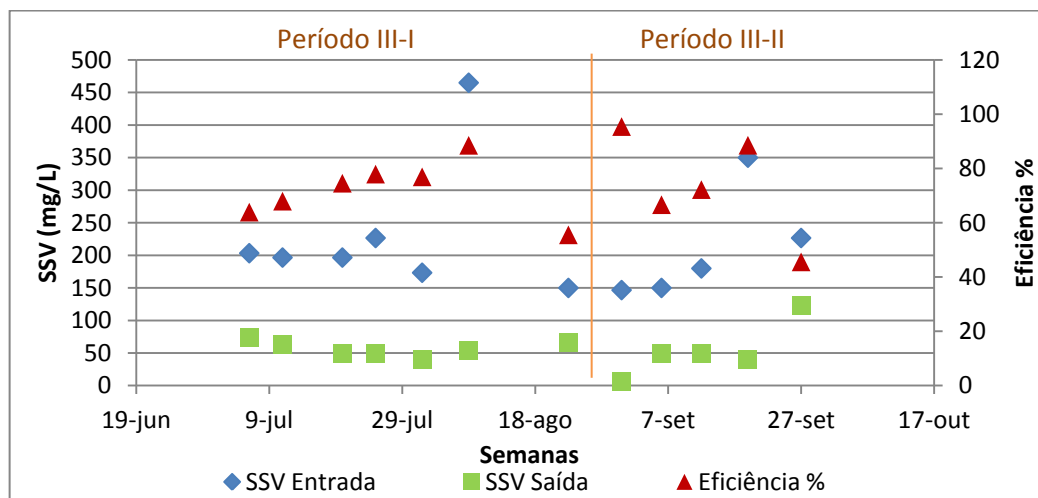
Os dados de Sólidos Suspenso Voláteis (SSV) obtidos durante o Período III estão apresentados Valores máximos, médios e mínimos na Tabela 13 e em dados semanais no gráfico da Figura 34.

Tabela 13 – Valores máximos, médios e mínimos de SSV para o Período III

SSV (mg/L)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
Máxima	464,99	123,32	95,45
Mínima	146,65	6,66	45,59
Média	222±94	55,52±26	72,82±13,65

Fonte: Próprio autor

Figura 34 – Resultados obtidos de SSV para o Período III



Fonte: Próprio autor

5.3.5 Nitrogênio total e fósforo total

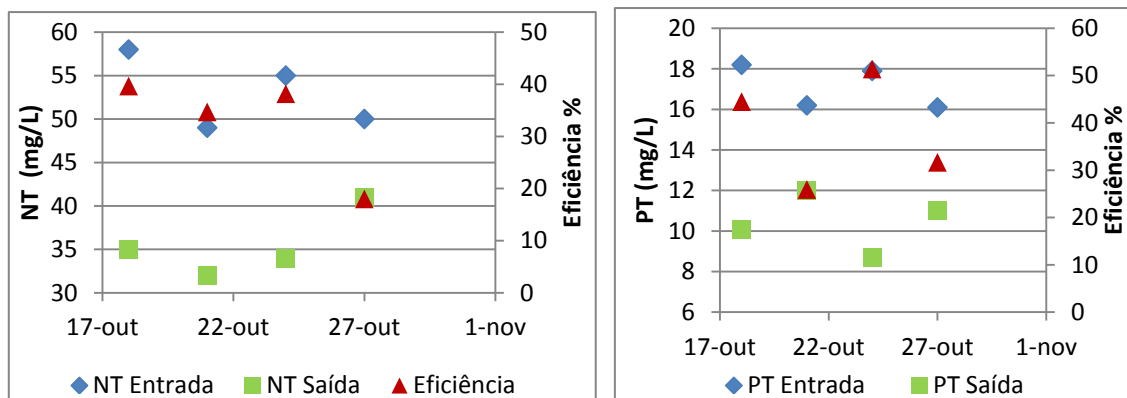
Os dados obtidos para Nitrogênio Total (NT) e Fósforo Total (PT) durante o Período III-II estão apresentados em valores máximos, médios e mínimos na Tabela 14 e em valores semanais nos gráficos da Figura 35.

Tabela 14 - Valores máximo, médio e mínimo de NT e PT para o Período III-II

NT e PT (mg/L)	Entrada		Saída		Eficiência	
	NT	PT	NT	PT	NT	PT
Máxima	58	18,2	41	12	39,65	51,39
Mínima	49	16,1	32	8,7	18,0	25,92
Média	53±3,6	17,1±0,9	35,5±3,3	10,45±1,2	32,63±8,6	38,37±10,0

Fonte: Próprio autor

Figura 35 – Resultados obtidos de Nitrogênio e Fósforo Totais do Período III-II



Fonte: Próprio autor

5.4 PERÍODO IV

Ultima etapa desta pesquisa, o Período IV ocorreu durante os meses de setembro e outubro de 2016, tendo como principal enfoque a caracterização do esgoto utilizado no abastecimento do RUC, através do levantamento de dados de Óleos e Graxas (O&G).

