



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**JULIANA AUDRESS ALVES**

**Implementação de ensaios de bancada de reator de batelada sequencial**

**MONOGRAFIA**

Ouro Preto  
2019

**JULIANA AUDRESS ALVES**

**Implementação de ensaios de bancada de reator de batelada sequencial**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharela em Ciências Biológicas

Orientador: Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago

Co-orientadora: Ma. Ludymyla Marcelle Lima Silva

Ouro Preto

2019

A474i Alves, Juliana Audress.  
Implementação de ensaios de bancada de reator de batelada sequencial  
[manuscrito] / Juliana Audress Alves. - 2019.

55f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. MSc<sup>a</sup>. Ludymyla Marcelle Lima Silva.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de  
Ciências Exatas e Biológicas. Departamento de Ciências Biológicas.

1. Tratamento de efluentes. 2. Remoção de matéria orgânica. 3. Processo de  
lodo ativado . I. Santiago, Aníbal da Fonseca. II. Silva, Ludymyla Marcelle  
Lima. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 628.161.2

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)



Universidade Federal de Ouro Preto

Instituto de Ciências Exatas e Biológicas  
Departamento de Ciências Biológicas



**Ata da Banca Examinadora de Defesa de Monografia Intitulada:**

"Implementação de ensaios de bancada de reator de batelada sequencial"

Aos 16 dias do mês de julho de 2019, as 10:00 horas, no sala de seminários do Departamento de Ciências Biológicas da UFOP, reuniu-se a Comissão examinadora da Monografia da aluna Juliana Audress Alves. A defesa pública de monografia iniciou-se pela apresentação oral feita pela candidata e, em seguida, argüição pelos membros da banca. Ao final, os membros da banca examinadora reuniram-se e declararam a candidata aprovada, com a nota 9,0.

Membros da Banca Examinadora

Prof Dr. Anibal da Fonseca Santiago  
Orientador (Dep. Engenharia Civil- EM-UFOP)

Profa. Dra Silvana de Queiroz Silva  
Examinadora (DECBI-UFOP)

Profa Dra. Maria Célia da Silva Lanna  
Examinadora (DECBI/UFOP)

“A ciência se compõe de erros que, por sua vez, são os passos até a verdade” – Julio Verne

## **RESUMO**

A conservação dos recursos naturais vem sendo um dos temas mais discutidos nos últimos tempos, tendo em vista, a qualidade da água do meio ambiente e a qualidade de vida que nos proporciona. Essa responsabilidade de conservação e manutenção dos corpos hídricos é uma necessidade que surge em resposta a redução da disponibilidade de água como recurso básico e pelas características apropriadas para o consumo humano, uma vez que, muitas doenças são associadas a falta de saneamento. Por isso, dentre as tecnologias recentemente apresentadas, as mais promissoras são os sistemas biológicos de tratamento. A tecnologia de lodos ativados em reatores aeróbios tem sido amplamente estudada para a remoção da matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, a fim de diminuir os impactos de eutrofização. O presente trabalho implementou testes de bancada para definir a melhor configuração do reator RBS em termos de remoção de matéria orgânica para auxiliar em pesquisas futuras e garantir que o reator se mantenha estável para novas pesquisas que serão implementadas no laboratório de saneamento ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto.

**Palavras-chaves:** Tratamento de efluente, Remoção da matéria orgânica, Lodos ativados, Reator de batelada sequencial, Bactérias.

## **ABSTRACT**

The conservation of natural resources has been one of the most discussed topics in recent times, in view of the quality of the water in the environment and the quality of life it provides. This responsibility for the conservation and maintenance of water bodies is a need that arises in response to the reduction of water availability as a basic resource and the characteristics appropriate for human consumption, since many diseases are associated with lack of sanitation. Therefore, among the technologies recently presented, the most promising are biological treatment systems. The technology of activated sludge in aerobic reactors has been extensively studied for the removal of organic matter, nitrogen and phosphorus in order to reduce the impacts of eutrophication. The present work has implemented bench tests to define the best configuration of the RBS reactor in terms of organic matter removal to assist in future research and to ensure that the reactor remains stable for new research that will be implemented in the environmental sanitation laboratory of the Federal University of Ouro Preto

**Keywords:** Effluent treatment, Organic matter removal, Activated sludge, Sequential batch reactor, Bacteria

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Panorama Planos Municipais de Saneamento Básico .....	14
Figura 2-Fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional .....	20
Figura 3- Fases de operação de um sistema RBS .....	21
Figura 4- Estrutura típica de um floco de lodo ativado .....	23
Figura 5- Fluxograma das etapas do experimento .....	25
Figura 6- Configuração do reator nos testes preliminares .....	27
Figura 7- Configuração do segundo reator nos testes preliminares .....	27
Figura 8- Lodo Intumescido .....	28
Figura 9- Tanque do Sistema de água e esgoto da Barra - OP/MG .....	29
Figura 10 - Perda do volume e lodo do teste preliminar .....	30
Figura 11- Configuração da tentativa do reator RBS no teste preliminar .....	30
Figura 12- Reatores .....	32
Figura 13- Microscópio ótico utilizado no trabalho .....	35
Figura 14 - Valores de pH ao longo do tempo .....	35
Figura 15- Valores de OD ao longo do tempo .....	35
Figura 16 - Relação da temperatura ao longo do tempo .....	36
Figura 17- Relação de sólidos em relação ao tempo .....	39
Figura 18 - Intervalo de p valor para SST .....	41
Figura 19- Intervalo de p valor para SST .....	42
Figura 20- DQO e DBO em relação ao tempo .....	43
Figura 21- DQO Total R1 e R2 .....	44
Figura 22- DBO Total R1 e R2 .....	44
Figura 23- Teste t pareado para DQO e DBO R1 e R2 .....	45
Figura 24- Eficiência em termos de DQO e DBO .....	46
Figura 25- Inoculo do lodo utilizados nos reatores .....	47
Figura 26 - Lodo reator 1 .....	48
Figura 27- Lodo reator 2 .....	49
Figura 28- Protozoários dos reatores .....	50
Figura 29 - Microbiota encontrada por Santos, L (2015) .....	51



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Microrganismos indicadores das condições de depuração .....	18
Tabela 2 - Composição do efluente sintético .....	31
Tabela 3- Análises utilizadas no controle operacional do reator .....	33
Tabela 4- Caracterização do efluente de entrada .....	36
Tabela 5- Teste t Pareado para Média de SST R1 e SST R2 .....	41
Tabela 6- Teste t Pareado para Média de SSV R1 e SSV R2.....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

DBO: Demanda biológica de oxigênio

DQO: Demanda química de oxigênio

ETE: Estação de tratamento de esgoto

OD: Oxigênio dissolvido

RBS: Reator de batelada sequencial

SST: Sólidos suspensos totais

SSV: Sólidos suspensos voláteis

LSA: Laboratório de Saneamento Ambiental

## Sumário

1.Introdução.....	12
2.Objetivos.....	13
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. Revisão bibliográfica.....	13
3.1. Saneamento básico no Brasil.....	13
3.2.Importância do tratamento sanitário .....	16
3.3.Tratamentos viáveis e sustentáveis .....	17
3.4.Histórico dos lodos ativados .....	19
3.5.Biologia dos lodos ativados .....	20
3.6.Reator de batelada seqüencial (RBS).....	21
3.7.Caracterização do lodo.....	22
3.8.Remoção da matéria orgânica carbonácea.....	24
3.9.Importância dos testes de bancadas.....	25
4.Material e métodos .....	25
4.1.Lodos .....	26
4.2.Teste de bancada .....	26
4.3.Água residuária sintética .....	31
4.4.Reatores do modelo implementado.....	32
4.5.Análises .....	33
4.6.Equações e modelos.....	34
4.7.Tratamento estatístico dos dados.....	34
4.8.Formação de flocos e caracterização do lodo.....	34
5.Resultados e discussão.....	35
5.1.Análises gerais dos reatores.....	36
5.2.Comportamento do PH, do OD e temperatura.....	36
5.3.Comportamento do SST e SSV .....	39
5.4.Remoção da matéria orgânica (DQO e DBO) .....	42
5.5.Formação dos flocos do reator .....	47
6.Conclusão.....	51
7.Referência bibliográfica .....	53

## **1. Introdução**

As águas residuárias de origem domésticas e industriais decorrentes de atividades antrópicas devem ser tratados adequadamente, a fim de minimizar os efeitos ao meio ambiente. Quando efluentes são lançados sem tratamento no corpo hídrico promovem diversos impactos negativos, dentre eles a depleção de oxigênio dissolvido e o fenômeno da eutrofização, uma vez que os despejos possuem uma quantidade de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que são adicionados ao corpo hídrico e utilizados como fonte de nutrientes, promovendo um crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas (CHEN et al., 2013).

Diante desse problema e dos impactos também gerados na saúde humana, medidas de controle para evitar esse tipo de cenário são essenciais, por isso as cidades devem tratar seus resíduos nas estações de tratamento de efluente (ETE's), que tem como objetivo tratar os dejetos gerados pelas ações antrópicas. O processo biológico para tratamento de despejos tem como função principal criar condições de degradação dos compostos orgânicos, simulando o processo que ocorre na natureza. A oxidação realizada por microrganismos em condições ambientais controladas é uma eficiente maneira de tratar águas residuais domésticas e industriais e minimizam os impactos no meio ambiente. Uma das alternativas mais utilizadas nas estações de tratamento é o processo de lodos ativados. Esse processo consiste em um consórcio de microrganismos que oxidam compostos orgânicos e inorgânicos de acordo com a configuração do sistema (BENTO et al, 2005; DAVIES, 2005). No Brasil o sistema de tratamento predominante é o de lodos ativados e das tecnologias recentemente propostas, as mais promissoras como variantes desse processo são os sistemas biológicos utilizando biomassa granular em reatores de batelada sequencial.

Neste contexto, este estudo pretende melhorar a implementação de testes de bancada para operar um sistema de lodos ativados, bem como os mecanismos de remoção de nutrientes em reator em batelada sequencial. A fim de contribuir com as perspectivas de melhoramento de saneamento básico e a disponibilidade de água potável e de qualidade para toda a população brasileira.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

Implementação de ensaios de bancada para operação de reator de batelada sequencial

### **2.2 Objetivos Específicos**

Realizar testes de bancada para definir qual a melhor configuração do reator a ser implementado;

Estabilizar o reator e realizar análises de desempenho;

Acompanhar a formação de flocos e caracterizar o lodo do reator.

## **3. Revisão Bibliográfica**

### **3.1 Saneamento Básico no Brasil**

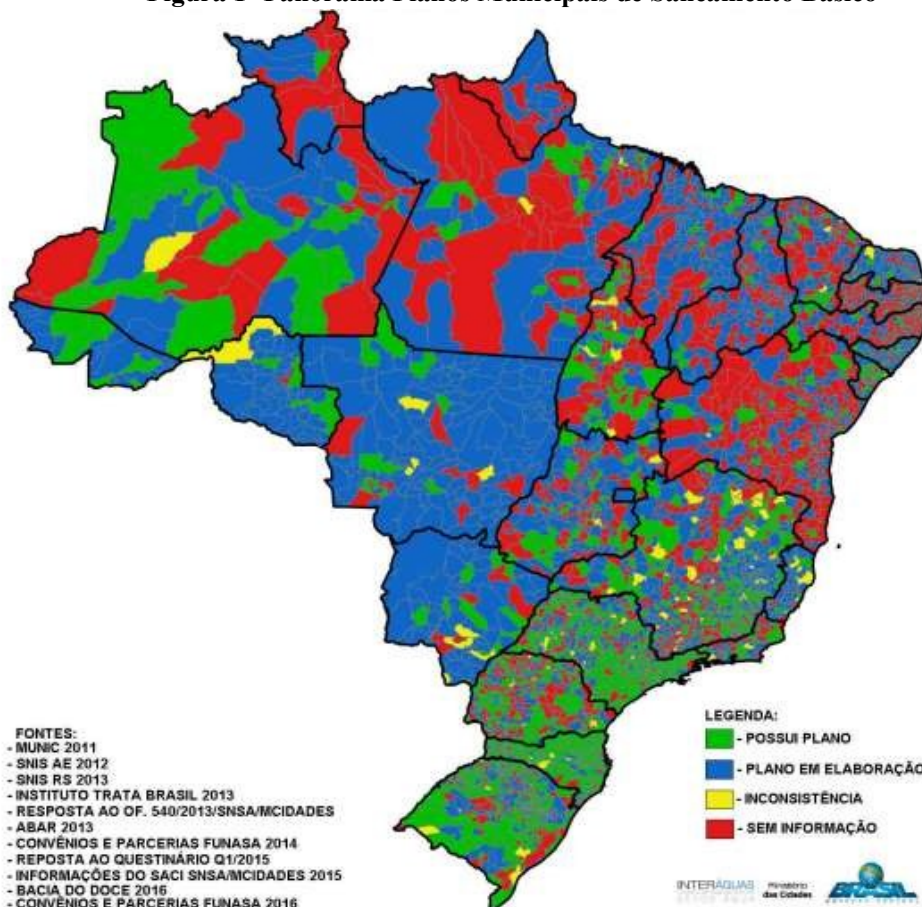
O desenvolvimento do saneamento está relacionado ao surgimento e o crescimento das cidades pela demanda populacional e junto com esse crescimento muitos problemas de saúde pública. Antigamente o abastecimento de água era feito através de coletas em bicas e fontes nos povoados que então se formavam e não havia uma destinação correta para os resíduos que eram gerados pelas famílias. Por tal circunstância muitos problemas sanitários começaram a surgir e agravar a qualidade de vida dessas pessoas nos centros urbanos, sendo necessário desenvolver medidas para contornar a situação e solucionar a problemática (ROLNIK, 2011).

