

**INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SUL DE MINAS GERAIS**  
Campus Inconfidentes

**ISABEL RÉDUA CABRAL**

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO SOBRE LODOS  
ATIVADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA**

**INCONFIDENTES – MG**

**2017**

**ISABEL RÉDUA CABRAL**

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO SOBRE LODOS  
ATIVADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA**

Projeto Final de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso de Engenharia de Alimentos do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais Câmpus Inconfidentes para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

**Orientador: Oswaldo Kameyama**

**INCONFIDENTES - MG**

**2017**

**ISABEL RÉDUA CABRAL**

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO SOBRE LODOS  
ATIVADOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA**

Data de aprovação: \_\_\_\_\_ de outubro de 2017

---

Oswaldo Kameyama – IF Sul de Minas

---

Luciana Della Coletta – IF Sul de Minas

---

Eduardo de Oliveira Rodrigues – IF Sul de Minas

**INCONFIDENTES – MG**

**2017**

## RESUMO

CABRAL, I. R. **Avaliação da aplicação de campo magnético sobre lodo ativado no tratamento de água residuária.** Projeto de Final de Curso (Bacharel em Engenharia de Alimentos). Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Inconfidentes. Inconfidentes, MG, 2017.

Os resíduos de uma indústria precisam de tratamento adequado para remoção da carga orgânica sem haver poluição de rios e lagos. Estudos mostram a aplicação de campo magnético em processos microbiológicos devido o baixo custo, o não uso de energia elétrica e o processo limpo. O presente trabalho foi avaliado em duas intensidades de campo magnético sobre o tratamento de águas residuárias por lodo ativado. O experimento foi feito em sistema de batelada, com vazão em regime laminar, uso de água residuária sintética e magnetizador de indução variável gerando no mínimo 50 Gauss e no máximo 200 Gauss dependendo da distância entre a tubulação e os magnetos. Todos os experimentos foram analisados quanto ao pH, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e DQO. Os resultados foram comparados ao controle. Observou-se que a remoção de DQO não foi significativa, a velocidade de remoção de DQO aumentou ligeiramente, o pH aumentou e a concentração de sólidos totais e voláteis aumentaram. Conclui-se que as intensidades aplicadas de campo magnético não foram significativas para o estudo e que seriam necessários mais estudos com intensidades maiores.

**Palavras-chave:** lodo ativado, campo magnético, água residuária.

## ABSTRACT

CABRAL, I. R. **Evaluation of the magnetic field application on the activated sludge in the treatment of wastewater.** Final Project of Degree (Bachelor of Science in Food Engineering). Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Câmpus Inconfidentes. Inconfidentes, MG, 2017.

Industry wastes needs real treatment to remove the organic load without pollution of rivers and lakes. Studies show the application of magnetic field in microbiological processes due to the low cost, the non-use of electric energy and the clean process. The present work was evaluated in two intensities of magnetic field on the treatment of wastewater by activated sludge. The experiment was carried out in a batching system, with flow rate, use of synthetic wastewater and variable induction magnetizer generating at least 50 Gauss and at most 200 Gauss depending on the distance between the pipes and the magnets. All the experiments were analyzed for pH, Total Solids, Volatile Solids and COD. The results were compared to the control. It was observed that the removal of COD was not significant, the COD removal speed increased slightly, the pH increased, and the concentration of total and volatile solids increased. Therefore, the applied magnetic field intensities were not significant for the study and more studies with superior intensities would be necessary.

**Keywords:** activated sludge, magnetic field, waste water

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
3.1. ÁGUA	4
3.1.1. Água para Indústria	5
3.1.2. Águas Residuárias	5
3.1.3. Legislação sobre uso da água	6
3.1.4. Poluição e Autodepuração	7
3.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	8
3.2.1. Classificação do tratamento	9
3.3. SISTEMA DE LODOS ATIVADOS	9
3.3.1. Lodo ativado em batelada	10
3.3.2. Microbiologia dos lodos ativados	11
3.3.2.1. Bactérias	13
3.3.2.2. Fungos	14
3.3.2.3. Protozoários	14
3.3.2.4. Metazoários	15
3.4. CAMPO MAGNÉTICO	16
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>20</b>
4.1. LODO ATIVADO	20
4.2. ÁGUA RESIDUÁRIA	21
4.3. OPERAÇÃO DO BIORREATOR	22
4.4. METODOLOGIA ANALÍTICA	23
4.4.1. pH	23
4.4.2. Demanda Química de Oxigênio	23
4.4.3. Sólidos Totais	24
4.4.4. Sólidos Totais Fixos	24
4.4.5. Sólidos Totais Voláteis	25
4.5. Cálculos e análise estatística dos resultados	25
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>26</b>
5.1. Remoção de DQO	27
5.2. ph	30
5.3. Sólidos Totais e sólidos voláteis	31
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>33</b>
<b>7. SUGESTÕES</b>	<b>34</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>35</b>

À meus pais Abnério e Keila.  
À minhas irmãs Débora e Priscila.  
Aos meus amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

À meus pais pelo ensinamento da excelência em todas as coisas.

À minhas irmãs por incentivarem e aconselharem sempre.

Aos amigos de faculdade que estiveram presente e sendo suporte, principalmente, Yolanda Campos, Mariana Amaral, Sâmia Bou Ali, Cléo Simões, João Ricardo Roncato, Gabriel Guedes e Abdiel Lurian.

À turma de Engenharia de Alimentos 2013 durante todos esses anos de graduação.