Os primeiros ensaios de O&G, realizados nos dias 27 e 28 de setembro, decorreram como ensaios teste, para possibilitar a avaliação da eficiência/retenção do RUC. Os ensaios dos dias 24 e 25 de setembro buscaram representar a variação da concentração de O&G ao longo do dia, sendo estes realizados em diferentes horários dos períodos da manhã e tarde. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 15.

Durante os ensaios para extração e quantificação de O&G também foram monitorados dados de DQO, pH e temperatura das mesmas amostras, a fim de melhor representar os dados obtidos, tais valores estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15- Valores obtidos para o Período IV

Parâmetro	Amostras									
	27/Set		28/Set		24/Out		24/Out		25/Out	
	15:00h		8:30h		9:30h		17:00h		13:00h	
Ponto amostragem A= Afluente E= Efluente	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E
DQO (mg/L)	491	104	783	188	479	94	361	-	462	78
pH	6,94	6,63	7,03	6,65	7,02	6,32	6,64	-	6,93	6,42
O&G (mg/L)	1451	722	-	991	1890	1103	232	-	375	1072
T. Amb (°C)	28		27,5		27		26,5		28	

Fonte: Próprio autor

6 DISCUSSÃO

O presente capítulo deste trabalho designa-se a avaliar os dados obtidos apresentados no capítulo anterior (capítulo 5).

Com os resultados obtidos durante o período de pesquisa, somados aos dados obtidos em trabalhos anteriores, foi possível levantar um histórico e avaliar seu funcionamento por meio dos fatores que influenciaram seu desempenho.

6.1 PERÍODO I

Os dados obtidos durante o Período I foram obtidos com o RUC utilizando o mesmo inóculo e vazão aplicada por Sato (2013) e Leal (2015), o que possibilita a comparação direta de seu desempenho e fatores de influência. A Tabela 16 apresenta um levantamento dos dados do RUC das pesquisas anteriores e dados do Período I.

Tabela 16 – Comparação do histórico de dados do RUC com o Período I

Parâmetro	Período I			LEAL, 2015			SATO, 2013		
	A	E	Efic.%	A	E	Efic.%	A	E	Efic.%
DQO (mg/L)									
Média	471,23	188,30	57,32	632,2	101,5	82,7	600	160	80
Desvio	138,73	78,10	19,16	185,3	30,7	7,7			
Padrão ±									
pH			Variação			Variação			Variação
Média	7,16	6,80	0,36	7,18	6,76	0,42	7,0	6,7	0,3
Desvio	0,29	0,21		0,15	0,09				
Padrão ±									
Alcalinidade (mg/L)			Variação			Variação			Variação
Média	340,8	286,15	54,65	292,2	246,1	46,1	230	190	40
Desvio	14,12	20,47		24,8	26,2				
Padrão ±									

Fonte: Próprio autor

Através da análise dos valores de DQO afluente pode-se notar que, apesar de se tratar de períodos nos quais se utilizou a mesma vazão, a carga aplicada média foi menor no Período I, assim como a eficiência, o que demonstra variação das características do esgoto e conseqüente variação no funcionamento do RUC.

Os valores de pH são bastante próximos entre as pesquisas, assim como a diferença entre afluente e efluente. Apesar da grande diferença nos valores de alcalinidade, principalmente nos dados de Sato (2013), que apresenta valores

consideravelmente menores, os valores de consumo (variação) se deram bastante próximos.

Os valores obtidos quanto à degradação dos nutrientes presentes no esgoto utilizado variaram de 15 a 60% de eficiência para Nitrogênio Total, com valores de entrada variando entre 20 e 85 mg/L, onde o valor considerado típico para esgoto doméstico é de 35 a 60 mg/L (MOTA; SPERLING, 2009), e valores de saída variando entre 10 e 40 mg/L, valores considerados impróprios para descarte segundo a resolução CONAMA 357 de 2005. Para fósforo total a eficiência obtida variou entre 22 e 65%, com valores de entrada variando entre 13 e 25 mg/L, na qual o valor considerado típico para esgoto doméstico é de 4 a 12 mg/L (MOTA e SPERLING, 2009), e valores de saída variando de 7 a 10 mg/L. Apesar de as atividades do RUC terem decorrido com valores de nutrientes atipicamente elevados para esgoto doméstico, os resultados apresentados relatam eficiência adequada para um sistema de tratamento anaeróbio.