Os investimentos em saneamento básico no Brasil possuem destaque para as décadas de 1970 e 1980. A primeira grande iniciativa no setor foi por volta de 1969, com a instituição do Plano Nacional de Saneamento – Planasa (Albuquerque, 2014). Advindo do pensamento de que os avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário resultariam na redução das taxas de mortalidade observadas até então (Soares, Bernardes & Cordeiro Netto, 2002). O Planasa apenas foi efetivamente implementado depois de dois anos instituído, ou seja, por volta de 1971, quando passou a destinar recursos para os estados criarem suas próprias companhias de saneamento, além de

estabelecer as diretrizes nacionais e os princípios para universalização do acesso ao saneamento.

Todo município deve elaborar um Plano Municipal de Saneamento Básico (PSMB), que deve contemplar os quatro serviços básicos como abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Tais iniciativas foram fundamentais para garantir uma qualidade de vida melhor e atender a demanda populacional, mas não contribuíram efetivamente para diminuir o déficit de coleta e tratamento de esgoto que ainda é observado atualmente. Um estudo realizado em janeiro de 2017 pelo Ministério das Cidades divulgou um panorama dos planos municipais de saneamento. Levando em consideração os estudos realizados por órgãos governamentais e não governamentais. A Figura 1 reúne esses dados levantados pela pesquisa.

**Figura 1- Panorama Planos Municipais de Saneamento Básico**



Fonte: Ministério das Cidades Secretária Nacional de Saneamento Ambiental (2017).

Houve uma melhora nesses últimos anos, mas metade dos brasileiros ainda seguem sem um plano elaborado no setor de saneamento e conseqüentemente mais de 100 milhões de pessoas ainda utilizam de medidas alternativas para lidar com os dejetos – seja através de fossa negra ou lançando o esgoto diretamente em rios.

Nesses últimos anos, as principais normas que regulam o setor de saneamento são: A Lei Federal 9.433/1997, que cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, através da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a Lei Federal 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 2005, que além de classificar os corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, também estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e de outras providências. Mesmo com leis, normas, diretrizes e investimentos no setor, ainda existem problemas que precisam ser assistidos e melhorias importantes para serem feitas. Segundo Souza, Freitas e Moraes (2007), ainda existe uma predominância de conceitos preventivistas e omissões discursivas, além de visões ambíguas dentro de uma mesma legislação. Não estão definidas de maneira clara as atribuições de cada esfera governamental no que diz respeito ao saneamento básico. A Lei Federal 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece que as prestações dos serviços públicos de saneamento devem englobar abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Porém, a realidade de nosso país é outra e o direito universal à água e saneamento é uma característica de municípios mais desenvolvidos e de bairros nos quais as pessoas podem pagar pelo tratamento de seus dejetos.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2015, apenas 50,3% da população brasileira possuía acesso à coleta de esgoto e apenas 42% eram tratados. O SNIS de ano base 2017, demonstrou um aumento na média do país em 2,1%, sendo igual a 52,4% em relação à coleta de esgoto e um aumento de 4% em relação ao tratamento do esgoto, ou seja, 46,0% (SNIS, 2017).

A situação mais comum em grande parte dos municípios brasileiros é o lançamento de esgoto diretamente nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento. O lançamento de esgoto sem tratamento prévio em rios, lagos e córregos é um dos principais problemas que afeta a qualidade das águas, segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Esgoto sem tratamento causa elevado prejuízo ambiental, uma vez que reduz os níveis de oxigênio e aumenta a concentração de nutrientes no corpo hídrico, promovendo o fenômeno de eutrofização dos rios, tal situação pode ser um fator limitante ao acesso de água potável, e além disso ocasiona problemas de saúde em larga escala, por favorecer a disseminação de patologias, por exemplo, a diarreia, hepatite A, cólera, dengue, leptospirose, febre tifoide, esquistossomose e doenças intestinais gerais (giardíase, amebíase etc) (Franceys et al. 1994).

Segundo Albulquerque (2014), este quadro no Brasil reflete anos de ausência de investimento adequado no setor, além de medidas públicas efetivas no que diz respeito as unidades de tratamento e novas tecnologias capazes de atender a demanda do país.

### **3.2. IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO SANITÁRIO**

O Brasil tem um desafio no setor de saneamento principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto. A má administração dos recursos destinados ao saneamento e a falta de coesão entre os órgãos governamentais muitas vezes geram uma ausência ou uma infraestrutura precária, o que desencadeia sérios problemas de saúde pública e do meio ambiente.

A agência Brasil em novembro de 2017, apontou que o esgotamento sanitário é o serviço público de pior qualidade ofertada aos brasileiros e que traz consequências que impactam diretamente a vida da população e do meio ambiente.

Quando o esgoto sem tratamento é lançado em corpos hídricos pode causar a depleção de oxigênio, uma vez que a matéria orgânica sofre um processo de decomposição que implica no consumo de oxigênio presente no meio, como vimos anteriormente, este fenômeno pode ocasionar o fenômeno de eutrofização devido aos altos níveis de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, provenientes de esgotos não tratados ou parcialmente tratados (CHEN et al., 2013).

Os impactos da eutrofização sobre a qualidade da água e a saúde humana incluem: crescimento excessivo de vegetação aquática, principalmente microalgas e cianobactérias, baixa concentração de oxigênio no corpo hídrico, problemas de cor, odor, sabor e turbidez devido ao crescimento, morte e decomposição da flora e da fauna local (USEPA, 2009). Além disso, esses impactos gerados nos corpos hídricos dificultam novas captações e o tratamento da água.



Mas este não é o único problema enfrentado pelos brasileiros, segundo a pesquisa “Esgotamento Sanitário Inadequado e Impactos na Saúde da População”, realizado pelo Instituto Trata Brasil, doenças relacionadas aos sistemas de águas e esgotos inadequados e as deficiências com higiene causam a morte de milhões de pessoas todos os anos, com prevalência nos países de baixa renda.

O estudo ainda aponta que 88% das mortes por diarreias no mundo são causadas pelo saneamento inadequado. Destas mortes, a maioria são crianças (Organização Mundial da Saúde, 2009), ainda sobre os impactos na saúde da população, a Unicef (2009), apontou que a segunda maior causa de mortes em crianças menores de 5 anos de idade são por problemas de saneamento básico.

Além de oferecer altos riscos de mortalidade, este cenário também representa muitos gastos financeiros em saúde pública que poderiam ser revertidos em educação, tecnologia, segurança e em outros setores de desenvolvimento. Ainda segundo OMS para cada R\$ 1,00 investido em saneamento gera-se uma economia de R\$ 4,00 na área de saúde. Há muitas evidências que o saneamento básico e saúde estão relacionados e por isso é importante dar atenção a este setor.

### **3.3. TRATAMENTOS VIÁVEIS E SUSTENTÁVEIS**

As estações de tratamento de efluentes (ETE's) são unidades indispensáveis nas cidades, pois removem os poluentes dos efluentes resultantes das atividades antrópicas. Os principais objetivos do tratamento são em promover o controle de impactos ambientais como, por exemplo, controle de oxigênio dissolvido, através da remoção de matéria orgânica, controle da eutrofização, removendo nitrogênio e fósforo e quando há substâncias tóxicas garantir que estas não prejudiquem à vida aquática. Além disso promover a remoção de patógenos, substâncias prejudiciais à saúde humana e viabilizar o reuso das águas residuais.

Uma das alternativas utilizadas nas ETE's é o processo biológico aeróbio de lodos ativados. O efluente é misturado por meio de agitadores e aeradores para fornecer oxigênio a ser utilizado para degradar a matéria orgânica por ação dos microrganismos. A Tabela 1 indica as condições de depuração em relação aos microrganismos do sistema aeróbio de lodos ativados e ilustra a importância da microfauna dentro do processo de tratamento.

**Tabela 1- Microrganismos indicadores das condições de depuração**

<b>Microrganismos</b>	<b>Característica do processo</b>
Predominância de flagelados e amebas	Lodo jovem, característica de início de operação ou baixa idade do lodo
Predominância de flagelos	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Predominância do gênero Arcella (ameba com teca)	Boa depuração
Predominância do gênero Aspidisca costata	Nitrificação
Predominância do gênero Trachelophyllum	Alta idade do lodo
Predominância de gênero Vorticella micróstoma e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade
Predominância de anelídeos do gênero Aeolosoma	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo

Fonte: Figueiredo et al (1997)

Os flocos biológicos constituem um microsistema complexo formado por alguns dos microrganismos citados, sendo as bactérias as principais responsáveis pela depuração da matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos.

Esse princípio é utilizado em escala mundial para tratamento de águas residuárias indústrias e domésticos (METCALF & EDDY, 2003; VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSOA, 2017).

O uso de processos biológicos decorrentes da atividade microbiana para a diminuição da concentração ou remoção de poluentes é eficiente e reproduz os processos biológicos que ocorrem na natureza. Existem vários sistemas biológicos adotados com a finalidade de estabilização da matéria poluente. O sucesso de cada um está relacionado com o

conhecimento prévio da água residuária, da eficiência a ser alcançada e das reações de mineralização desejadas associadas a reatores aeróbios, anaeróbios ou mistos. Uma vez que o Brasil enfrenta problemas na coleta de águas residuárias, e nem todos os municípios contam com um sistema de esgotamento sanitário, que trate eficientemente o esgoto, as buscas por alternativas de tratamentos sustentáveis são cada vez mais atrativos e importantes.

Nos últimos anos, a tecnologia de lodos ativados demonstrou vantagens significativas em diversos aspectos relacionados ao sistema de tratamento de esgoto, dentre as quais a pouca exigência de área para implementação, maior eficiência no tratamento no que diz respeito a capacidade de separação entre a biomassa e a água residuária tratada, a remoção simultânea de nitrogênio e fósforo, e a degradação de compostos orgânicos tóxicos, além de maior flexibilidade de operação (ZHU et al., 2013). Por outro lado, o custo operacional é elevado, há exigência de um controle laboratorial diário e dependendo da conformação do sistema inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento. (VON SPERLING & CHERNICHARO, 2000). Tais desvantagens do sistema de lodos ativados podem ser estudadas para trazer novas perspectivas para este tipo de tratamento, novas tecnologias podem ser desenvolvidas a fim de melhorar o sistema e torná-lo mais eficiente e sustentável.

### **3.4. HISTÓRICO LODOS ATIVADOS**

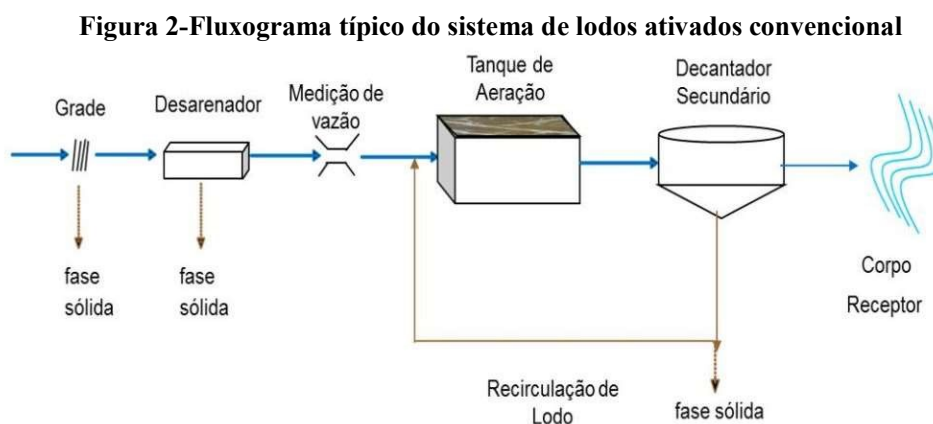
Nos últimos anos, o avanço da microbiologia tem proporcionado a utilização de processos biológicos (tanto aeróbios como anaeróbios) no tratamento de águas residuárias industriais e domésticos, sendo uma das formas mais utilizadas o processo de lodos ativados. (FERNANDO & FEDORAK, 2005). O uso de sistemas de lodos ativados é atrativo devido ao baixo requisito de área e reduzido tempo de detenção hidráulica. Porém, uma vez que o consumo de energia representa o maior gasto em um sistema de lodo ativado, sua aplicação pode ser dificultada. Assim, medidas para a redução na energia gasta com a aeração são interessantes de serem pesquisadas (LEE et al., 2015).