Aos professores e servidores do IF Sul de Minas que participaram e influenciaram a minha formação acadêmica.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

À Deus pela vida, cuidado, amor e paz.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Microrganismos indicadores das condições de operação do tratamento de águas residuárias por lodos ativados.....	12
Tabela 2 - Gêneros presentes nos lodos ativados e reações pelas quais são responsáveis .....	13
Tabela 3 - Desempenho do sistema de lodos ativados e relação com o grupo predominante de protozoários .....	15
Tabela 4 – Sistema de adaptação do lodo ativado .....	21
Tabela 5 - Composição do meio a ser utilizado como água residuária .....	21
Tabela 6 - Valores de DQO inicial e final para cada tratamento.....	26
Tabela 7 - Valores de pH inicial e final para cada tratamento .....	26
Tabela 8 - Valores de sólidos totais inicial e final para cada tratamento .....	26
Tabela 9 - Valores de sólidos totais fixos inicial e final para cada tratamento .....	27
Tabela 10 - Valores de sólidos voláteis inicial e final para cada tratamento.....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Direção do campo magnético construído pelas linhas em torno de um ímã. ....	16
Figura 2 – Figura esquemática do biorreator a ser utilizado, com aplicação de campos magnéticos.....	22
Figura 3 – Foto do magnetizador de indução variável em sua maior distância do tubo de circulação o que acarreta um campo de 50 Gauss. ....	23
Figura 4 – Porcentagem de remoção de DQO para os tratamentos estudados. ....	27
Figura 5 – Determinação da velocidade de remoção de DQO pela técnica da velocidade inicial. ....	28
Figura 6 - Acompanhamento do pH durante o experimento para os tratamentos estudados. ..	30
Figura 7 - Acompanhamento da concentração de sólidos totais para cada tratamento .....	31
Figura 8 - Acompanhamento de Sólidos Voláteis para os tratamentos estudados .....	32

# 1. INTRODUÇÃO

O planeta possui apenas 3% de toda sua água doce, desses apenas 0,3% estão dispostas em rios, lagos ou lagoas. Desse montante, as indústrias e a produção agrícola representam juntas cerca de 90% do consumo de água (REBOUÇAS et al., 2006; LIBÂNIO, 2005). No setor industrial, a indústria de alimentos é uma das que mais consomem água e em seu consumo está um grande problema e desafio, uma vez que apresenta grande poder poluidor da água utilizada devido aos resíduos com substâncias orgânicas, nutrientes, sólidos, óleos e graxas (THEBALDI et al., 2011).

Desta forma é necessário que se faça o tratamento adequado de remoção da carga orgânica para que os efluentes das agroindústrias possam ser lançados em rios e lagos (THEBALDI et al., 2011). Nesse sentido, há a necessidade e a preocupação de manusear os resíduos de forma sustentável, promovendo a diminuição do uso de energia e também buscando novas técnicas que substituam o uso de recursos não renováveis (SOERGER; OLIVEIRA; MORAES, 2016).

Os tratamentos das águas podem ser biológicos, químicos ou físicos (CARVALHO et al. 2014). Mais especificamente, segundo Von Sperling (2005), o tratamento pode ser classificado em quatro etapas: preliminar, primário, secundário e terciário.

O tratamento mais adequado para a água proveniente do processamento de alimentos, em geral, é o biológico, tendo em vista que os principais componentes contaminantes dessa água são de origem orgânica. Nesse caso o sistema de lodo ativado é um sistema com alta

eficiência e que pode ser aplicado (von SPERLING, 2005; CASTRO; PINHEIRO; GINORIS, 2011; REIS; MENDONÇA, 2014).

O tratamento biológico de águas residuárias fundamenta-se na capacidade dos microrganismos de utilizarem os compostos orgânicos biodegradáveis, transformando-os em substâncias que podem ser removidas do sistema de tratamento, como lodo biológico, água e gases (CHERNICHARO, 1997). A composição de microrganismos neste tipo de tratamento apresenta grande diversidade em sua composição microbiológica, sendo composto por bactérias, fungos, protozoários, rotíferos e microcrustáceos, entre outros que representam o estado que o lodo se encontra durante o tratamento (BITTON, 1994; RITTMAN; McCARTY, 2001; BENTO et al., 2005; OLIVEIRA; ARAÚJO; FERNANDES, 2009; YANO; GOMES, 2013).

O campo magnético é o deslocamento entre cargas elétricas gerando força magnética para atrair outras cargas (MOURA, 2012). Este tratamento pode ser aplicado em diversos processos que envolvem microrganismos (KUROZAWA; COSTA, 2014) e apresenta-se com baixo custo, não usa energia elétrica e é processo limpo (ZIN, 2014).

Estudos da aplicação de campo magnético já são feitos em diversos seguimentos, como: carnes frescas moídas (LINS, 2011), fermentação da cerveja (DEUTMEYER et al., 2011; VILLALPANDA; ALMAGUER; FIALLO, 2012; VILLALPANDA et al., 2013), adsorção do Pb (II) (DUAN; GUO; YANG, 2012), ultrafiltração de alimentos ricos em proteínas (ZIN, 2014) e outros.

O uso de campos magnéticos ainda é algo muito incomum, já que se desconhece seu mecanismo de ação, condições limites e a existência de contradições entre resultados de pesquisas que concluem que o efeito pode ser positivo, negativo ou indiferente (ANSCHAU; SANTOS, 2014).

O uso das fontes de águas de forma correta e o tratamento de águas residuárias estão entre os assuntos mais relevantes na atualidade e requerem grande atenção. Desta forma a busca por tecnologias e processos que almejem a otimização do tratamento de efluentes de indústrias, entre elas a indústria de alimentos, são de fundamental importância.

Diante disto, este trabalho teve como objetivo analisar a aplicação de campo magnético em tratamento de resíduos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar o efeito de diferentes intensidades de campo magnético sobre o tratamento de águas residuária por lodo ativado.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar o efeito do campo magnético com intensidades de 50 e 200 Gauss sobre a eficiência de remoção de DQO em um sistema de lodo ativado;
- Avaliar o efeito de diferentes campos magnéticos sob o pH durante o tratamento biológico por lodo ativado;
- Analisar o comportamento do aumento da biomassa quando submetido à aplicação de campo magnético.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. ÁGUA**

A água é fundamental para a existência de homens e de animais, onde é distribuída na Terra em água salgada (97%) e água doce (3%). O consumo humano é feito por água doce e apenas 3% apresentam fácil extração, assim é necessária a preservação de recursos hídricos e a não contaminação da pequena porcentagem que pode ser extraída (LIBÂNIO, 2005; REBOUÇAS et al., 2006; MARTINS, ANDRADE e SILVA, 2015).