A avaliação da produção de biogás não foi possível neste período, devido a possível baixa taxa de produção, indicada pelo não funcionamento correto do medidor de gases, e posterior acúmulo de material na câmara de gases, que impossibilitou o monitoramento. Durante o início do monitoramento, o medidor de gases chegou a acusar alguns valores, ainda que muito abaixo do valor teórico, contudo a interrupção do abastecimento e a obstrução da saída de gás culminaram na interrupção do monitoramento.

6.2 PERÍODO II

Devido a constantes problemas operacionais apresentados durante todo o Período II e a consequente descontinuidade dos dados, optou-se por não avaliar tais dados, dado sua descontinuidade e imprecisão, devido a alterações causadas por constantes atividades de manutenção.

6.3 PERÍODO III-I

O Período III-I representa a fase de repartida do RUC após nova inoculação. Os dados obtidos são considerados de monitoramento prévio e indicativo, a fim de avaliar a progressão da repartida.

Com uma eficiência de remoção de DQO média de 48%, com valores de entrada variando entre 380 e 820 mg/L e saída variando entre 160 e 510 mg/L, o RUC apresentou boa resposta bacteriana durante os 87 dias do Período, onde a remoção de DQO, apesar de ainda instável, se manteve acima de 40% nas duas últimas semanas do mesmo chegando a alcançar valores acima de 70%.

6.4 PERÍODO III-II

Os dados obtidos para o Período III-II, foram obtidos após a fase de repartida do Período III-I. Por serem dados coletados diariamente, com vazão aplicada de mesma faixa de pesquisas realizadas anteriormente, utilizando o mesmo RUC, possibilitando assim uma comparação dos dados obtidos com o histórico de dados do RUC. Um comparativo entre os dados do Período III-II com os dados dos levantamentos de Sato (2013) e Leal (2015) é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Histórico de dados do RUC para o Período III-II

Parâmetro	Período III-II			LEAL, 2015			SATO, 2013		
	A	E	Efici.%	A	E	Efic.%	A	E	Efic.%
DQO (mg/L)									
Média	632,86	171,86	70,54	632,2	101,5	82,7	600	160	80
Desvio	182,47	49,92	11,52	185,3	30,7	7,7			
Padrão ±									
pH			Varição			Varição			Varição
Média	7,20	6,62	0,58	7,18	6,76	0,42	7,0	6,7	0,3
Desvio	0,23	0,12		0,15	0,09				
Padrão ±									
Alcalinidade (mg/L)			Varição			Varição			Varição
Média	350,42	299,95	50,47	292,2	246,1	46,1	230	190	40
Desvio	26,83	25,98		24,8	26,2				
Padrão ±									
Temp (°C)			Varição			Varição			Varição
Média	26,15	24,15	2,0	27,5	25,3	2,2	32,2	30	2,2
Desvio	1,32	1,78		2,2	2,6				
Padrão ±									

Fonte: Próprio autor

Os dados de DQO afluente se apresentaram bastante próximos, com efluente durante o Período III-II com maior carga do que o trabalho de Leal (2015), que se deve ao fato do baixo tempo de maturação do lodo bacteriano, o que também justifica a menor eficiência do RUC para o período.

Os valores obtidos para pH, tanto afluente quanto efluente, se encontram bastante próximos nos três levantamentos, o que aponta tendência a esse comportamento por parte do esgoto do município de Ilha Solteira e por parte do RUC. No trabalho de Sato (2013) apresenta o menor valor de variação, chegando esta a ser metade do valor obtido durante o Período III-II, no entanto os valores afluentes são bastante próximos, o que representa aqui a estabilidade do RUC quanto ao pH efluente.

As médias para alcalinidade se apresentam distintas nas três pesquisas, como menores valores para Sato (2013) e os maiores para o Período III-II, com variação de mais de 100 mg/L para Sato (2013) e 40 mg/L para Leal (2015), porém os valores de consumo da alcalinidade pelo RUC são bastante próximos em todos os períodos, representando um padrão de comportamento bacteriano.

Os valores de temperatura durante o levantamento realizado por Leal (2015) e os obtidos no Período III-II são bastante próximos, diferentemente dos obtidos Sato (2013), que apresenta médias de temperatura mais elevadas. Novamente, apesar da diferença de valores de afluente e efluente, assim como para outros parâmetros, os valores de variação, de 2 °C, comparando afluente e efluente, se mantem bastante próximos, o que aqui representa estabilidade por parte do reator ao lidar com diferentes faixas de temperatura.