O amplo uso desta tecnologia ocorre devido a flexibilidade hidráulica, biológica, e a robustez, além de ser um sistema compacto, possuir baixa possibilidade de emissão de odores desagradáveis, e alcançar elevada remoção da matéria orgânica carbonácea (até

aproximadamente 98%) quando comparados aos processos anaeróbios (VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSOA, 2017).

Porém, para atingir esses bons resultados no tratamento são necessários altos índices de mecanização, operações sofisticadas e um expressivo consumo de energia, que geralmente representa entre 45 - 75% da energia consumida na planta da ETE (NIEUWENHUIJZEN et al., 2008; LEE et al., 2015). Um processo de lodo ativado tem um gasto energético em média, apenas com o sistema de aeração, de 0,4 - 1,1 kWh para introduzir 1 kg de oxigênio dissolvido (OWEN, 1982).

Existem diversas variantes do processo de lodos ativados, podem ser convencionais, ou seja, fluxo contínuo, sofrer aeração prolongada, o fluxo pode ser intermitente, conhecido como reatores sequenciais por batelada que é o foco deste estudo e será discutido posteriormente.



Fonte: adaptado de Von Sperling (2002)

### 3.5. BIOLOGIA DOS LODOS ATIVADOS

A etapa de depuração biológica ocorre no tanque de aeração ao qual é introduzido a água residuária a ser tratado. O lodo biológico encontra-se misturado com o meio líquido. É formado por diferentes bactérias agregadas sob forma de flocos biologicamente ativos. Por serem sensíveis às alterações no processo de tratamento de esgoto, a microfauna altera-se no sistema em resposta às mudanças nas condições físico-química e ambientais. Desse modo, a composição do lodo e sua idade revelam tendências importantes em relação a eficiência e operação do sistema como, por exemplo, a eficiência de remoção da Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a

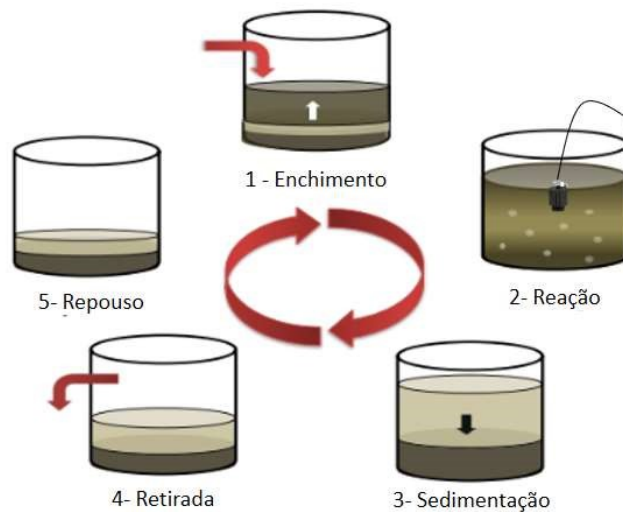
eficiência na remoção de sólidos suspensos, condições de sedimentação, o nível de aeração empregado no sistema e seu consumo (Geraldi, 1986; Hoffman & Platzer, 2000).

É interessante que a população bacteriana presente no sistema de lodos ativados permaneça em sua maioria na fase endógena, pois é nesta fase que ocorre a diminuição da biomassa devido a autoxidação, além de ocorrer à floculação bacteriana, característica bastante importante do processo, que permite a separação da biomassa (que retorna ao sistema) e da água residuária tratada.

### 3.6. REATOR DE BATELADA SEQUENCIAL (RBS)

O princípio do processo de lodos ativados com operação intermitente consiste na operação de todas as unidades, processos e operações em um único tanque (Figura 3).

**Figura 3- Fases de operação de um sistema RBS**



Fonte: Adaptador de Wagner (2015)

Na fase de enchimento ocorre a adição do esgoto bruto no reator, a qual pode ser realizada com os aeradores e/ou agitadores ligados ou desligados, dependendo do objetivo do tratamento (SINGH & SRIVASTAVA, 2010). Durante a reação ocorre a remoção da matéria orgânica carbonácea. Na sedimentação ocorre o desligamento dos aeradores e agitadores separando o lodo da fase líquida (GERALDI, 2010). Na fase de retirada

ocorre o descarte do sobrenadante, ou seja, a água residuária tratada do reator. Já na fase de repouso a biomassa permanece no reator até o começo do próximo ciclo. Segundo Jordão & Pessoa (2005), nesta fase que o tempo é ajustado entre o fim de um ciclo e o início de outro, além de retirar o lodo excedente.

A utilização do RBS possui diversas vantagens, visto que os projetos de operação de reatores são simples e as características do processo operacional permitem uma maior flexibilidade dos ciclos de operação (GRADY et al., 1999). Apresentam elevada remoção de DBO, menos equipamentos que os demais sistemas de lodos ativados, não há necessidade de um decantador secundário. Desta forma, o RBS é uma opção de tratamento bastante indicado para os complicados processos que envolvem a remoção de nutrientes, no qual ocorrem diversas interações entre os processos devido aos diferentes consórcios microbianos que atuam sob diferentes condições (ARTAN et al., 2001). Os sistemas de fluxo intermitente apresentam desvantagens na remoção de coliformes, um custo alto de implementação e operação, porém possuem uma configuração que possibilitam alternativas para diminuir as desvantagens.

### **3.7. CARACTERIZAÇÃO DO LODO**

A microbiota do sistema de lodos ativados é composta por diversos tipos de bactérias, que constituem aproximadamente 95% da biomassa. Uma vez que a comunidade do lodo ativado é especializada, sua composição é dependente da qualidade do substrato e das condições ambientais do tanque de aeração. Os flocos aeróbios são comuns em sistemas de lodos ativados, fazem parte de uma estrutura biótica e abiótica, contendo material orgânico adsorvido, material inerte do esgoto, produtos microbianos para agregação, células vivas e células inativas. Contém ainda bactérias filamentosas, bactérias produtoras de polímeros extracelulares, protozoários e rotíferos (Figura 4).

**Figura 4- Estrutura típica de um floco de lodo ativado**



Fonte: Adaptado de Horan (1990)

As bactérias são responsáveis por remover a matéria carbonácea e nutrientes tratam-se de bactérias de diferentes espécies incluindo *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas* e a mais conhecida *Zoogloea*. Os protozoários alimentam-se do material particulado e fazem o controle das bactérias livres e por isso são importantes para a clarificação do sobrenadante (SANTOS, 2006). São comuns de serem encontradas amebas, flagelados, ciliados, micrometazoários, que englobam os organismos com crescimento celular mais lento como, por exemplo, os rotíferos, que são frequentemente encontrados no sistema de lodos ativados e também nematoides. O objetivo da floculação é separar eficientemente a biomassa da água residuária e retornar o lodo ao tanque de aeração. No sistema de lodos ativados é necessário que haja um equilíbrio entre os diferentes tipos morfológicos, a fim de evitar que o lodo aumente e as bactérias não consigam decantar para o fundo ou que haja um acúmulo de bactérias filamentosas e o floco não consiga decantar no reator. Para um sistema operando adequadamente, as bactérias com morfologia de bastonetes Gramnegativo são predominantes (ALÉM SOBRINHO, 1996).

Como representantes da microbiota, encontram-se os protozoários e micrometazoários que desempenham o papel de bioindicadores do processo, pois são suscetíveis às múltiplas influências, como por exemplo, a natureza do despejo, pH, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura (VAZOLLÉR et al., 1991).

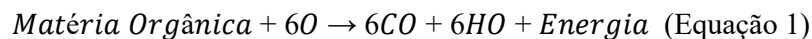
### 3.8. REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA CARBONÁCEA

A oxidação da matéria orgânica carbonácea constitui o principal objetivo de todos os processos de tratamento (VON SPERLING, 1996), pois é a principal causadora de poluição das águas.

Desta forma, é importante o estabelecimento de tratamento adequado, que ofereça alto nível de eficiência em termos de remoção da carga orgânica com o intuito de garantir os padrões de lançamentos satisfatórios e assim preservar nossos recursos hídricos.

O processo aeróbio de oxidação abordado neste estudo dispõe de vantagens como, por exemplo, custos, em relação aos sistemas anaeróbios, maior facilidade na operação e otimização dos processos. As bactérias responsáveis pelo processo de oxidação são geralmente heterótrofas aeróbias e facultativas e promovem com eficiência a remoção da matéria orgânica (TEIXEIRA & SOBRINHO, 2007).

A estabilização da matéria orgânica inclui duas etapas. Na primeira etapa é oferecido oxigênio ao sistema, para ocorrência da oxidação dos compostos orgânicos complexos, exemplificado pela Equação 1 da respiração aeróbia expressa a seguir:



É possível observar a estabilização da matéria orgânica em produtos inertes como o gás carbônico e água, utilização de oxigênio e liberação de energia. Nesta etapa, há um crescimento das bactérias, e aumenta-se o consumo de oxigênio. Caso a taxa de alimento disponível diminua, pode ocorrer a oxidação do material celular, denominando-se respiração endógena.

A respiração endógena do lodo é o oxigênio e o alimento necessário para a respiração do lodo ativado, ou seja, a energia requerida para manter as funções das células. A relação alimento/microrganismo (A/M) é a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa dos microrganismos, ou seja, representa a carga disponível, e estabelece relação direta com a eficiência do sistema (VON SPERLING, 1997). Quanto menor a disponibilidade de DBO fornecida às bactérias (baixa relação A/M) a busca pelo alimento é maior e a remoção de DBO se torna mais eficiente. Porém, quando essa relação não é equilibrada pode ocorrer respiração endógena e causar a morte celular. De modo inverso, quanto maior a disponibilidade de DBO fornecida às bactérias (alta relação A/M), menor será a remoção de DBO (VON SPERLING, 1997).



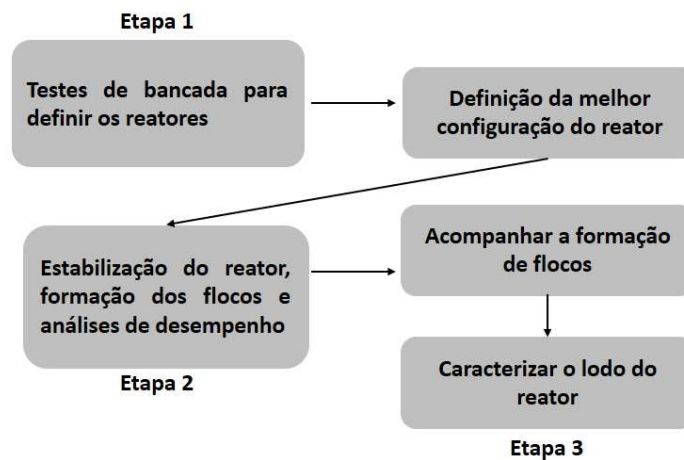
### 3.9 IMPORTÂNCIA DOS TESTES DE BANCADA

Testes de bancada ou projetos pilotos são de grande importância para a pesquisa científica, pois são mais baratos e visam testar a viabilidade do que será desenvolvido. Um teste deve reproduzir com maior precisão possível o que será utilizado no experimento e as condições reais. Assim os dados obtidos poderão auxiliar ao longo da pesquisa otimizando os processos ou mesmo direcionando para outras abordagens caso os testes indiquem que determinada abordagem não é eficiente como se pensava.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi montado no Laboratório de Saneamento Ambiental – LSA localizado no parque de laboratórios da Escola de Minas, na Universidade Federal de Ouro Preto. O estudo foi realizado em três etapas (Figura 5). A primeira etapa do trabalho foi responsável por testes de bancada para definir a melhor configuração do reator em termos de formato, volume e água residuária utilizada, a fim de garantir a estabilidade do sistema e ter melhor eficiência. A segunda etapa do projeto contou com a estabilização do reator, observação da formação dos flocos e análises de desempenho. Na terceira etapa foi observada a formação dos flocos e caracterização do lodo no reator a partir de análises de microscopia.

**Figura 5- Fluxograma das etapas do experimento**



Fonte: Próprio autor (2019).

#### **4.1. LODO**

O lodo utilizado no estudo foi proveniente de um reator de lodos ativados da ETE Arrudas, localizada no município de Belo Horizonte – MG. O lodo após a coleta na ETE foi armazenado na geladeira. Nas primeiras configurações testadas neste estudo o lodo foi inoculado diretamente nos reatores, apenas pela proporção de lodo em relação ao volume do reator e o volume de água residuária. Na configuração final do reator (Figura 12), utilizou-se 2 L do meio de cultivo caldo Casoy, que é fonte de carbono e nitrogênio necessários para o desenvolvimento adequado dos microrganismos. Tal procedimento teve o objetivo de aumentar a biomassa no lodo, visto que ele estava guardado na geladeira há 1 mês. No caldo adicionou-se 2 L do lodo coletado da ETE e cultivou-se por 72 horas na estufa a uma temperatura de 37°C. Após o cultivo utilizou-se 2 L nos reatores para inocular os reatores.