A qualidade da água é influenciada pelas condições naturais e pela interferência do homem. As condições naturais são eventos naturais como, enchentes, terremotos, erosão, que acontecem na cobertura e na composição do solo, enquanto a interferência do homem está relacionada com o uso e o modo de ocupação do solo. Além disso, a qualidade da água dependerá de onde provém a água e para o que será utilizada (von SPERLING, 2005).

O uso da água é bem amplo, podendo ser usada em abastecimento doméstico e industrial, irrigação, preservação da fauna e flora, navegação, geração de energia elétrica. Von Sperling (2005) mostra que devido ao extenso uso da água precisa-se saber o grau de pureza da água por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, detalhados a seguir:

- Físicos: sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos) e gases;
- Químicos: inorgânicos e orgânicos (matéria em decomposição);
- Biológicos: seres vivos (animais, vegetais, protistas/moneras).

### 3.1.1. Água para Indústria

A indústria consome 20% do total de água, enquanto o abastecimento doméstico cerca de 10% e o setor agropecuário consome 70% (LIBÂNIO, 2005; REBOUÇAS et al., 2006). No setor industrial, a indústria de alimentos é uma das que mais consomem água e em seu consumo está um grande problema e desafio, uma vez que apresenta grande poder poluidor da água utilizada devido aos resíduos com substâncias orgânicas, nutrientes, sólidos, óleos e graxas (THEBALDI et al., 2011).

O uso de água potável dentro da indústria de alimentos é essencial, tanto para a sanitização como para a produção dos produtos. A maioria das vezes a água não está fora das condições ideais, mas serve como transporte para microrganismos patogênicos podendo contaminar o produto da indústria (KAMIYAMA e OTENIO, 2013).

Estima-se que as indústrias brasileiras consomem 18% de água e se houver restrição de consumo, as indústrias podem perder licença de operar, aumentar o custo de produção ou ainda ocasionar problemas para comunidade (OLIVERIA et al., 2016).

### 3.1.2. Águas Residuárias

Segundo Batista, Queiroz e Oliveira (2014), águas residuárias são águas que possuem origem no pós-uso em diversas atividades com o fim em tanques sépticos, digestores aeróbios e/ou anaeróbios, lagoas de estabilização e em tratamento de esgotos. E ainda, apresentam problema de impacto ambiental se não for destinada corretamente e podem ser reutilizadas devido ao grande volume de água desde que seja tratada e monitorada para que seja usada em locais que possa utilizar água de baixa qualidade.

Já Carvalho et al. (2014) definem que águas residuárias são águas que são utilizadas em ambientes industriais e domésticos, podendo ser reutilizadas de diferentes formas: indireto não-planejado da água, indireto planejado da água, direto planejado das águas e reciclagem das águas.

As águas residuárias são altamente poluentes para corpos hídricos, podendo causar desestabilização de ecossistemas aquáticos e impactos negativos ao ambiente, pois aumentam a demanda de oxigênio e a carga de nutrientes. Com isso, o lançamento dessas águas deve ser

feito em locais hídricos que façam a autodepuração sem prejuízo ou não se deve lançar sem antes ser feito tratamento (THEBALDI et al., 2011).

A análise química de efluentes com grande quantidade e diversidade de compostos orgânicos é quase impossível de se fazer, então constituíram os indicadores globais de poluição como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT), os quais não são necessários se conhecer a composição química do efluente e avalia a concentração dos contaminantes (RAMALHO, 2009; CAMMAROTA, 2011).

Ramalho (2009) e Cammarota (2011) caracterizam:

- **DBO**: indica o teor de matéria orgânica biodegradável que se apresenta no efluente, expressa em mg de O<sub>2</sub>/L. Incubam-se as amostras durante 5 dias a 20°C para que o material inorgânico, Fe<sup>2+</sup> e S, seja oxidado imediatamente e as formas reduzidas de nitrogênio, amônia e nitrito, possam ser oxidadas.

- **DQO**: Demanda Química de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio usado para oxidar a fração orgânica de uma amostra que foi submetida à oxidação de um composto forte em meio ácido, expressa em mg de O<sub>2</sub>/L. O resultado é obtido por espectrofotometria do Cr<sup>3+</sup> gerado na redução do Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, após destruir a matéria orgânica pela mistura de ácidos crômico e sulfúrico em ebulição durante 2 horas. Apresenta as vantagens de tempo em relação ao teste de DBO e obter resultado da quantidade de oxigênio usada para estabilizar a matéria orgânica (von SPERLING, 2005).

- **COT**: é baseado na oxidação do carbono da matéria orgânica a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e determinação de CO<sub>2</sub> por método instrumental que quantifica através de um detector de infravermelho. Assim, indica a presença de matéria orgânica em um efluente já que o carbono faz parte das moléculas de substâncias orgânicas.

### 3.1.3. Legislação sobre uso da água

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 357 (2005) indica quais os parâmetros utilizados para o padrão de qualidade da água, que são: organismos sem efeitos tóxicos, materiais flutuantes, óleos e graxas, substâncias que comuniquem gosto ou odor, ausência de corantes, resíduos sólidos objetáveis, limite da presença de coliformes

termotolerantes, cianobactérias, limites de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), concentrações mínimas de OD (oxigênio dissolvido), turbidez, cor verdadeira e pH.

A *National Sanitation Foundation* (Fundação Nacional de Saneamento) adota outros parâmetros, que facilita o entendimento para saber se há necessidade de tratamento, para o Índice de Qualidade das Águas (IQA) que são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO, temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total (MARTINS; ANDRADE; SILVA, 2015).

#### 3.1.4. Poluição e Autodepuração

A água pode ter sua qualidade e quantidade alterada devido às altas cargas de poluição através de efluentes domésticos, industriais e de áreas urbanas e agrícolas. A poluição pode alterar o regime hidrológico, aumentar doenças veiculadas pela água, contaminar quimicamente (GARDIMAN JUNIOR, 2015). Alvim et al. (2014) especifica que a poluição das águas está relacionada com a falta de coleta e de tratamento de esgotos domésticos na maioria das cidades brasileiras.

Após as águas receberem cargas de afluentes e serem alteradas ocorre o processo de autodepuração que é um mecanismo usado pelas águas para recuperação, ou seja, se restabelecem e obtêm equilíbrio no meio aquático. Ecologicamente, os compostos orgânicos despejados nas águas são transformados em compostos estáveis, como água e gás carbônico, e não prejudicam mais as águas (von SPERLING, 2005, RAMALHO, 2009).