Os dados obtidos para as séries de sólidos podem aqui ser comparados também aos obtidos nas pesquisas anteriores. O levantamento dos dados das séries de sólidos está apresentado na Tabela 18. Com a comparação dos dados pode-se observar que os valores de ST afluente de Leal (2015) estão bastante próximos dos do Período III, porém o com uma eficiência 14% maior para o Período III. Os valores de SST afluente e efluente obtidos foram maiores que os de Leal (2015), porém a eficiência se manteve numa faixa próxima. Para os valores de SSV, o Período III e Sato (2013) se encontram próximos, com Leal (2015) mais baixos e com eficiência maior.

Tabela 18 – Histórico de dados de sólidos do RUC

Parâmetro	Período III			Leal (2015)			Sato (2013)		
	A	E	Ef %	A	E	Ef %	A	E	Ef %
ST (mg/L ⁻¹)	667,1	435,6	32,9	704,5	600,5	18,9	-	-	-
SST(mg/L ⁻¹)	222,0	55,2	72,9	98	11,5	87,2	-	-	-
SSV(mg/L ⁻¹)	222	55,5	72,8	75,5	7,0	91,2	181,5	50,0	72,1

Fonte: Próprio autor

Os valores obtidos quanto eficiência na remoção de nutrientes variaram de 18 a 39% para Nitrogênio Total, com valores de entrada variando de 49 a 58 mg/L, e valores de saída variando de 32 a 41 mg/L. Para fósforo total a eficiência obtida variou entre 25 e 51%, com valores de entrada variando de 16 a 18 mg/L, e valores de saída variando de 8 a 12 mg/L. Neste Período as atividades do RUC também decorram com valores de nutrientes atipicamente elevados para esgoto doméstico, com os resultados apresentados também dentro da faixa de eficiência adequada para um sistema de tratamento anaeróbio, mesmo com o menor tempo de operação do e desenvolvimento dos microorganismos.

A quantificação da produção de biogás nesta etapa apresentou novamente adversidades, como a constante formação de gordura na câmara de gás e formação de incrustação no medidor, que resultaram na impossibilidade do funcionamento do equipamento de medição, o qual trabalhou abaixo de sua taxa mínima, não acusando produção.

6.5 PERÍODO IV

Os valores obtidos para O&G pelo método de extração soxhlet, caracterizam o efluente analisado como tendo taxas bastante elevadas para esgoto sanitário, segundo Mendes et al. (2005), os valores de concentração de lipídeos em esgoto doméstico variam de 40 a 100 mg/L.

O Decreto nº 8468/76, que legisla no estado de São Paulo sobre despejos das fontes poluidoras na rede coletora do sistema de esgotos, em seu Art.19-A determina em seu inciso IV a total ausência de óleos e graxas visíveis e a concentração máxima de 150 mg/L de substâncias solúveis em hexano, assim as amostras do efluente avaliadas, cujos valores para O&G variam de 232 a 1890 mg/L, se encontram todas fora das exigências para descarte na rede coletora, evidenciando assim a ocorrência de descartes irregulares.

Para os valores de O&G efluente do RUC, cujas amostras variaram entre 722 e 1103 mg/L valores muito acima dos limites estabelecidos para descarte, uma vez que a legislação do estado de São Paulo estabelece o limite de 100 mg/L para os níveis de lançamento de O&G em águas naturais e a legislação federal, Resolução nº 357 do CONAMA, estabelece os limites máximos de 50 mg/L para óleos de origem vegetal e gorduras animais e 20 mg/L para óleos minerais. Os valores

efluentes obtidos e o conseqüente acúmulo de gordura na biomassa são resposta comportamental do RUC aos altos níveis de O&G no esgoto utilizado para abastecimento, uma vez que o TDH, COV e arquitetura do RUC não se basearam nestes valores.

A metodologia de extração soxhlet não permite caracterizar os lipídios, assim, sobre o não funcionamento da caixa de gordura instalada, não se pode afirmar sobre a solubilidade deste material e sua relação com parâmetros como as altas temperaturas registradas e elevados valores de pH, aliados a alta concentração apresentada, que podem ter culminado em sua não retenção no dispositivo.

7 CONCLUSÃO

O dispositivo instalado para retenção de gordura não apresentou funcionamento adequado, devido ao comportamento bastante fluido da gordura no afluente, com concentrações atípicas para esgoto sanitário.

As operações relacionadas à produção de biogás desta configuração de reator UASB compartimentado demonstraram ineficiência estrutural quanto à manutenção da câmara de gases.

Os valores obtidos para a remoção de nutrientes (<40%) são satisfatórios para reatores anaeróbios.

O RUC apresentou boa resistência as variações de DQO, pH, alcalinidade e temperatura, que resultaram em baixas alterações na eficiência do tratamento.

A estrutura diferenciada de compartimentação apresentou baixa formação e fácil manejo do lodo.