#### **4.2. TESTES DE BANCADA**

Os primeiros testes foram realizados no dia 25 de setembro de 2018 com a montagem do primeiro reator. Foram montados dois reatores a partir de garradas pets (Figura 6), eram alimentados diariamente com um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 24 h, a aeração era realizada com uma bomba de aquário modelo VigoAr 40. Eram adicionados cerca de 1,5 L de água residuária. Esta primeira água residuária era proveniente da Universidade Federal de Ouro Preto, a coleta era realizada próximo ao posto médico do campus, por fluxo ascendente diariamente. O controle operacional era realizado diariamente nas trocas da água residuária.

**Figura 6- Configuração do reator nos testes preliminares**

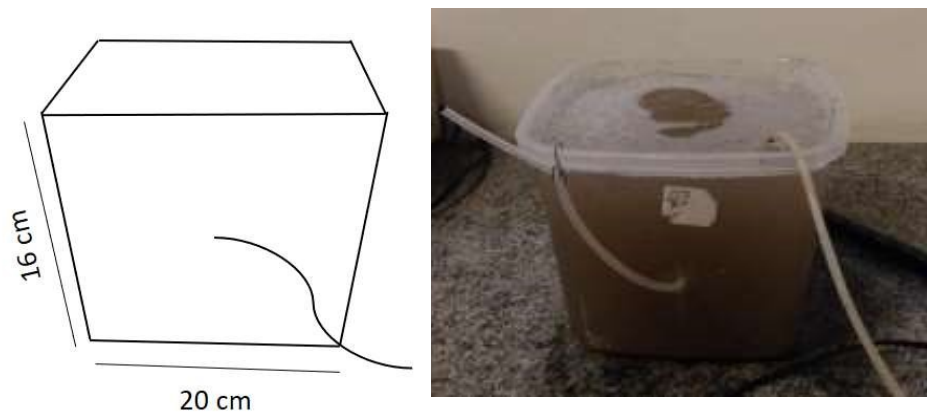


Fonte: Próprio autor (2019)

O experimento foi mantido até 10 de outubro de 2018 aproximadamente e foi desmontado por se evidenciar problemas com a biomassa. O lodo não apresentava crescimento. Foi possível identificar a presença de pelo de possíveis animais do canil do campus na água residuária, que dificultavam a decantação dos flocos e atrapalhavam a operação do reator.

Um novo reator foi implementado por volta do dia 12 de novembro com outras dimensões e um novo volume (Figura 7). O volume do reator era de 5 L, mas o volume útil utilizado era de 4,8 L e o material era de plástico e a geometria retangular.

**Figura 7- Configuração do segundo reator nos testes preliminares**



Fonte: Próprio autor (2019)

Este novo reator foi operado até aproximadamente 26 de novembro de 2019, a água residuária permaneceu a mesma da primeira configuração do reator, proveniente da Universidade, porém notou-se que o lodo ficou intumescido (Figura 8), isso possivelmente ocorreu devido ao problema com a bomba de oxigênio e devido ao baixo pH. O pH ácido favorece o aparecimento de fungos filamentosos e a baixa concentração de oxigênio no reator compromete o sistema em termos de eficiência e compromete a microbiota que sofre com as variações por serem sensíveis a variações significativas (OLIVEIRA et al. 2001; VON SPERLING, 2002). Por ainda apresentar problemas técnicos em relação a bomba e pela água residuária da UFOP dificultar a estabilidade do sistema o experimento foi finalizado e novos testes foram implementados.

**Figura 8- Lodo Intumescido**



Fonte: Próprio autor (2019)

Em 21 de janeiro de 2019 o mesmo reator foi utilizado, porém com um novo lodo proveniente da mesma ETE, optou-se por um lodo mais recente pelo risco de os microrganismos não responderem como o esperado por estarem muito tempo conservados na geladeira. A água residuária utilizada era coletada em uma antiga estação de tratamento de esgoto que havia na cidade de Ouro Preto, localizada no bairro Barra (Figura 9).

**Figura 9- Tanque do Sistema de água e esgoto da Barra - OP/MG**



Fonte: Alberto Fonseca (2005)

O reator nas primeiras semanas apresentava níveis de OD, temperatura e pH, dentro do esperado, mas os sólidos não apresentavam um ritmo de crescimento e de decantação regular. Optou-se por mudar a estratégia de alimentação da água residuária reduzindo o TDH para 12 horas e não mais 24 horas, no intuito de aumentar a quantidade de lodo do sistema, pois os sólidos diminuíaam do sistema em um ritmo maior do que o de crescimento. A mudança de alimentação não foi suficiente para que o sistema se estabilizasse e a biomassa crescesse, houve perda do volume e da biomassa como é possível observar na Figura 10.

**Figura 10 - Perda do volume e lodo do teste preliminar**



Fonte: Próprio autor (2019)

Optou-se por desmontar o reator e tentar um novo sistema que foi implementado no dia 13 de abril de 2019, um sistema em triplicata para controlar as condições nos reatores. Em um reator controlou-se a temperatura através do termostato roxin® heat 100W/110V, em outro reator o banho maria e o outro reator mantinha as condições originais do sistema que existiam nos outros reatores (Figura 11).

**Figura 11- Configuração da tentativa do reator RBS no teste preliminar**



Fonte: Próprio autor (2019)

A biomassa ainda apresentava problemas e não crescia e os parâmetros medidos, como temperatura, pH e OD, não apresentavam bons resultados. Notou-se que água residuária que era captada da antiga estação era muito diluído e pobre em relação aos nutrientes, possivelmente havia um desequilíbrio na relação alimento/microrganismo, e a biomassa não apresentava crescimento. Diante desta situação, investigou-se todos os problemas apresentados até esta etapa do estudo e a nova estratégia contou com uma nova configuração, nas dimensões do reator com um novo volume, uma nova água residuária, sintética e o lodo que estava armazenado foi enriquecido para garantir que os microrganismos estivessem em condições de entrarem no sistema e desempenharem a oxidação da matéria orgânica e fazerem com que a biomassa aumentasse no reator.

### 4.3 ÁGUA RESIDUÁRIA SINTÉTICA

Devido aos problemas apresentados pela água residuária da UFOP e da antiga estação de tratamento, optou-se por realizar a estabilização do sistema com água residuária sintética. A Tabela 2, apresenta a água residuária sintética com os componentes e suas respectivas quantidades de acordo com OEDC (1996).

**Tabela 2 - Composição da água residuária sintética**

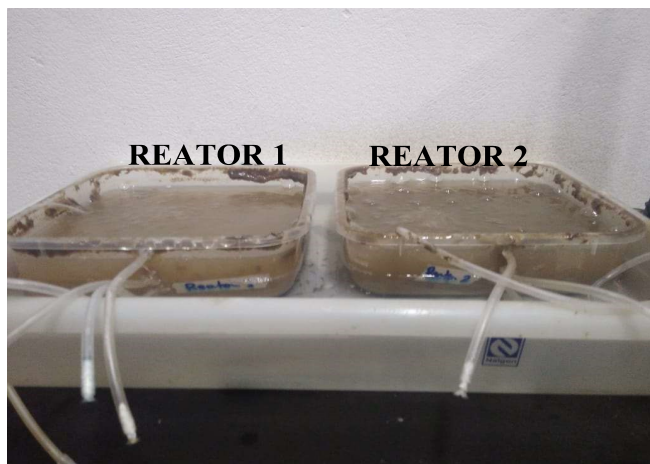
Componentes	(g/L)
Tryptona	0,16
Extrato de carne	0,65
Uréia	0,03
Fosfato de potássio	0,028
Cloreto de sódio	0,008
Cloreto de cálcio bihidratado	0,003
Sulfato de magnésio heptahidratado	0,018

Fonte: OEDC (1996) modificado.

#### 4.4 REATORES DO MODELO IMPLEMENTADO

Os reatores foram montados no dia 01 de maio de 2019 em recipientes quadrados com uma altura de 9 centímetros, largura de 21 centímetros e comprimento de 21 centímetros (Figura 12). O volume útil do reator era de 3 L. O reator contou com uma entrada na parte inferior para entrada da água residuária e entradas acima desta, para a remoção do lodo excedente. Os reatores eram alimentados diariamente com 2 L de água residuária sintética e o TDH de 24h, além de estarem em banho maria com temperatura controlada pelo termostato roxin® heat 100W/110V.

**Figura 12- Reatores**



Fonte: Próprio autor (2019).



#### 4.5. ANÁLISES

As análises foram feitas do dia 01/05/2019 até o dia 20/05/2019 e as metodologias das análises foram baseadas nos métodos do Standard Methods APHA (2012).

**Tabela 3- Análises utilizadas no controle operacional do reator**

Análise	Metodologia
Demanda Bioquímica de Oxigênio	APHA (2012) 5210 D
Demanda Química de Oxigênio	APHA (2012) 5220 D
Sólidos Suspensos Voláteis	APHA (2012) 2540 B
Sólidos Suspensos Totais	APHA (2012) 2540 A
Oxigênio Dissolvido	HACH Sonda LDO 1011
pH	HACH Sonda pHC 101

Fonte: Próprio autor (2019).

As análises utilizadas no controle operacional do reator são importantes para acompanhar o desempenho do sistema e para garantir que medidas de correção sejam tomadas caso ocorra algum desequilíbrio. Além de prevenir e ajustar o sistema, as medidas são importantes, pois auxiliam no desempenho do sistema e garantem testar a eficiência do tratamento. As análises que foram usadas nesse estudo são descritas a seguir com os respectivos parâmetros envolvidos em cada técnica.

**Remoção de matéria orgânica carbonácea:** Em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), para estimar a carga orgânica da água residuária através do consumo de oxigênio e oxidação química.

**Sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV):** Para verificação do resíduo após evaporação de uma porção da amostra e posterior secagem na estufa até peso constante e representação da fração orgânica dos sólidos e acompanhar a biomassa do sistema.

**Oxigênio Dissolvido, pH e Temperatura:** As análises de pH, oxigênio dissolvido e temperatura foram realizadas com o multiparâmetro (marca: HACH/ modelo: HQ40D e

sondas LDO101 e pH101). Para a temperatura padronizou-se o uso do valor indicado pelo termômetro do eletrodo de pH. .

#### 4.6. EQUAÇÕES E MODELOS

A seguir são listadas algumas equações utilizadas durante o estudo para analisar os resultados obtidos

**Eficiência de remoção (E):** Cálculo para verificar a eficiência da remoção da matéria orgânica em termos de DBO e DQO.

$$E = \left(\frac{SA-SE}{SA}\right) \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

Sendo:

E: Eficiência de remoção (%);

SA: Concentração do afluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

SE: Concentração da água residuária ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

#### 4.7. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os resultados obtidos ao longo do estudo foram tabulados e analisados através da construção de gráficos no Excel e no programa Minitab, além da realização de um teste t pareado para verificar se há diferença entre os reatores.

#### 4.8 FORMAÇÃO DE FLOCOS E CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Para acompanhar a formação dos flocos e caracterização do lodo os métodos utilizados foram montagem de lâminas e observação no microscópio ótico (marca: Olympus/ modelo: CX31), disponibilizado pelo Laboratório de Tratamentos Térmicos e Microscopia Óptica (LTM – DEMET) (Figura 13), acoplado ao computador para capturar as imagens no programa TCCapture.

**Figura 13- Microscópio óptico utilizado no trabalho**



Fonte: Próprio autor (2019).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Fase 1 do experimento foi necessária, pois através dos testes preliminares foi possível diagnosticar problemas operacionais que dificultaram a estabilização do sistema. A versão mais promissora do projeto foi com o modelo do reator  $9\text{ cm} \times 21\text{cm} \times 21\text{cm}$  e com a água residuária sintética. O reator foi operado a partir do dia 01 de maio de 2019 e as análises foram realizadas até o dia 20 de maio de 2019.

### **5.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS REATORES**

A Tabela 4, apresenta as características iniciais da água residuária utilizado durante os reatores que foram selecionados depois dos testes preliminares.

**Tabela 4- Caracterização da água residuária de entrada**

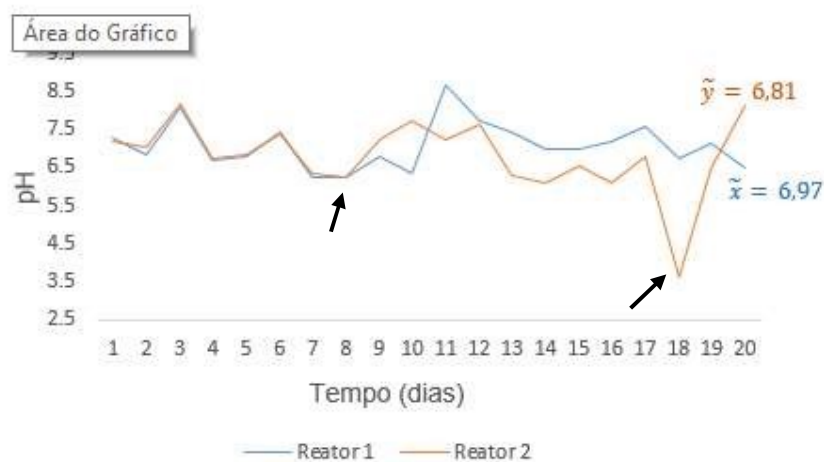
Parâmetros	Água residuária (mg/L) (média e desvio padrão)
Demanda Química de Oxigênio	600 ± 50
Demanda Biológica de Oxigênio	550 ± 2
Sólidos Suspensos Voláteis	50 ± 10,2
Oxigênio Dissolvido	7,50 ± 0,5
pH	6,9 ± 0,3

Fonte: Próprio autor (2019).