No processo de autodepuração, antes do local de lançamento do poluente há diminuição na concentração de oxigênio, sedimentação de parte do material sólido e aspecto indesejável, ainda ocorre elevação da concentração de bactérias e fungos. Em seguida encontra-se a zona de decomposição ativa, neste ponto a concentração de oxigênio chega a valores próximos à zero, desta forma a quantidade de bactérias aeróbias é reduzida e pode chegar a sua eliminação total, em contrapartida há o desenvolvimento de bactérias anaeróbias. Na zona de recuperação ocorre aumento na concentração de oxigênio dissolvido, pelo predomínio dos mecanismos de aeração sobre os mecanismos de desoxigenação; há redução contínua na quantidade de bactérias e aumento na quantidade de peixes e outros organismos aeróbios. A partir deste ponto, algas proliferam-se devido à disponibilidade de nutrientes,

provenientes da decomposição da matéria orgânica. Por final, na zona de águas limpas, a água volta a apresentar condições satisfatórias e desenvolvimento de vida superior pela maior concentração de oxigênio (RAMALHO, 2009).

### 3.2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O tratamento de águas residuárias conhecido também como *wetlands* construídos iniciou no Brasil para melhorar qualidade das águas e controlar poluição. A maioria dos tratamentos secundários utiliza de tanque séptico, reator anaeróbio compartimentado, reatores *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB – manta de lodo anaeróbico de fluxo ascendente) ou lagoas anaeróbias (SEZERINO et al., 2015).

Segundo Carvalho et al. (2014), o tratamento de águas residuárias deve preservar as condições e padrões de qualidade da água por meio de processos de depuração, remoção de poluentes e adequação dos parâmetros das águas residuárias para poder ser descartadas sem poluição ou o reuso.

O tratamento de águas residuárias pode ser classificado em grupos: escoamento superficial e escoamento subsuperficial. O escoamento superficial envolve plantas emergentes, submersas, flutuantes e com folhas flutuantes, enquanto o escoamento subsuperficial abrange sistema híbrido, sistema horizontal e sistema vertical detalhado em descendente, ascendentes e ciclos de inundação e esvaziamento (SEZERINO et al., 2015).

Os processos utilizados para o tratamento de águas residuárias são classificados entre físico, químico e biológico (CARVALHO et al., 2014):

- Processo físico: ocorre aplicação de fenômenos de natureza física, como sedimentação, filtração, resfriamento, decantação e outros.
- Processo químico: é feito através de produtos químicos ou reações e interações químicas, por exemplo, coagulação, correção de pH, oxidação, desinfecção e outros.
- Processo biológico: por meio de atividades biológicas ou bioquímicas, sendo aeróbios ou anaeróbios, como lodos ativados, lagoas de estabilização, lagoas aeradas, filtros biológicos, biodiscos e outros.

### 3.2.1. Classificação do tratamento

O tratamento de esgoto pode ser feito em diferentes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário, sendo que o preliminar deve estar presente em toda estação de tratamento de esgoto (ETE), o primário pode ou não existir seguido do preliminar, assim o secundário pode vir em seguida do preliminar ou não e o terciário é raro em países em desenvolvimento (von SPERLING, 2005).

O tratamento preliminar remove os sólidos grosseiros através de mecanismos físicos, como areia e materiais que apresentam diâmetro maior; o tratamento primário remove sólidos sedimentáveis e matéria orgânica também por mecanismos físicos; o tratamento secundário remove matéria orgânica e vez ou outra nutrientes, como fósforo e nitrogênio, por meio de mecanismos biológicos; o tratamento terciário remove poluentes específicos, como compostos não biodegradáveis e tóxicos, e remove poluentes que não foram removidos no tratamento secundário (von SPERLING, 2005).

O tratamento secundário pode ser através de diferentes sistemas: disposição no solo, sistemas anaeróbios, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Mais especificamente, os lodos ativados podem ser divididos em convencional, por aeração prolongada, de fluxo intermitente, com remoção biológica de nitrogênio e com remoção biológica de nitrogênio e fósforo (von SPERLING, 2005).

### 3.3. SISTEMA DE LODOS ATIVADOS

O tratamento biológico de águas residuárias envolve o consumo de reagentes, a geração de produtos e a produção de novas células (biomassa), onde pode-se basear na reação de oxidação-redução onde há transferência de elétrons para um aceptor que libera energia para outros elétrons serem convertidos em células novas (BENETTI; AQUINO, 2010).

De acordo com Reis e Mendonça (2014), os sistemas de lodos ativados são caracterizados pelo crescimento de microrganismos, em tanques de aeração, que se agrupam e produzem flocos biológicos, chamado também de biomassa. Utiliza-se aeradores mecânicos ou difusores para manter o tanque com aeração, misturar o que está no interior do tanque, fazer com que a biomassa fique suspensa e mantenha contato com o substrato, os compostos

orgânicos. Cammarota (2011) simplifica como a massa microbiana floculenta formada pela aeração de esgotos e efluentes biodegradáveis.

Os processos de lodos ativados apresentam vantagens em relação à área utilizada para implantação ser menor que outros tratamentos aeróbios e alta qualidade do efluente final, entretanto apresenta desvantagens devido ao alto consumo de energia, elevada produção de lodo e notável índice de mecanização (von SPERLING, 2005; REIS; MENDONÇA, 2014).

Já que o sistema de lodo ativado apresenta elevada eficiência para remover diversos e diferentes compostos orgânicos e inorgânicos acaba sendo muito usado mundialmente para tratamento de águas residuárias em ambiente doméstico e industrial (von SPERLING, 2005, CASTRO; PINHEIRO e GINORIS, 2011).

Segundo von Sperling (2005), o sistema de lodos ativados também pode ser classificado conforme a idade do lodo, o fluxo e os objetivos do tratamento. A idade do lodo é separada por lodos ativados convencional (carga convencional) e por aeração prolongada (carga baixa); o fluxo pode ser contínuo ou intermitente (batelada e variantes); objetivos do tratamento para remoção de carbono e para remoção de carbono e nutriente (nitrogênio e/ou fósforo).