O RUC apresentou boa resposta a reinoculação, com promissores resultados para os Períodos III e IV após a retirada do lodo com acúmulo de gordura.

A configuração diferenciada de reator UASB compartimentado avaliada, de construção simples com materiais baratos, apresentou promissores resultados quanto à decomposição de matéria orgânica oriunda de esgoto doméstico, com melhores resultados para o Período III-II, com uma eficiência média de remoção de DQO de 70%.

8 RECOMENDAÇÕES

A seguir estão listadas algumas recomendações para possíveis futuros trabalhos com o RUC utilizado neste estudo:

a) buscar meios de controlar o acúmulo de gordura no separador trifásico do RUC a fim de possibilitar o monitoramento da produção de biogás, com a não obstrução da tubulação do gasômetro;

b) ensaios microbiológicos do lodo presente no reator e do inóculo;

c) avaliar a possibilidade de monitoramento e descarte do lodo em diferentes níveis verticais;

d) buscar meios mais eficazes de pré-tratamento para retenção de óleos e graxas;

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT. **NBR 9648**: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986. Comitê Brasileiro de Construção Civil - Comissão de Estudo de Projetos de Sistemas de Esgoto Sanitário
- ARAUJO JUNIOR, M. M. Produção de hidrogênio e metano em reatores anaeróbios de leito fixo e fluxo ascendente tratando efluente industrial da produção de leveduras e derivados. In: PRODUÇÃO DE BIOENERGIA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DOS EFLUENTES E RESÍDUOS. 2011, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2011, p. 68 a 75.
- ARAUJO, T. L. S. **Desempenho de reator anaeróbio híbrido (leito fixo e manta de lodo) tratando esgoto sanitário em escala piloto**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- BARBER, W. P.; STUCKEY, D. C. The use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for wastewater treatment: a review. **Water Research**, New York, v. 33, n. 7, p. 1559-1578, 1999.
- BEAL, L. L. **Tratamento anaeróbio de efluente de curtume de acabamento associado a membranas de micro e ultrafiltração**. 2004. 313 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)- Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- BRAGA, A. F. M. Avaliação da produção de hidrogênio em reatores anaeróbios termofílicos. In: PRODUÇÃO DE BIOENERGIA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DOS EFLUENTES E RESÍDUOS, 2011, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2011. p. 120 a 127.
- CASSINI, S. T. et al. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: RiMa, 2003. 210 p. Projeto PROSAB, ABES.
- CAMPOS, J. R. et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: RiMa, 1999. 464 p. Projeto PROSAB, ABES.
- CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: reatores anaeróbios. 22. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, 1997. 780 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais. Brasília, DF, 2005. 27p.

FORESTI, E.; VILELLA, L. C. H. **Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) protótipo: desempenho e respostas dinâmicas as sobrecargas hidráulicas.** São Francisco: ResearchGate Corporation. 1996. 22 p.

FORESTI, E. et al. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. **Journal Reviews in Environmental Science and Bio Technology**, New York, v. 5, n.1, p.3-19, 2006.

GROBICKI, A.; STUCKEY, D. C. Performance of the anaerobic baffled reactor under steady-state and shock loading conditions. **Biotechnology and Bioengineering**, New York, v. 33, n. 4, p. 344-355, 1991.

HAANDEL, A. C. V.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente.** [S. l.: s. n.], 1994.

LEAL, B. Q. **Avaliação da eficiência do reator UASB compartimentado (RUC) tratando esgoto sanitário de Ilha Solteira com diferentes carregamentos orgânicos.** 2015. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Ilha Solteira, 2015.

LIER, J. B. V.; RINTALA, J.; SANZ M, J L.; LETTINGA, G. Effect of shortterm temperature increase on the performance of a mesophilic UASB reactor. **Water Science and Technology**, London, v. 183-190,n. 9, p. 22, 1990.

MENDES, A. A. et al. Aplicação de lipases no tratamento de águas residuárias com elevados teores de lipídeos. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2. P. 10, 2005.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 3. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1991. 1334 p.

MIKI, M. K. Práticas operacionais e de empreendimentos: **Dilemas do UASB.** Departamento de Águas e Esgoto - DAE, São Paulo, v. 183, n. 52, p. 27-37, 2010.

MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. V. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428 p. Projeto PROSAB.

PEREIRA, J. O. **Controle da formação de espuma e remoção de matéria orgânica em reator UASB com duplo estágio de coleta de biogás.** 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2007.

REITH, J. H.; WIJFFELS, R. H.; BARTEN, H. **Biomethane and biohydrogen: status and perspectives of biological methane and hydrogen production.** Netherlands: Agency for Energy and the Environment, 2003.