## 5.2 COMPORTAMENTO DO PH, DO OD E TEMPERATURA

Pode-se observar que houve uma variação ao longo do tempo nos reatores em termos de pH, OD e Temperatura.

Figura 14 - Valores de pH ao longo do tempo



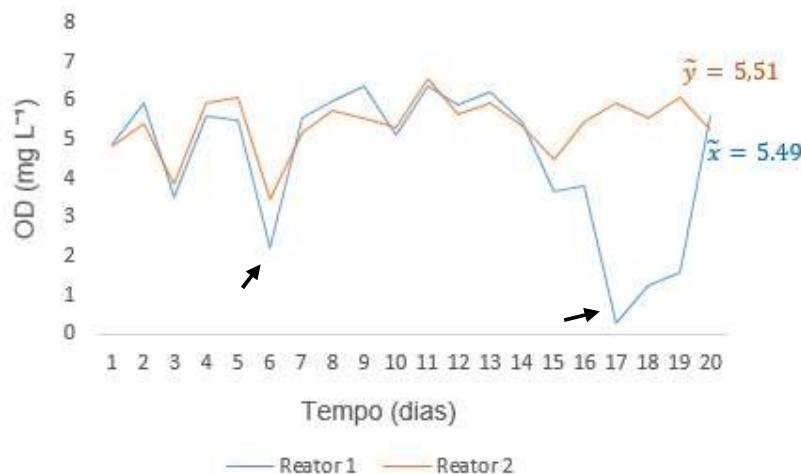
Fonte: Próprio autor (2019).

O pH do sistema de lodos é fundamental no funcionamento do sistema e por isso deve ser monitorado constantemente. A faixa de referência considerada ótima de acordo com a literatura é entre 6,0 e 7,50, próximo do pH neutro. Quando o pH varia e se mantém acima da faixa de referência ou abaixo pode ser prejudicial ao sistema. Pode-se observar no sistema que ambos os reatores estavam apresentando a mesma temperatura, porém a partir do dia 8, os valores de pH se distanciaram dentro da faixa esperada. Observa-se

que o reator 2 teve uma queda no valor de pH próximo ao dia 16, apontando um desequilíbrio, porém esse valor foi reestabelecido ao longo dos dias seguintes. Essa situação típica de baixa alcalinidade, com o pH descendo é apresentada como possibilidade de os flocos estarem pequenos e destruídos, uma baixa concentração de protozoárias e sua variabilidade baixa e o aparecimento de microrganismos filamentosos, embora não seja típico (HOFFMANN, 2004).

Outra variável dentro do monitoramento e que é de grande importância é o teor de OD, além de fazer um controle do sistema de lodos ativados, pois tanto o excesso quanto a escassez podem representar problemas com o crescimento dos microrganismos, a remoção da matéria orgânica e também na qualidade do lodo como um todo. A Figura 15 apresenta os resultados obtidos em relação ao OD.

Figura 15- Valores de OD ao longo do tempo



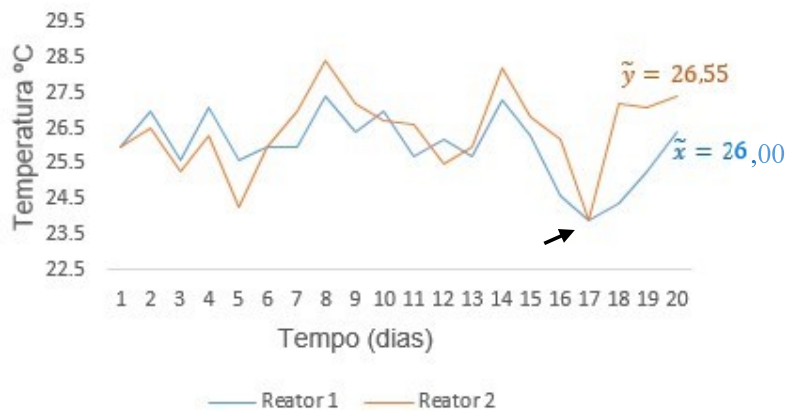
Fonte: Próprio autor (2019).

A faixa ideal de concentração do OD é de 1,0 a 2,0 mg/L (CLASS, 2007). A NBR 12209 (1992), recomenda a concentração de 1,5 mg/L. Os valores dos dois reatores estão acima da faixa ideal para o OD. Esse problema pode ser em função da aeração utilizada em relação ao volume do reator, além da aeração fornecida pela bomba outras variáveis que influenciam nas concentrações de oxigênio. Uma outra variável importante que pode influenciar nas concentrações de OD é a idade do lodo em relação a sua boa condição aeróbia no meio líquido do reator. O tamanho do floco e a

maturidade do lodo podem influenciar nas taxas de consumo de OD e na intensidade da agitação. Por esses fatores verifica-se a variação observada nas concentrações de OD no sistema.

A temperatura exerce grande influência dentro do sistema, pois sabe-se que a taxa de qualquer reação química tende a aumentar com a temperatura (VON SPERLING, 1997; SAWYER & MCCARTY, 1978; BENEFIELD & RANDALL, 1980). As reações biológicas apresentam essa tendência de acréscimo, influenciando no metabolismo microbiano e consequentemente inferindo nas taxas de oxidação da matéria orgânica. Porém, as reações biológicas necessitam de uma temperatura “ótima”. A Figura 16 retrata o comportamento da temperatura ao longo do sistema.

Figura 16 - Relação da temperatura ao longo do tempo



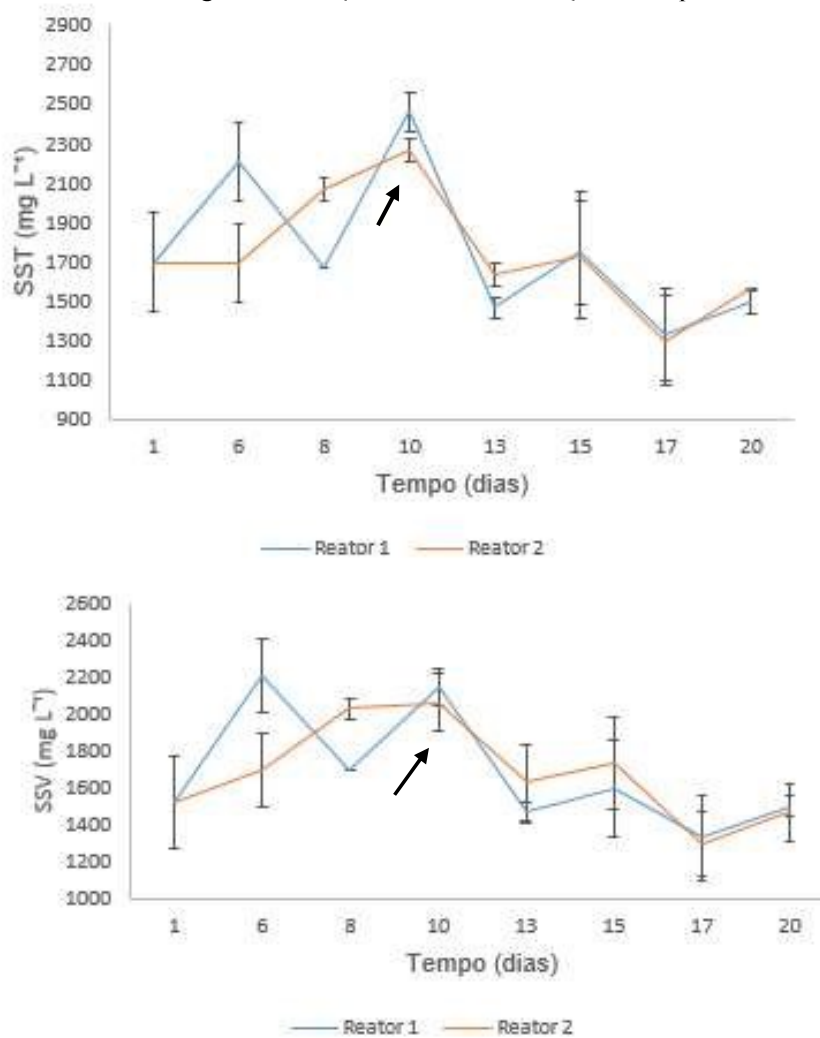
Fonte: Próprio autor (2019).

Os reatores apresentaram variações na temperatura de forma similar e apresentaram médias próximas. A temperatura mínima foi por volta de 24°C e a máxima 28,4°C. A temperatura ótima para o crescimento e sobrevivência dos microrganismos no sistema é entre 20°C e 30°C, (VON SPERLING, 1997). Logo, pode-se concluir que a temperatura observada no reator está dentro do esperado e que as bactérias estão em um ambiente propício para o crescimento em termos de temperatura e para as taxas de oxidação da matéria orgânica. Mesmo com a baixa nos valores da temperatura em ambos os reatores no dia 17 o sistema não sofreu um desequilíbrio ao ponto de compromete-lo e a temperatura foi restabelecendo no decorrer dos dias.

### 5.3 COMPORTAMENTO DO SST E SSV

Ao longo das análises foi possível verificar que no início da operação dos reatores houve um aumento da biomassa, provocando um acréscimo na concentração de SSV (Figura 17), já que o inoculo utilizado apresentava baixa concentração de sólidos, inicialmente SSV (mg/L ) em 1500 (mg.L<sup>-1</sup>); A Figura 17 mostra a evolução dos sólidos ao longo do tempo em ambos os reatores.

Figura 17- Relação de sólidos em relação ao tempo



Fonte: Próprio autor (2019).

Pode-se notar que após o décimo dia de operação o reator começou a apresentar um decaimento dos SSV e SST, houve uma perda da biomassa nesses dias em ambos os reatores e a partir do décimo dia o reator passou por uma fase oscilação menos acentuada. Inicialmente os reatores para SST iniciaram com os valores de 1700.00 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e ao final do vigésimo dia o reator 1 apresentou o valor de 1500.00 ( $\text{mg L}^{-1}$ ), enquanto o reator 2 apresentou valores 1566.67 ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Para os valores de SSV os reatores iniciaram com os valores de 1500.25 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e ao final das análises o reator 1 apresentou o valor de 1500.00 ( $\text{mg L}^{-1}$ ), enquanto o reator 2 apresentou o valor final de 1466.67 ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

Segundo Wang et al. (2005), a razão entre SSV/SST é importante para descobrir como as bactérias estão se comportando dentro dos reatores. Quando essa razão é alta, pode-se dizer que há um indício de crescimento e reprodução das bactérias formadoras de biomassa. Porém, quando o valor está baixo, é sinal que o reator está sendo alimentado com uma água residuária pobre em substrato, provocando a metabolização do próprio material celular em busca de energia.

Os reatores apresentaram uma instabilidade nos valores da razão SSV/SST, durante o final das análises, comportamento similar com o relatado por Liu et al (2010), onde os valores de SSV/SST estiveram acima de 90%, durante o processo de operação e no dia 35 de seu experimento houve uma queda da razão, para valores de 71,74% no reator 1 e 77,27% no reator 2. Nesse estudo as razões SSV/SST variaram entre 87% e 100% nos reatores mesmo após o decaimento do crescimento dos microrganismos, demonstrando que o sistema está em equilíbrio e que os sólidos estão se estabilizando. Outra observação a se fazer em relação ao comportamento de SSV e SST nos reatores é que eles variaram de forma similar e ao fazer o teste para avaliar se há diferença significativa entre os dois reatores chegou-se à conclusão que não há, conforme pode-se observar na Tabela 5.



**Tabela 5- Teste t Pareado para Média de SST R1 e SST R2**

Estatística	*Diferença Pareadas
Tamanho amostral	8
Média	15.973
IC de 95%	(-205,85;237,79)
Desvio padrão	265,33

\*Diferença pareada = SST R1 - SST R2 Fonte:  
Próprio autor (2019).

A Figura 18, ilustra através do teste que não há diferença significativa entre as médias dos reatores em relação aos SST.

**Figura 18 - Intervalo de p valor para SST**



A média de SST R1 não é significativamente diferente da média de SST R2 ( $p > 0.05$ ).

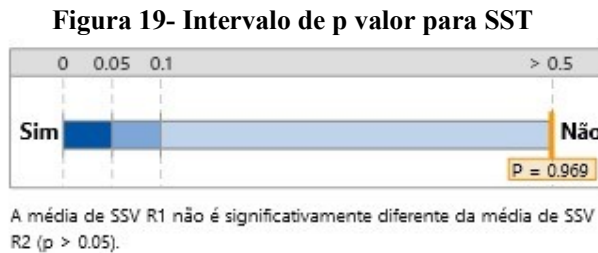
Também foi realizado um teste para saber se as médias entre os sólidos SSV são diferentes como é possível observar na Tabela 6.