Resumidamente, o sistema de lodos ativados apresenta o seguinte fluxo: iniciado em um tanque de aeração ou reator, seguido por um tanque de decantação ou decantador secundário, logo após é feita uma recirculação do lodo e depois há a retirada do lodo biológico excedente (von SPERLING, 2005).

### 3.3.1. Lodo ativado em batelada

A operação do sistema de lodo ativado em batelada é em fluxo intermitente que também pode ser chamado de reator sequencial em batelada (RSB). A batelada é caracterizada pelo uso de apenas um tanque para o processo onde cada parte do processo é feito pela diferença de tempo (von SPERLING, 2005).

O processo de batelada é feito em um reator onde está presente a mistura para todos os processos, não é necessário usar decantadores devido à massa biológica permanecer durante todos os ciclos (von SPERLING, 2005).

É um processo separado em cinco ciclos (SANTOS, BARBOSA FILHO; GIORDANO, 2006; von SPERLING, 2005):

- Enchimento: substrato é colocado no reator e a aeração pode estar ligada ou desligada, o substrato é o esgoto bruto;

- Reação: também chamado de aeração, ocorre a aeração e a mistura da massa líquida dentro do reator e a biodegradação do substrato com a aeração ligada;

- Sedimentação: sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado, ocorrendo a clarificação do efluente que está sendo tratado e nesse momento a aeração está desligada;

- Esvaziamento ou descarga: esgoto tratado é retirado do reator, ocorre o descarte do efluente tratado com a aeração desligada;

- Repouso: ajuste dos ciclos se for necessário passar para outra fase, o lodo excedente é retirado e a aeração pode estar ligada ou desligada.

A eficiência do reator por batelada está ligada diretamente com a quantidade de oxigênio e a quantidade de massa de microrganismos serem suficientes para metabolizar a matéria orgânica do resíduo a ser tratado (SANTOS, BARBOSA FILHO; GIORDANO, 2006).

### 3.3.2. Microbiologia dos lodos ativados

Os lodos ativados são compostos por diversos microrganismos, como: bactérias, protozoários, fungos crustáceos, nematóides, rotíferos, fungos e arqueas metanogênicas. Dentre esses microrganismos, as bactérias são as principais responsáveis pelo consumo dos compostos orgânicos e alterações na proporção entre as espécies de microrganismos podem provocar alterações nas características dos flocos e conseqüentemente alterações na clarificação do efluente tratado (BITTON, 1994; RITTMAN; McCARTY, 2001; OLIVEIRA, ARAÚJO; FERNANDES, 2009; SOARES et al., 2014).

Yano e Gomes (2013) descrevem a importância dos microrganismos na formação do floco do lodo ativado e indica que o excesso de microrganismos filamentosos demonstra que o sistema não é satisfatório, causando o intumescimento do lodo.

Esta microbiota é encontrada também nos rios no processo de autodepuração, a diferença é que nos sistemas de tratamento por lodos ativados é dada a condição ideal para o desenvolvimento desses microrganismos e assim fazer com que o processo de degradação da matéria orgânica ocorra na maior velocidade possível (RAMALHO, 2009).

As bactérias são heterotróficas e decompõem a matéria complexa em produtos simples, os quais são substratos para outros microrganismos. Desse conjunto de microrganismos decompositores surge uma microfauna de consumidores primários, os protozoários como predadores desses microrganismos (RITTMAN; McCARTY, 2001, VAZOLLER et al., 1989).

Em um exame microscópico, através das características e abundância dessa microfauna, indica as condições de funcionamento do tratamento de águas residuárias. Um exemplo desse exame é a quantidade de bactérias filamentosas em relação às não filamentosas, que demonstram a qualidade de sedimentação do lodo, evitando problemas de intumescimento (VAZOLLER et al., 1989; BENTO et al., 2005). A Tabela 1 mostra alguns microrganismos indicativos da qualidade do tratamento por meio de lodo ativado.

**Tabela 1** - Microrganismos indicadores das condições de operação do tratamento de águas residuárias por lodos ativados

Microrganismos	Características do processo
Predominância de flagelados e rizópodes	Lodo jovem, característico de início de operação ou idade do lodo baixa
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Presença de <i>Arcella</i> (rizópode com teça)	Boa depuração
Presença de <i>Aspidisca constata</i> (ciliado livre)	Nitrificação
Presença de <i>Trachelophyllum</i> (ciliado livre)	Idade do lodo alta
Presença de <i>Vorticella microstoma</i> (ciliado penduculado) e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aelosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo ( <i>bulking</i> )

Fonte: VAZOLLER et al., 1989.

### 3.3.2.1. Bactérias

As bactérias são as responsáveis pela formação dos flocos e pelo consumo primário do material orgânico (VAZOLLER et al., 1989; BITTON, 1994; RITTMAN; McCARTY, 2001). Os gêneros mais encontrados nos flocos são *Zoogloea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*. Dentre as bactérias filamentosas responsáveis, quando em número excessivo, pelo intumescimento do lodo (ou “bulking”) temos os gêneros *Sphaerotilus*, *Beggiotoa* e *Vitreoscilla* (RITTMAN; McCARTY, 2001; BITTON, 1994; BERK; GUNDERSON, 1993; VAZOLLER et al., 1989).

Além das bactérias heterotróficas que perfazem um número de  $10^8$ UFC/mL; encontramos bactérias autotróficas nitrificantes, como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, e fototróficas, como *Rhodospirillaceae* (BITTON, 1994; BERK; GUNDERSON, 1993).

As principais reações atribuídas aos diversos gêneros presentes no lodo ativado estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2** - Gêneros presentes nos lodos ativados e reações pelas quais são responsáveis

Gênero	Reação
<i>Pseudomonas</i>	Remoção de substrato, produção de muco, desnitrificação
<i>Zoogloea</i>	Produção de muco, formação de floco
<i>Bacillus</i>	Degradação de proteínas
<i>Arthrobacter</i>	Degradação de carboidratos
<i>Microthrix</i>	Degradação de gordura, crescimento filamentoso
<i>Nocardia</i>	Crescimento filamentoso, formação de espuma
<i>Acinetocater</i>	Remoção de fósforo
<i>Nitrosomonas</i>	Nitrificação
<i>Nitrobacter</i>	Nitrificação
<i>Achromobacter</i>	Desnitrificação

Fonte: HORAN, 1989.