RISSOLI, C. A. **Estudo de parâmetros operacionais do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade de seu efluente**. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)- Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

SATO, C. M. **Avaliação do desempenho de um reator anaeróbio compartimentado no tratamento de esgoto doméstico**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Ilha Solteira, 2013.

SCHIRMER, W. N. et al. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: evaluatin in refuse of diferent ages. **Brazilian Jurnal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 373-384., 2014.

SPERLLING, M. V. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 221 p.

TEIXEIRA, A. R. **Influência da alteração da distribuição do tamanho de partículas no desempenho de reatores UASB tratando esgotos domésticos**. 2007. 166 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2007.

VIDAL, G., CARVALHO, A.-; MENDEZ, R.; LEMA, J. M. Influence of the content of fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewater. **Bioresource Technology**, Curitiba, v. 53, n.6, p. 231-239, 2000.

ZUPANCIC, G. D.; GRILC, V. **Anaerobic treatment and biogas production from organic waste, management of organic waste**. China: InTech. Shangay, 2012.

APÊNDICE A – DADOS OBTIDOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS

Tabela 19 – Resultados obtidos para DQO, pH e alcalinidade para o PI

2015 Período I	DQO			pH		Alcalinidade	
	Data	Entrada	Saída	Efic %	Entrada	Saída	Entrada
08/set	538	127	76,39	7,18	6,87	-	-
10/set	727	108	85,14	7,24	6,89	-	-
11/set	685	218	68,17	7,09	6,59	-	-
15/set	437	274	37,29	6,84	6,52	-	-
17/set	324	187	42,28	7,04	6,68	-	-
18/set	364	192	47,25	6,91	6,64	-	-
21/set	408	110	73,03	7,08	6,84	332	285
23/set	536	166	69,02	7,12	6,78	340	291
25/set	335	152	54,62	6,87	6,51	338	288
30/set	450	133	70,44	7,33	7,06	340	295
02/out	618	188	69,57	7,85	7,23	345	305
05/out	817	210	74,29	7,11	6,5	361	260
07/out	347	130	62,53	6,79	6,71	340	255
09/out	336	179	46,72	6,93	6,68	343	258
13/out	522	267	48,85	6,79	6,62	330	253
14/out	538	344	36,05	7,17	6,83	342	278
16/out	418	227	45,69	6,81	6,63	351	269
19/out	556	403	27,51	7,28	6,85	330	280
21/out	293	150	48,80	6,97	6,72	305	295
23/out	247	155	37,24	7,54	6,78	312	285
26/out	513	112	78,16	7,12	6,68	350	302
28/out	410	70	82,92	7,55	6,93	353	295
30/out	573	153	73,29	6,94	7,06	335	289
09/nov	-	-	-	7,74	7,25	360	343
10/nov	-	-	-	7,31	6,87	352	302
12/nov	-	-	-	7,63	7,18	357	295

Tabela 20 - Resultados Obtidos para NT e PT para o PI

Data	Nitrogênio			Fósforo		
	Entrada	Saída	EFIC%	Entrada	Saída	EFIC%
14/out	46	39	15,21	13,1	10,1	22,90076
21/out	18	10	44,44444	24,2	13,3	45,04132
28/out	23	18	21,73	24,2	13,3	45,04132
10/nov	87	32	63,21839	21,8	7,7	64,6789

Tabela 21 - Resultados obtidos para DQO, pH, alcalinidade e temperatura no PIII-I

2016 P III-I	DQO			pH		Alcalinidade		Temperatura		
	Data	E	S	Ef%	E	S	E	S	Amb	E
27/jun	829	264	68,15	7,15	7,02	320	290	25	25,5	24,9
29/jun	619	340	45,07	7,49	6,89	355	297	23,1	25	23,4
01/jul	514	228	55,64	7,24	6,82	327	292	24,5	25,2	24,6
04/jul	522	354	32,18	7,54	7	380	292	22,4	25,1	23,7
06/jul	577	264	54,24	7,35	6,87	378	298	25,5	25,8	24,1
08/jul	498	279	43,97	7,68	7,06	375	290	16,5	23,8	20,2
11/jul	536	286	46,64	7,51	6,89	383	316	22,4	25,3	23,6
13/jul	564	366	35,10	7,58	6,72	379	342	24,6	26	24,2
15/jul	642	435	32,24	7,56	7,11	384	339	23,4	25,8	24
18/jul	519	294	43,35	7,61	7,02	-	-	14,3	23,2	19,9
20/jul	545	289	46,97	8,25	7,37	-	-	18,7	23,6	20,6
22/jul	633	301	52,44	7,98	6,89	392	303	20,4	24,5	21,2
25/jul	666	268	59,75	7,12	6,71	374	334	26	25	23,6
27/jul	537	283	47,29	7,53	6,8	376	306	24,5	24,6	23,2
29/jul	369	314	14,90	7,58	7,36	369	314	19,8	25,4	22,1
01/ago	618	266	56,95	7,53	7	343	302	26,5	25,4	24,8
03/ago	557	227	59,24	7,74	7,12	341	281	22,5	25,3	24,2
05/ago	469	530	0	7,35	6,91	335	284	24,5	25,2	23
08/ago	822	246	70,07	7,29	6,33	367	313	24,2	26,7	25,1
10/ago	613	233	61,99	7,3	7,02	308	289	22,3	25,4	23,7
12/ago	446	227	49,10	7,25	6,71	336	302	24	25,5	24