**Tabela 6- Teste t Pareado para Média de SSV R1 e SSV R2**

Estatística	*Diferença Pareadas
Tamanho amostral	8
Média	3.4725
IC de 95%	(-203,00;209,95)
Desvio padrão	246,97

\*Diferença pareada = SSV R1 - SSV R2 Fonte:  
Próprio autor (2019).

A Figura 19, ilustra através do teste que não há diferença significativa entre as médias dos reatores em relação aos SSV.

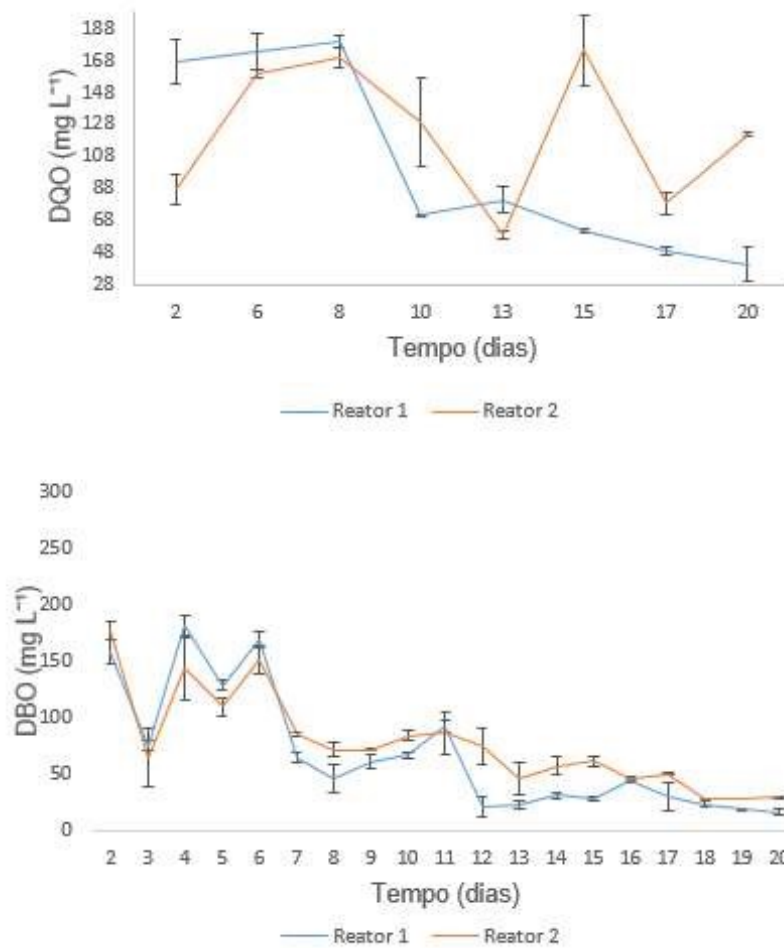


Nota-se que a biomassa não está na referência mais altas, porém quando comparada a outros estudos e de acordo com a literatura a biomassa está dentro da faixa de crescimento, sugere-se concentrações entre 1500 mg/l e 3500 mg/l para sistema de fluxo contínuo, porém é importante manter sempre a razão alimento/microrganismo equilibrada para não atrapalhar no crescimento microbiano.

#### 5.4 REMOÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA (DBO E DQO)

A análise de DQO tem por objetivo medir o consumo de oxigênio através da oxidação da matéria orgânica, obtida por meio de um forte oxidante, o dicromato de potássio, em meio ácido. A DBO é a quantidade de oxigênio necessária para que se estabilize a matéria orgânica (VON SPERLING, 2014), é possível observar na Figura 20, que houve uma melhora ao longo do tempo em termos de remoção e estabilização da matéria orgânica.

Figura 20- DQO e DBO em relação ao tempo

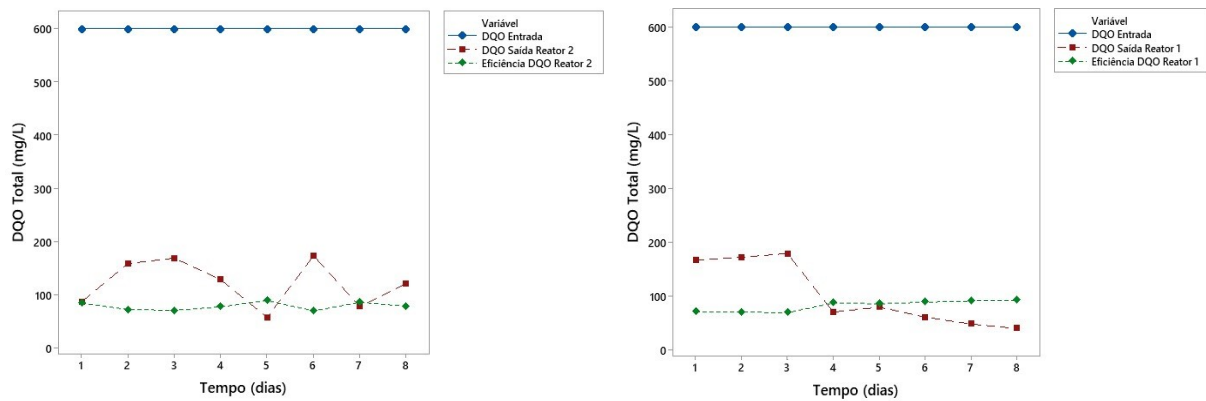


Fonte: Próprio autor (2019).

Em relação à DQO do reator 1 pode-se notar que houve uma melhora em termos de remoção de matéria orgânica. O comportamento do reator 2 variou mais em relação ao tempo e apresentou eficiência na remoção mesmo com as variações. Em termos de DBO os reatores variaram de forma similar. As análises de DQO e de DBO da água residuária tratado final são eficientes na remoção da matéria orgânica e atendem a legislação. A

Figura 21 é a relação de DQO total em relação aos valores de entrada e saída para o reator e sua eficiência.

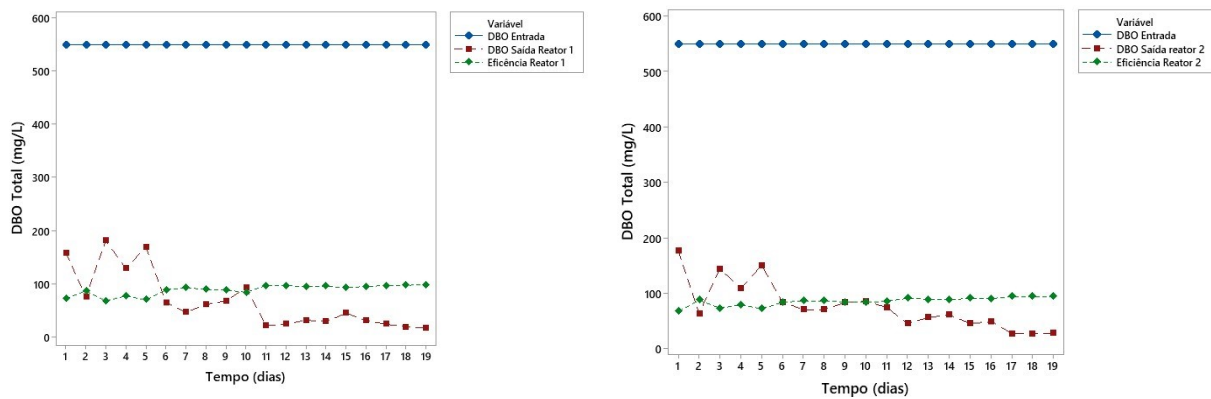
**Figura 21- DQO Total R1 e R2**



Fonte: Próprio autor (2019).

A Figura 22 é a relação de DBO total em relação aos valores de entrada e saída para o reator e sua eficiência.

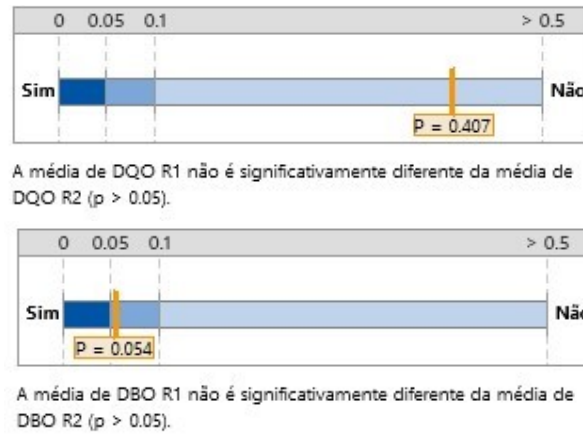
**Figura 22- DBO Total R1 e R2**



Fonte: Próprio autor (2019).

Os reatores não apresentaram diferença significativa em termos de remoção de DQO e DBO, como é possível observar através do p valor da Figura 23.

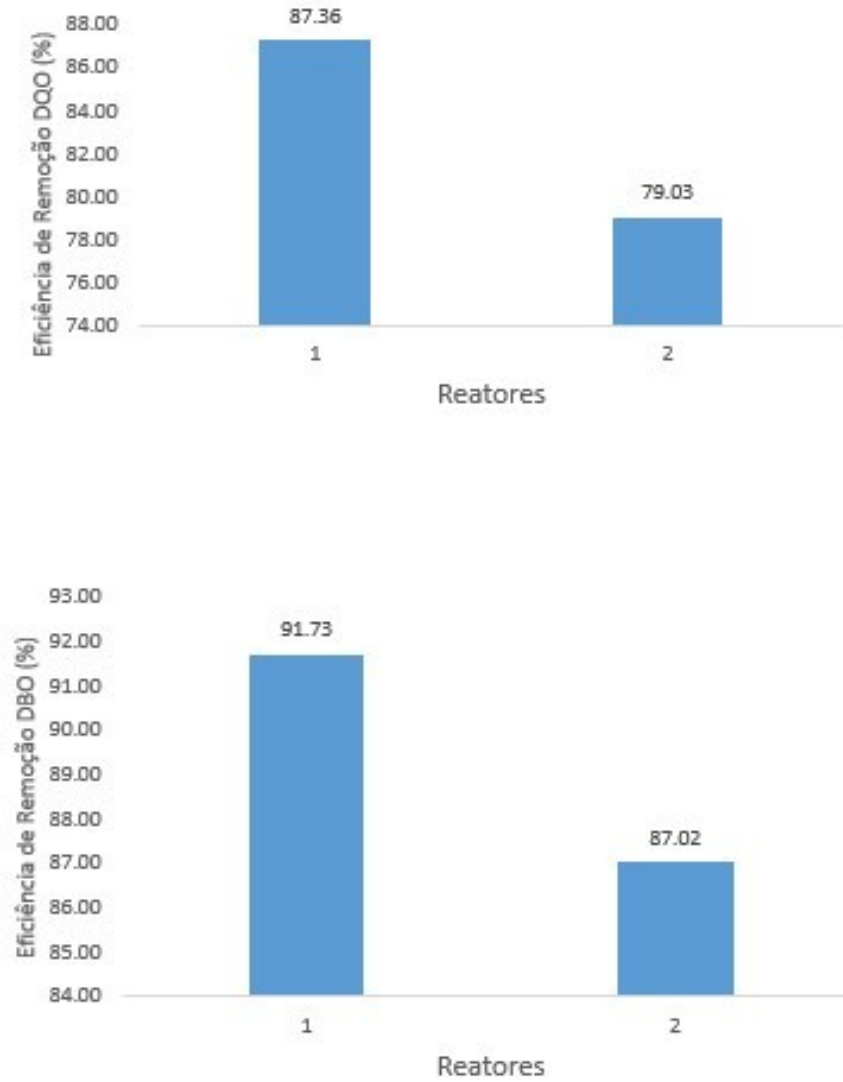
**Figura 23- Teste t pareado para DQO e DBO R1 e R2**



Fonte: Próprio autor (2019).

Os dois reatores foram submetidos as mesmas variáveis e operados da mesma forma, porém a eficiência em termos de DQO e DBO foram um pouco diferentes em cada reator. O reator 1 apresentou uma eficiência um pouco melhor em relação ao reator 2. Mas para testar se eles são estatisticamente diferentes outros testes são necessários (Figura 24).

Figura 24- Eficiência em termos de DQO e DBO

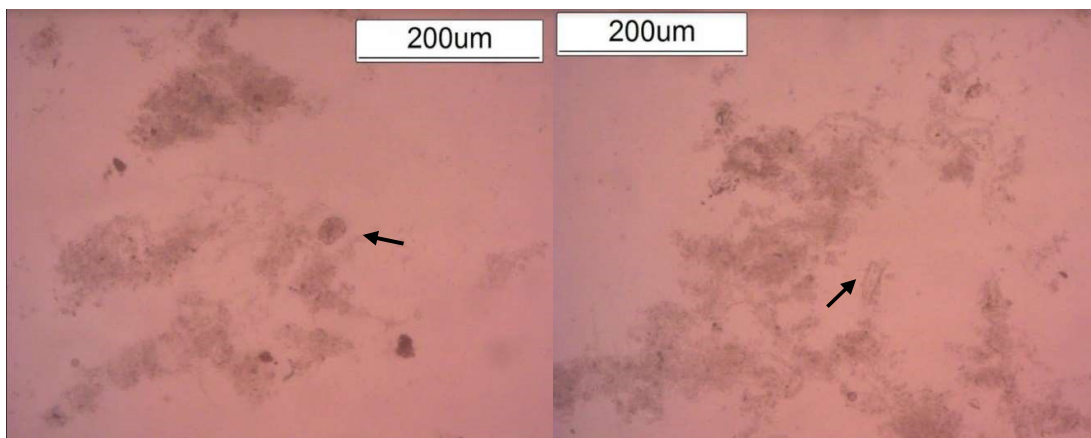


Fonte: Próprio autor (2019).