### 3.3.2.2. *Fungos*

Em virtude de sua menor velocidade de crescimento no ambiente do lodo ativados o crescimento de fungos não é favorável, porém eles podem estar presentes em determinadas condições de baixo pH, toxicidade e deficiência de nitrogênio. Sua presença em excesso intensifica o processo de intumescimento do lodo (VAZOLLER et al., 1989; BITTON, 1994).

Os principais gêneros presentes são *Geotrichum*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium* e *Alternaria* (BITTON, 1994).

### 3.3.2.3. *Protozoários*

Os protozoários são os principais predadores das bactérias no sistema de lodos ativados, ajudando no controle da quantidade de bactérias, clarificação do efluente tratado, além do consumo de material particulado suspenso (BITTON, 1994; BERK; GUNDERSON, 1993; METCALF; EDDY, 1991). Outras espécies de protozoários que podem estar presentes alimentam-se de outros protozoários e algas (HORAN, 1989).

A quantidade, presença ou ausência de alguns protozoários podem indicar a presença de compostos tóxicos, como por exemplo, a *Aspidisca costata* encontrada em menor número na presença de cádmio (BITTON, 1994).

Ciliata (ciliados), Mastiphora (flagelados) e Sarcodina (amebas) são as principais classes encontradas em lodos ativados (BITTON, 1994; BERK; GUNDERSON, 1993; VAZOLLER et al., 1989).

A dominância de alguns protozoários em sistema de lodos ativados são indicativos do desempenho do processo de tratamento. Os grupos dominantes e as possíveis causas são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Desempenho do sistema de lodos ativados e relação com o grupo predominante de protozoários

Grupo dominante	Desempenho	Possíveis Causas
Pequenos flagelados	Fraco	Deficiência de aeração, choques devido à sobrecarga e presença de subprodutos de fermentação
Pequenos ciliados livres	Médio	Deficiência de aeração, baixo tempo de detenção hidráulico
Grandes ciliados livres	Médio	Choques devido à sobrecarga e deficiência de aeração
Ciliados predadores de flocos	Bom	-
Ciliados pedunculados e livres predadores de flocos	Bom	-
Ciliados pedunculados	Decaindo	Alimentação irregular e perda de lodo recente
Pequenas amebas	Muito Fraco	Alta carga de compostos de difícil degradação
Arcella	Bom	-

Fonte: MADONI, 1994.

#### 3.3.2.4. *Metazoários*

Metazoários, como rotíferos, nematóides e anelídeos, são microrganismos multicelulares, heterotróficos e estritamente aeróbios que alimentam-se de matéria orgânica particulada, bactérias mortas, protozoários e fragmentos de flocos (HORAN, 1989; BITTON, 1994).

A presença dos rotíferos indica alto grau de depuração, entre 90 e 95%, uma vez que desempenham papel no topo da cadeia trófica dos lodos ativados além de serem indicadores de alta idade de lodo (METCALF; EDDY, 1991; RAMALHO, 2009).

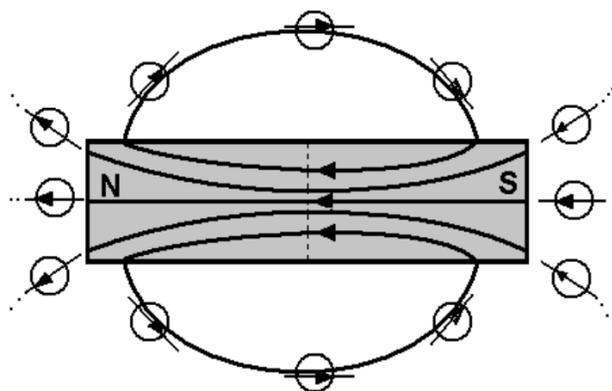
### 3.4. CAMPO MAGNÉTICO

O campo magnético é obtido quando há a solidificação de minerais que formam os ímãs naturais, ferritas ou óxidos magnéticos. A magnetita é o mineral magnético mais forte da Terra, conhecido desde a Grécia Antiga e que deu origem a fabricação de bússolas, assim ao conhecimento do mundo (GRAÇA, 2012). O estudo de magnetismo iniciou-se devido observação de minérios de ferro, também chamados de magnetos, que atraíam metais não magnetizados, como cobalto e níquel (MOURA, 2012).

O deslocamento de uma carga elétrica no espaço ao seu redor gera uma força magnética que poderá atrair ou afastar outra carga para interagir juntamente, o que irá depender da polaridade de ambas as cargas (MOURA, 2012).

Juntamente com o funcionamento de bússolas, foi possível identificar que o campo magnético da Terra é semelhante ao de um ímã. Apresentando as características de dois polos inseparáveis, norte (N) e sul (S), e o módulo que mede a força magnética atuante sobre cargas elétricas que estão em movimento dentro do campo magnético (GRAÇA, 2012). A Figura 1 indica a indução magnética dentro de um ímã pelas linhas desenhadas.

O campo magnético é medido por duas unidades: *Tesla* (T) pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) ou *Gauss* (G) pelo CGS, onde 1 G é igual a  $10^{-4}$  T (GRAÇA, 2012).



**Figura 1** – Direção do campo magnético construído pelas linhas em torno de um ímã.

Os campos magnéticos podem se caracterizados como estático e oscilatório, onde os campos magnéticos estáticos apresentam-se constantes em relação ao tempo, enquanto os campos magnéticos oscilatórios são constantes em relação à amplitude (BARBOSA-CANOVAS et al., 2000).

A introdução de campos eletromagnéticos vem sendo estudada há anos, sendo de interesse para biologia celular ou para biotecnologia, possuindo diversas aplicações prática (MUNIZ, 2002; ANSCHAU; SANTOS, 2014).