Tabela 22 - Resultados obtidos para DQO, pH, alcalinidade e temperatura no PIII-II

2016 P III-II	DQO			pH		Alcalinidade		Temperatura		
	Data	E	S	Ef%	E	S	E	S	Amb	E
31/ago	365	90	75,3	7,57	6,53	325	210	16,2	24,8	20,5
01/set	510	225	55,8	7,25	6,76	365	298	20,5	25,5	21,5
02/set	428	213	50,2	7,2	6,62	341	303	21,5	24	22,3
03/set	722	237	67,1	7,22	6,55	347	305	20	25,3	24,5
04/set	417	201	51,7	7,51	6,57	342	320	17,5	23	20,1
05/set	748	169	77,4	7,41	6,68	281	300	24,7	26,6	25,3
06/set	415	165	60,2	7,55	6,86	350	260	21,8	29,3	26,2
07/set	394	179	54,5	7,54	6,77	344	308	25,8	26,6	25,1
08/set	953	209	78,0	6,76	6,68	370	310	26,2	26	24,4
09/set	494	176	64,3	7,35	6,81	328	266	27	26,4	25
13/set	642	257	59,9	7,17	6,52	400	306	26	26,5	26
14/set	520	145	72,1	7,3	6,7	357	301	26	27	26,5

Continua...

Conclusão

2016 P III-II	DQO			pH		Alcalinidade		Temperatura			
	Data	E	S	Ef%	E	S	E	S	Amb	E	S
	15/set	577	226	60,8	7,29	6,61	366	323	25,5	25,5	26
	16/set	847	241	71,5	7,16	6,7	372	301	-	-	-
	17/set	671	182	72,8	-	-	-	-	-	-	-
	18/set	452	166	63,2	-	-	-	-	-	-	-
	19/set	908	113	87,5	6,93	6,57	350	325	-	-	-
	20/set	684	108	84,2	7,21	6,42	365	300	24	27	24,5
	21/set	922	117	87,3	6,9	6,57	297	306	26	26	24
	22/set	827	110	86,6	6,93	6,58	350	320	26	27,5	24
	23/set	618	123	80,1	6,97	6,59	345	316	26	27	24
	27/set	478	107	77,6	7,05	6,33	387	293	26,5	26	24,5
	28/set	783	188	75,9	7,03	6,55	377	328	27,5	27	24,5

Tabela 23 - Resultados Obtidos para NT e PT para o PIII-II

Data	NT			PT		
	E	S	EF%	E	S	EF%
18/out	58	35	39,6	18,2	10,1	44,5
21/out	49	32	34,7	16,2	12	25,9
24/out	55	34	38,2	17,9	8,7	51,3
27/out	50	41	18	16,1	11	31,6

Tabela 24 – Dados obtidos para as séries de sólidos do PI

10/Nov	Entrada	Saída	19/Mai	Entrada	Saída
P0	73,2977	65,1697	P0	55,5113	59,2867
P1	73,3473	65,1955	P1	55,5534	59,3221
ST	620	322,5	ST	701,6667	590
STF	0,0247	0,0137	STF	0,0237	0,0276
P2	73,3224	65,1834	P2	55,535	59,3143
P3	44,7836	46,4042	P3	40,5765	35,9867
P4	44,784	46,4048	P4	40,5846	35,9895
STV	619,9753	-	STV	701,643	589,9724
SST	13,332	19,998	SST	269,973	93,324
P5	44,778	46,3991	P5	40,5754	35,9862
SSF	-0,0056	-0,0051	SSF	-0,0011	-0,0005
SSV	13,3376	20,0031	SSV	269,9741	93,3245
SF	606,668	302,502	SF	431,6937	496,676