## 5.5 FORMAÇÃO DOS FLOCOS NO REATOR

O inoculo foi enriquecido em caldo Casoy e adicionado ao sistema dos reatores 1 e 2. Na (Figura 25) é possível observar flocos que formam o consórcio de microrganismos (bactérias, protozoários e micrometazoários). A característica inicial do lodo apresentou pouca variação e uma abundância da microfauna.

Figura 25- Inoculo do lodo utilizados nos reatores



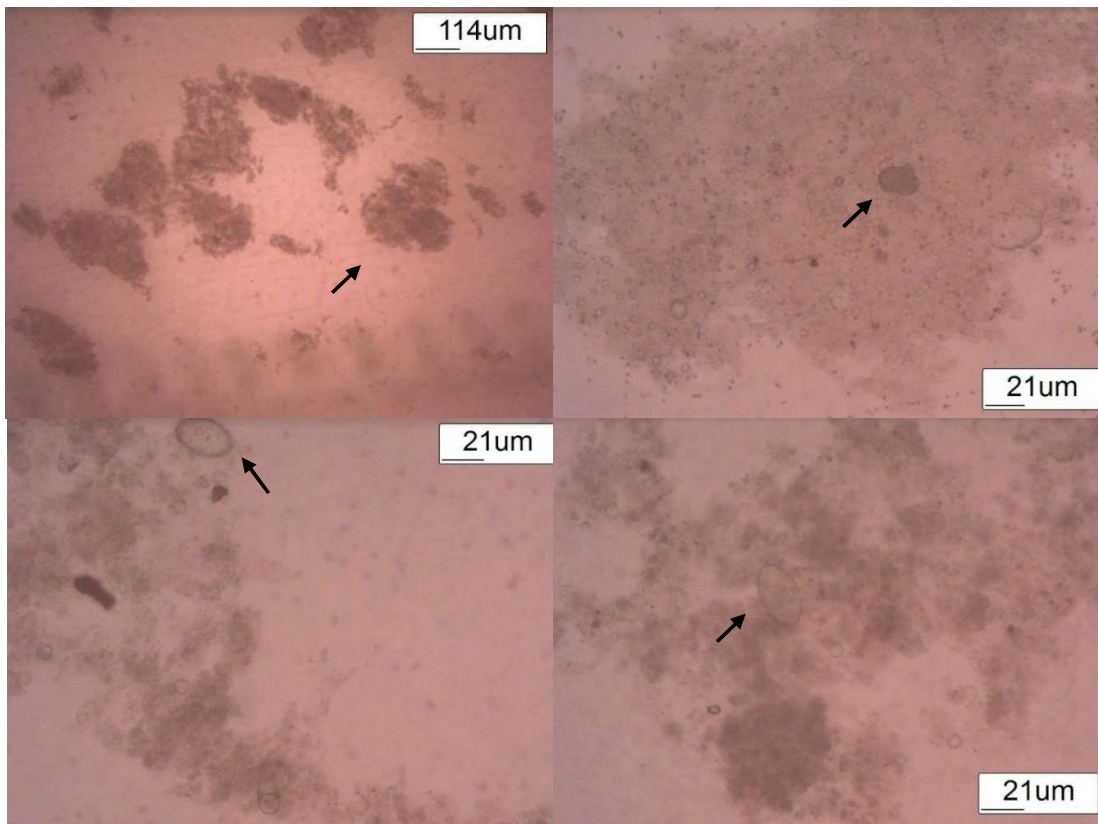
Fonte: Próprio autor (2019).

Não foi possível fazer identificações a nível de espécie, mas durante as observações foi possível identificar o esqueleto do floco como descrito na literatura e alguns protozoários com formas das células bem variadas.

### REATOR 1

Ao longo do período estudado foi possível observar a formação dos flocos no reator, porém o tempo não foi suficiente para apresentar a formação de flocos maduros. No reator 1 (Figura 26), é possível observar os flocos mais agregados e os protozoários, evidenciando que os tratamentos biológicos envolvem microrganismos em todas as etapas, e que os principais microrganismos envolvidos na estabilização aeróbia são as bactérias, protozoários e metazoários.

**Figura 26 - Lodo reator 1**



Fonte: Próprio autor (2019).

Houve uma diminuição de biomassa no reator durante os dias de análise e alguns microrganismos que foram vistos no inoculo não foram mais observados nos reatores, porém essa variação de concentração de biomassa não afetou o sistema de forma negativa. Uma avaliação populacional microbiana foi realizada comparando as imagens obtidas por microscopia com outros trabalhos que caracterizam o lodo em sistemas de lodo ativado especialmente os sistemas de RBS.

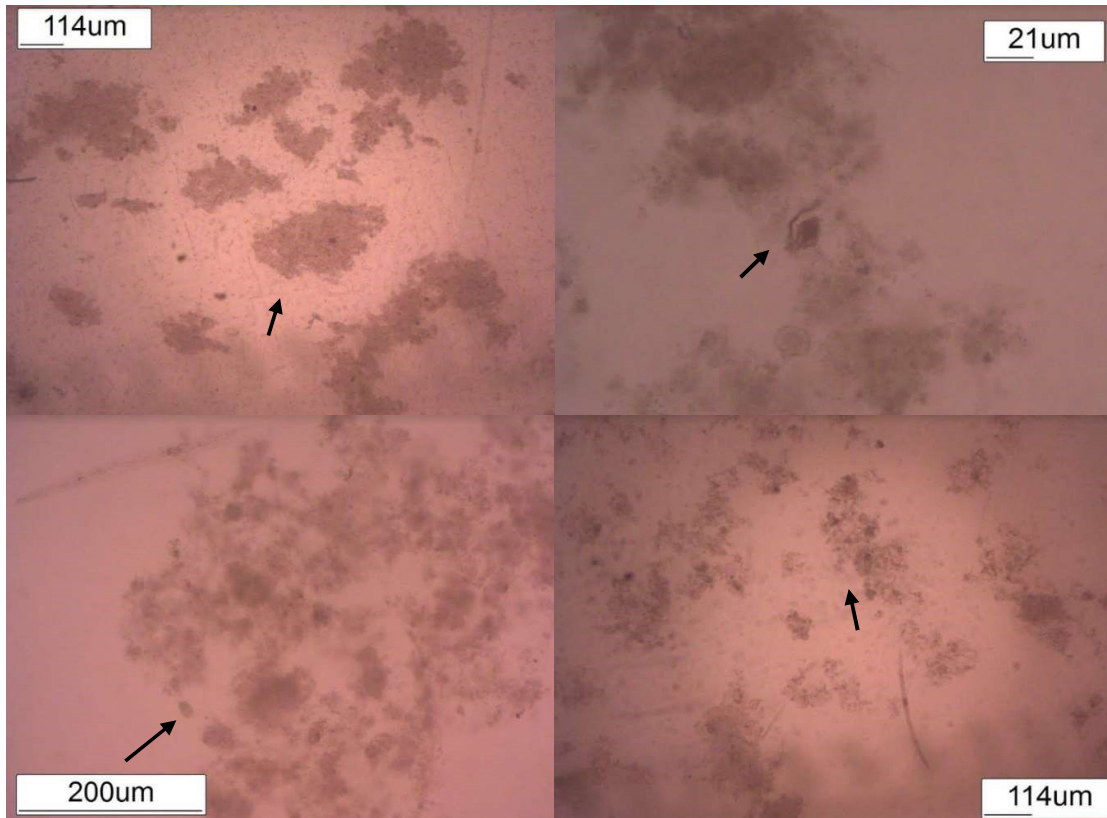
Segundo Santos et al. (2015), a presença de certos tipos de protozoários (flagelados), como por exemplo, *Opercularia* sp e *Vorticella*, indicam um sistema eficiente. Foi possível observar nos reatores 1 e 2 protozoários não só flagelados como também fixos.



## REATOR 2

Segundo Geraldi (2006), a formação do floco em processo de lodos ativados é essencial para o seu correto crescimento, é possível observar que no reator 2 os flocos estão se formando, permitindo o agregado de bactérias e protozoários (Figura 27).

Figura 27- Lodo reator 2



Fonte: Próprio autor (2019).

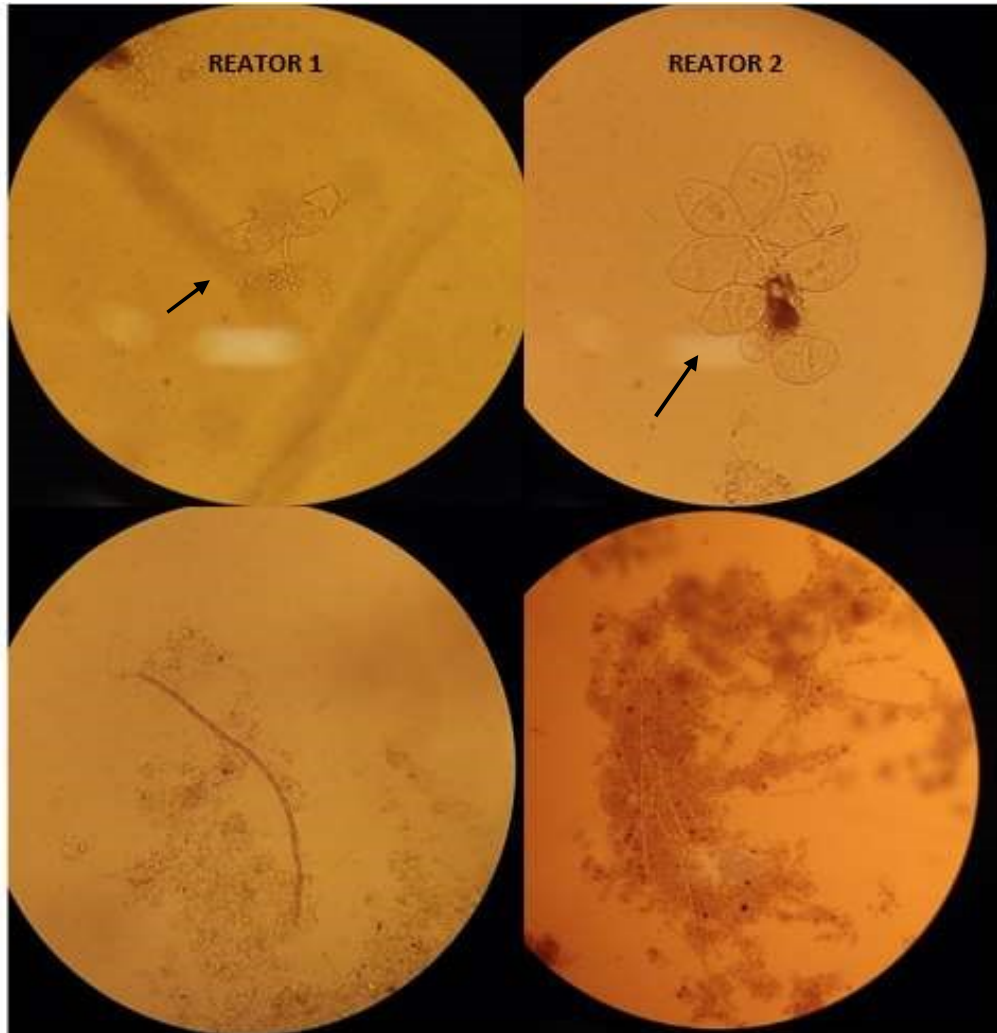
## PROTOZOÁRIOS DO LODO

A Figura 28 apresenta alguns protozoários que foram observados no lodo e que são fundamentais para manter o bom funcionamento do sistema. É possível observar colônias e protozoários livres. Os protozoários alimentam-se de bactérias, de outros protozoários e de matéria orgânica dissolvida e particulada, por isso são importantes dentro do sistema (BENTO et al.; 2003; Mickinney, 2004).

Os protozoários ciliados são um importante grupo de protozoários em processos de lodos ativados, Madoni (1994) relaciona as condições operacionais do sistema de lodos ativados com os protozoários predominantes encontrados nos tanques. Pode-se observar

então que os testes que chegaram na configuração do reator atual estão permitindo o crescimento dos flocos e mantendo o equilíbrio do sistema.