A aplicação dos campos magnéticos é rara, visto que se trata de uma variável a ser estudada, já que se desconhece o mecanismo de ação, condições limites e contradições entre resultados de pesquisas distintas, em virtude de aplicação de métodos estatísticos diferentes, linhagens de microrganismos assim como tempo de exposição e método de geração dos campos (ANSCHAU; SANTOS, 2014).

Um dos mecanismos atribuídos à ação de campos magnéticos é o efeito que esses campos têm sob a água como alterações na absorção de luz, condutividade elétrica, susceptibilidade magnética, índice de refração, tensão superficial e viscosidade. Esses efeitos podem ser percebidos por longos períodos de tempo após a aplicação do campo (ANSCHAU; SANTOS, 2014).

Campos magnéticos podem ser aplicados em diversas áreas da ciência como engenharia química, engenharia biomédica e agricultura, contudo sua aplicação em processos fermentativos e sobre microrganismos são escassos, sendo a aplicação nestes dois últimos casos podendo ser negativo ou positivo (ANSCHAU; SANTOS, 2014).

Alvarez (2001) estudou a aplicação de campos magnéticos variando entre 50 e 200 Gauss como uma das variáveis do processo em um planejamento experimental completo  $2^3$ , para produção de nisina, concluindo que o campo magnético exerceu influência positiva, aumentando a produção do composto em até 2,75 vezes.

A produção de glutatona sob campos magnéticos utilizando *Saccharomyces cerevisiae* foi estudada por SANTOS (2008). Neste trabalho, a pesquisadora utilizou dois sistemas, um com campos gerados por imãs com intensidade de 200 Gauss e outro sistema com campos magnéticos gerados por bobinas de indução magnética com intensidade variando entre 25 e 33,3 mT, obtendo um melhor incremento na produção de glutatona na ordem de 39% para o sistema com bobina e de pouco mais de 32% para o sistema com imãs.

Sabendo que o campo magnético pode ser aplicado em microrganismos e processos fermentativos, atualmente, o estudo de aplicação desta técnica tem se ampliado para diversas áreas como produção de cerveja, vinho, pães, produtos farmacêuticos, enzimas e muitos outros processos (KUROZAWA; COSTA, 2014).

Barbosa-Canovas et. al (2000) indicam que o efeito do campo magnético na microbiologia dos alimentos depende da intensidade, do número de pulsos, da frequência que o campo magnético é aplicado e das propriedades do alimento, como a condutividade elétrica, a resistividade e a espessura do alimento. Ainda expressa que não é possível determinar se a aplicação de campo magnético pode estimular ou inibir o desenvolvimento dos microrganismos.

Um estudo com aplicação de campo magnético pulsado em carnes frescas moídas indicou que a aplicação foi satisfatória para a qualidade microbiológica da carne, para retardar as alterações oxidativas da carne e para as características sensoriais sem torná-las indesejáveis (LINS, 2011).

Outra pesquisa sobre a fermentação da cerveja observou o comportamento da levedura *Sacchormyces uvarum* tratada pelo campo magnético estático e concluiu que o tratamento foi eficaz para a fermentação e estimulante para a levedura (VILLALPANDA; ALMAGUER; FIALLO, 2012). Já o estudo de Deutmeyer et al. (2011) indica que o campo magnético não interfere na fermentação cinética da *Saccharomyces cerevisiae* e que é necessário estudar e observar o comportamento de muitos parâmetros para determinar o efeito positivo ou negativo do tratamento.

Villalpanda et al. (2013) estudou a aplicação de campo magnético estático na produção de cerveja e concluiu que é válida a aplicação para melhorar o processo de clarificação sem modificar as características sensoriais.

Duan, Guo e Yang (2012) estudaram a influência da adsorção do Pb (II) na base Schiff com campo magnético em relação ao tempo de exposição, força do campo magnético, concentração e pH do íon de Pb (II) na solução. Os parâmetros avaliados foram indicados como importantes para o tratamento de resíduos. Obtiveram que a quantidade e a velocidade de adsorção foram melhoradas com o campo magnético.

Zin (2014) aplicou o campo magnético na ultrafiltração de soro de leite e albumina de soro bovino com diversas concentrações e diferentes tempos de exposição. Concluiu com seu

trabalho que o fluxo e a recuperação de impermeabilidade aumentam, principalmente no soro de leite, e também reduz a quantidade de incrustações. Ainda indicou que o campo magnético é promissor para aplicação dentro da indústria devido seu processo não gastar energia elétrica, sem um processo limpo, não apresentar alto custo e também uso de menor quantidade de produtos químicos.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. LODO ATIVADO**

O lodo ativado foi obtido da estação de tratamento de águas residuárias da indústria de bebidas Jota Efe, localizada no município de Ouro Fino - MG.

Foram coletados 4 litros de lodo diretamente do tanque de aeração e levado diretamente para o Laboratório de Processos Fermentativos e Tratamento de Resíduos do Núcleo de Alimentos.

No laboratório, o lodo foi colocado em um erlenmeyer de 6000 mL e aerados por meio de compressores e difusores de aquário, em um sistema de aeração submersa.

Diariamente o lodo passou por sedimentação e a cada dia um volume da fração do volume clarificado foi substituída por água residuária a ser utilizado no tratamento, conforme a Tabela 4, a fim de adaptar os microrganismos à água residuária a ser utilizada.

**Tabela 4** – Sistema de adaptação do lodo ativado

<b>Dia</b>	<b>% água residuária adicionada em relação ao volume clarificado (mL)</b>
Dia 1 e 2	20
Dia 3 e 4	40
Dia 5 e 6	60
Dia 7 e 8	80
Dia 9 e 10	100

Fonte: Próprio Autor, 2017

#### 4.2. ÁGUA RESIDUÁRIA

Em substituição a água residuária original, foi utilizado meio sintético formulada no próprio laboratório como meio nutriente para o experimento e que apresentava DQO de 10.000 mg/L. A Tabela 5 mostra os constituintes do meio utilizado.