Tabela 25 – Dados obtidos para as séries de sólidos do PIII

06/Jul	Entrada	Saída	11/Jul	Entrada	Saída	20/Jul	Entrada	Saída
P0	169,711	194,941	P0	169,7111	194,9348	P0	169,708	194,9313
P1	169,770	194,9733	P1	169,7644	194,9755	P1	169,7563	194,9631
ST	737,5	403,75	ST	666,25	508,75	ST	603,75	397,5
STF	0,026	0,017	STF	0,0282	0,027	STF	0,0299	0,0251
P2	169,738	194,958	P2	169,7393	194,9618	P2	169,7379	194,9564
P3	59,386	53,963	P3	38,2039	36,5885	P3	38,2006	36,5864
P4	59,392	53,9652	P4	38,2098	36,5903	P4	38,2065	36,5879
STV	203,313	73,326	STV	196,647	59,994	STV	196,647	49,995
SST	59,3868	53,9628	SST	38,205	33,589	SST	38,2015	36,5867
P5	0,0002	-0,0002	P5	0,0011	-2,9995	P5	0,0009	0,0003
SSF	203,312	73,3262	SSF	196,6459	62,9935	SSF	196,6461	49,9947
SSV	534,187	330,424	SSV	469,603	448,756	SSV	407,103	347,505
SF	169,711	194,941	SF	169,7111	194,9348	SF	169,708	194,9313
25/Jul	Entrada	Saída	01/Ago	Entrada	Saída	08/Ago	Entrada	Saída
P0	169,709	194,9343	P0	194,9325	169,7073	P0	169,7069	194,9321
P1	169,782	194,9842	P1	194,9988	169,746	P1	169,7905	194,971
ST	731	499	ST	828,75	483,75	ST	1045	486,25
STF	0,0366	0,0262	STF	0,0399	0,0223	STF	0,0404	0,0243
P2	169,745	194,9605	P2	194,9724	169,7296	P2	169,7473	194,9564
P3	38,207	36,5868	P3	36,5907	38,2122	P3	36,5898	38,2057
P4	38,214	36,5883	P4	36,5959	38,2134	P4	36,5991	38,2073
STV	226,644	49,995	STV	173,316	39,996	STV	465	53,28
SST	38,2154	36,5871	SST	36,5915	38,219	SST	36,5931	38,2061
P5	0,0081	0,0003	P5	0,0008	0,0068	P5	0,0033	0,0004
SSF	226,635	49,9947	SSF	173,3152	39,9892	SSF	464,9967	53,2796
SSV	504,356	449,005	SSV	655,434	443,754	SSV	580	432,97
SF	169,709	194,9343	SF	194,9325	169,7073	SF	169,7069	194,9321
23/Ago	Entrada	Saída	31/Ago	Entrada	Saída	06/Set	Entrada	Saída
P0	169,707	194,9308	P0	169,7098	194,933	P0	169,7138	194,9384
P1	169,747	194,9638	P1	169,7574	194,9591	P1	169,7583	194,9671
ST	495	412,5	ST	595	326,25	ST	556,25	358,75
STF	0,0256	0,033	STF	0,0227	0,0145	STF	0,0227	0,0163
P2	169,733	194,9638	P2	169,7325	194,9475	P2	169,7365	194,9547
P3	36,189	40,3938	P3	36,281	40,4885	P3	40,3993	36,1916
P4	36,194	40,3958	P4	36,2854	40,4887	P4	40,4038	36,1931
SST	149,985	66,66	SST	146,652	6,666	SST	149,985	49,995
P5	36,19	40,3941	P5	36,2818	40,4887	P5	40,3996	36,1922
SSF	0,0002	0,0003	SSF	0,0008	0,0002	SSF	0,0003	0,0006
SSV	149,985	66,6597	SSV	146,6512	6,6658	SSV	149,9847	49,9944
SF	345,015	345,84	SF	448,348	319,584	SF	406,265	308,755

Continua...

Conclusão

12/Set	Entrada	Saída	19/Set	Entrada	Saída	27/Set	Entrada	Saída
P0	169,713	194,9368	P0	169,7086	194,931	P0	194,9276	169,7042
P1	169,762	194,9703	P1	169,751	194,9618	P1	194,9762	169,748
ST	610	418,75	ST	530	385	ST	607,5	547,5
STF	0,0244	0,0205	STF	0,0344	0,0242	STF	0,0248	0,0291
P2	169,737	194,9573	P2	169,743	194,9552	P2	194,9524	169,7333
P3	36,194	40,3967	P3	32,6756	40,3956	P3	32,6766	38,6571
P4	36,200	40,3982	P4	32,6861	40,3968	P4	32,6834	38,6608
SST	179,982	49,995	SST	349,965	39,996	SST	226,644	123,321
P5	36,195	40,3971	P5	32,6771	40,3958	P5	32,6774	38,6581
SSF	0,0005	0,0004	SSF	0,0015	0,0002	SSF	0,0008	0,001
SSV	179,981	49,9946	SSV	349,9635	39,9958	SSV	226,6432	123,32
SF	430,018	368,755	SF	180,035	345,004	SF	380,856	424,179