**Figura 28- Protozoários dos reatores**



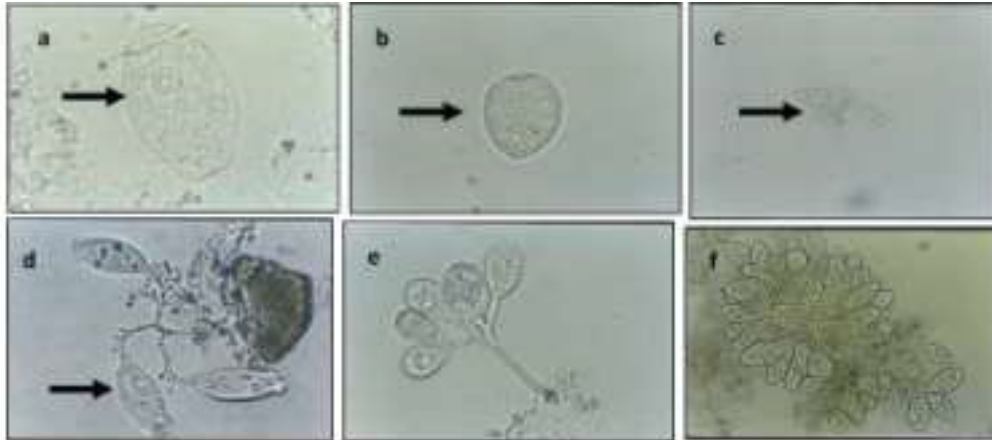
Fonte: Próprio autor (2019).

O objetivo desse estudo não foi identificar com precisão a microfauna existente no lodo nessa fase de implementação, mas dentro das perspectivas futuras seria interessante caracterizar o lodo de forma mais aprofundada como ferramenta de operação para que o sistema tenha uma excelência no tratamento.

Ao comparar este estudo com outros trabalhos e com a literatura, foi possível observar semelhança em alguns microrganismos presentes nos reatores com outros sistemas de lodos ativados na conformação RBS. Exemplo de microrganismos ciliados livres

semelhante a *Monodinium* sp, *Chilodonella* sp, *Opercularia coarctata* e também colônias pedunculadas semelhantes a *Opercularia p* e colônia de ciliados fixos semelhantes a *Epistylis* sp. A Figura 29 apresenta esses microrganismos encontrados no trabalho de (Santos, Lucrécio & Paiva, Teresa & Silva, Flávio; 2015) e foi um dos textos base para o referencial teórico deste estudo.

**Figura 29 - Microbiota encontrada por Santos, L (2015)**



Fonte: (SANTOS, PAIVA & SILVA)

Como observado de forma semelhante alguns microrganismos dessa microbiota foram observados nesse estudo. A observação microscópica de formas de vida no lodo ativado é prática comum e muito difundida, mas para caracterizar todos organismos presentes no sistema metodologias mais detalhadas devem ser utilizadas.

## **6. CONCLUSÃO**

Os testes preliminares foram importantes para garantir um bom desempenho e eficiência na otimização do processo da pesquisa. Implementar testes padronizados de bancada podem auxiliar nas pesquisas e melhorar a eficiência em relação ao tempo e nos resultados.

Foi possível observar também alguns problemas em relação a configuração dos reatores iniciais. Esses problemas podem ser investigados de forma mais aprofundada no que diz respeito a caracterização da água residuária utilizada, mas também em relação a forma de cada reator testado.

A configuração do reator que apresentou melhores resultados evidenciou eficiência durante o processo nos dias operados e conseqüentemente eficiência na remoção da

matéria orgânica em termos de DQO e DBO. A caracterização da água residuária tratada estava dentro dos padrões de qualidade estipulados pela legislação.

A caracterização da microfauna do lodo, ou seja, conhecer a população microbiana é fundamental e foi possível observar os consórcios através das imagens obtidas das microscopias. As imagens indicam o processo descrito na literatura, evidenciando a importância do consórcio para o tratamento de águas residuárias e como a microbiologia é importante durante todas as etapas do tratamento.

Os exames microscópios ajudam avaliar as condições de biomassa e sedimentabilidade do lodo, mas são limitados em detalhar a microbiota bacteriana. Novos trabalhos podem ser desenvolvidos para melhorar a técnica de caracterização e utilizar ferramentas moleculares para identificar os microrganismos de forma mais abundante e assim conhecer melhor o processo individualizado que cada um realiza dentro do sistema. As medidas de controle operacional demonstraram ser importantes para fazer o controle do sistema. Os valores médios obtidos para pH e temperatura estavam dentro do esperado e o OD ainda está sendo estabilizado no sistema, esses parâmetros são importantes para acompanhar de forma rápida e precisa se há ou não um desequilíbrio no sistema, tal controle pode ajudar nas medidas de restabelecimento do equilíbrio se forem corrigidos os problemas.

Não houve diferença significativa entre os reatores 1 e 2, embora ocorra algumas alterações os reatores não apresentaram diferença quando feito a estatística através do teste t pareado realizado no Minitab entre os dois sistemas.

Pode-se concluir que o RBS se apresentou estável do dia 01 de maio até dia 20 de maio, diminuindo as concentrações de matéria orgânica, as características hidráulicas do reator podem ser melhoradas afim de determinar a relação Alimento/Microrganismo de forma mais precisa para que a biomassa atinja valores maiores de sólidos melhorando a condição do lodo para implementar a tecnologia de grânulos aeróbios no sistema do RBS, que é uma alternativa mais atual do sistema de lodos ativados e que veem sendo estudada como uma variante interessante e que é um dos objetivos no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto .

A implementação de teste de bancada no Laboratório de Saneamento Ambiental, foi uma proposta de ajustar a melhor configuração para o sistema e contornar a instabilidade descrita. Por isso, a proposta é continuar com o reator em operação para

tentar implementar um sistema de grânulos aeróbios com microalgas que seja estável e que possa trazer perspectivas para essa tecnologia.

Por fim pode-se concluir que este trabalho cumpriu com a proposta de definir qual o melhor modelo de reator para continuar o trabalho de granulação aeróbia dentro das propostas do laboratório de saneamento ambiental e das futuras pesquisas, a estabilização do reator foi realizada através das análises de desempenho e foi possível observar a formação dos flocos nos dois reatores operados.

## **7. REFERÊNCIAS**

ALBUQUERQUE, Guilherme. Estruturas de financiamento aplicáveis ao setor de saneamento básico. BNDES Setorial nº 34, p. 45-94. Rio de Janeiro, setembro de 2011.

ARTAN, N., ORHON, D. Mechanism and design of sequencing batch reactors for nutrient removal. Scientific and Technical Report No. 19, London: IWA Publishing, 2005. 100 p.

ARTAN, N., WILDERER, P., ORHON, D., MORGENROTH, E., ÖZGÜR, N. The mechanism and design of sequencing batch reactor 167 systems for nutrient removal – the state of the art. Water Science and Technology, 2001.

BASSIN, J.P. Tecnologia de granulação aeróbia (lodo granular aeróbio). In: DEZOTTI, M., SANT'ANNA JR., G.L., BASSIN, J.P. (Org.). Processos biológicos avançados para tratamento de efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011, p. 91-170.

BASSIN, J.P., KLEEREBEZEM, R., DEZOTTI, M., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. Simultaneous nitrogen and phosphate removal in aerobic granular sludge reactors operated at different temperatures. Water Research, 2012.

BENTO, A.P. et al. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005

CHEN, F., XIA, Q., JU, L.K. Aerobic denitrification of *Pseudomonas aeruginosa* monitored by online NAD(P)H fluorescence. Applied and Environmental Microbiology, 2003.

CHEN, F.Y., LIU, Y.Q., TAY, J.H., NING, P. Operational strategies for nitrogen removal in granular sequencing batch reactor. Journal of Hazardous Materials, 2011.

CHEN, F.Y., LIU, Y.Q., TAY, J.H., NING, P. Operational strategies for nitrogen removal in granular sequencing batch reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 189: 342-348, 2011.

CHISTI, 1999a; García Camacho et al., 2001, 2007; Sánchez Mirón et al., 2003; Mazzuca Sobczuk et al., 2006)

CYBIS, L.F., PINTO, C.R.R. Protozoários e metazoários presentes em reatores sequenciais em batelada (RSB) observados no processo de nitrificação. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais. Fóz do Iguaçu: ABES, p. 793-802. 1997.

DAVIES, P.S. *The biological basis of wastewater treatment*. Glasgow, UK: Strathkelvin Instrument Ltd, 2005.

FERNANDO, N.L., FEDORAK, P.M. Changes at art actived sludge sewage treatment plant alter the numbers of airborne aerobic microorganisms. *Water Research*, v. 39, p.4597-4608, 2005.

FONSECA, A. & FRANCISCO. J. Um esquecido marco do saneamento no Brasil: o Sistema de águas e esgoto de Ouro Preto (1887-1890). *Hist. cienc. Saúde-Manguinhos* vol. 13 no.1 Rio de Janeiro Jan/Mar. 2010.

GERARDI, M. H. *Troubleshooting the sequencing batch reactor*. 1ª Edição. New Jersey: John Wiley and Sons, 2010. 216 p.

GERARDI, M. H. *Wastewater microbiology: nitrification and denitrification in the activated sludge process*. 1a Edição. New York: John Wiley and Sons, 2002. 208 p.

GERARDI, M.H. An operator's guide to protozoa and their role in the activated sludge process. *Public Works*, p. 44-47/90-92, July. 1986.

GERARDI, M.H. *Wastewater Bacteria*. 1a Edição. New Jersey: John Wiley and Sons, 2006. 267 p.

GRADY, C.P.L, DAIGGER, G.T., LIM, H.C. *Biological Wastewater Treatment*. 2a Edição. Florida: Taylor & Francis Group. Boca Raton, 1999.

HOFFMANN, H. Caracterização do funcionamento de ETE do tipo lodo ativado via imagem microscópica – estudo na Região da Grande Florianópolis. In: XI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – SILUBESA. Anais, ABES, Natal, RN, 2004. CD ROM.

HOFFMANN, H., PLATZER, C. Aplicação de imagens microscópicas do lodo ativado para a detecção de problemas de funcionamento das estações de tratamento de esgotos na

Alemanha. In: I SEMINÁRIO DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO, Anais... Universidade Federal do Espírito Santo, p. 108-120. 2000.

JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 4.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.

K. Mishima & M. Nakamura. Self-Immobilization of Aerobic Activated Sludge—A Pilot Study of the Aerobic Upflow Sludge Blanket Process in Municipal Sewage Treatment. *Water Sci Technol* (1991) 23 (4-6): 981-990.

KONG, Y., LIU, Y.Q., TAY, J.H., WONG, F.S., ZHU, J. Aerobic granulation in sequencing batch reactors with different reactor height/diameter ratios. *Enzyme and Microbial Technology*, 45: 379- 383, 2009.

LEE, D.J., CHEN, Y.Y., SHOW, K.Y., WHITELEY, C.G., TAY, J.H. Advances in aerobic granule formation and granule stability in the course of storage and reactor operation. *Biotechnology Advances*, 2010.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MUNOZ, R. and GUIEYSSE, B. (2006) Algal-Bacterial Processes for the Treatment of Hazardous Contaminants: A Review. *Water Research*, 40, 2799-2815.

NUNES, Victor Reis de Santiago. O setor de saneamento básico no Brasil: Desafios e perspectivas. Monografia. Curso de Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, 2015. Disponível em: Acesso em: 27 novembro. 2018.

OLIVEIRA, M. A.; REIS, E. M.; NOZAKI, J. Biological treatment of wastewater from the cassava meal industry. *Environmental Research Section A*, v. 85, p. 177-183, 2001.

PICKBRENNER, K. Uso de reator sequencial em batelada (RSB) para póstratamento de efluente de reator anaeróbio. 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROLNIK, R. & KLINK, J. Crescimento econômico e desenvolvimento urbano: por que nossas cidades continuam tão precárias? *Novos estud. - CEBRAP* [online]. 2011, n.89, pp.89-109. ISSN 0101-3300. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002011000100006>.

SANTOS, E.M.A. et al. Influência do tempo de detenção hidráulica em um sistema UASB seguido de um reator biológico com fungos para tratar efluentes de indústria de castanha de caju. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 39, 2006.

Santos, Lucrécio & Paiva, Teresa & Silva, Flávio. MICRORGANISMOS ENCONTRADOS NO SISTEMA DE LODOS ATIVADOS APLICADO AO TRATAMENTO DO LICOR NEGRO. 8071-8078. 10.5151/chemeng-cobeq2014-102421524-141359; (2005).

SINGH, M., SRIVASTAVA, R.K. Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment: a review. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*,

SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 18, p. 1713-1724, 2002.

SOUZA, C.M.N.; FREITAS, C.M.; MORAES, L.R.S. Discursos sobre a relação saneamento-saúde-ambiente na legislação: uma análise de conceitos e diretrizes. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 4, p. 371-379, 2007.

SOUZA, Carla Núbia de. Tratamento primário de efluentes brutos de curtume quimicamente aprimorado por sedimentação. Campo Grande, 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

VAZOLLÉR, R. F. Microbiologia de Lodos Ativados. Séries Manuais - CETESB, 23 p., 1989.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.4. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais, 2002. 428

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgoto. Minas Gerais: UFMG, 1996)

VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C.A.L. A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality criteria standards. In: xxvii interamerican congress of sanitary and environmental engineering, Porto Alegre. Anais, Porto Alegre: AIDIS, 2000.



ZHU, L., DAI, X., LV, M., XU, X. Correlation analysis of major control factors for the formation and stabilization of aerobic granule. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013.