**Tabela 5** - Composição do meio a ser utilizado como água residuária

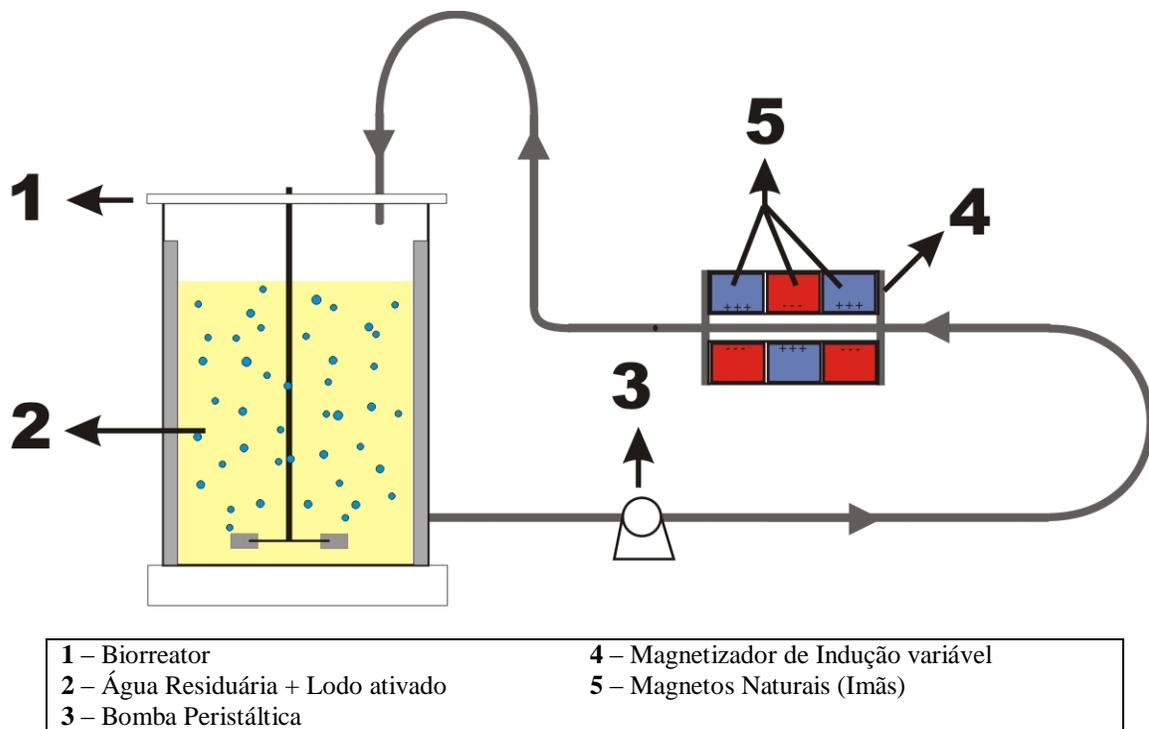
<b>Constituinte</b>	<b>Concentração (g.L<sup>-1</sup>)</b>
Lactose	10,0
Caseína hidrolisada	2,5
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	2,0
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,0
Uréia	0,5
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,25
CaCl <sub>2</sub>	0,025
MnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,025
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,05
ZnSO <sub>4</sub>	0,001

Fonte: KAMEYAMA, 2007.

### 4.3. OPERAÇÃO DO BIORREATOR

O experimento foi conduzido em sistema de batelada utilizando frasco Erlenmeyer de 2.000 mL como reator, sendo o volume de trabalho de 1.000 mL. Fez-se a aeração por meio de compressores e difusores de aquário para obter microbolhas. Através de uma bomba peristáltica a mistura água residuária e lodo ativado foi circulado por um sistema de campo magnético, mantendo-se a vazão em regime laminar, conforme demonstrado na Figura 2.

O magnetizador de indução variável é composto por seis magnetos naturais. Na parte superior os magnetos estão na posição: positivo, negativo e positivo; na parte inferior os magnetos estão invertidos, ou seja: negativo, positivo e negativo. Este sistema gera um campo magnético mínimo de 50 Gauss e máximo de 200 Gauss, conforme a distância entre a tubulação e os magnetos.



**Figura 2** – Figura esquemática do biorreator a ser utilizado, com aplicação de campos magnéticos.



**Figura 3** – Foto do magnetizador de indução variável em sua maior distância do tubo de circulação o que acarreta um campo de 50 Gauss.

Os experimentos foram realizados em triplicata para os seguintes tratamentos: controle (sem aplicação de campo magnético), 50 e 200 Gauss.

Amostras foram coletadas no tempo zero, após 2, 4, 8, 12 e 24 horas. As amostras coletadas foram analisadas quanto ao pH, sólidos totais e voláteis e posteriormente centrifugadas a 3.500 rpm durante 10 minutos e o sobrenadante congelado para a análise de DQO.

#### 4.4. METODOLOGIA ANALÍTICA

##### 4.4.1. pH

O pH foi determinado pelo uso de pHmêtro PROLAB – Modelo PHS-3E, mergulhando o eletrodo diretamente na amostra sem diluição e homogeneizada.

##### 4.4.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Em tubos de ensaio com tampas rosqueadas, foram adicionados 2,5 mL de amostra representativa, 1,5 mL de solução de dicromato de potássio e sulfato de mercúrio em meio ácido e 3,5 mL de solução ácida de sulfato de prata. Para os valores de DQO maiores que  $1.000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ , a amostra foi diluída vinte e cinco vezes. Para estabelecer o branco a amostra foi substituída por água destilada utilizada na diluição. Os tubos de reação foram então colocadas em digestor por duas horas a  $150^\circ\text{C}$ . Após esse tempo, os tubos foram removidos e resfriados, ao abrigo da luz, e realizado a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 610 nm.

Os valores de DQO foram calculados a partir da equação da reta gerada pela solução padrão de biftalato ácido de potássio, cuja DQO teórica é de 1,176 mg de O<sub>2</sub>/mg do sal.

#### 4.4.3. Sólidos Totais

Alíquotas de 25 mL da amostra foram colocadas em cadinhos de porcelana previamente secos e tarados ( $P_1$ ) e, em seguida, colocados em estufa (105°C) para secagem completa até peso constante ( $P_2$ ) (APHA, 1995). O teor de sólidos totais foi obtido pela Equação 8:

$$ST(g \cdot L^{-1}) = \frac{(P_2 - P_1)}{V_a} \times 1000 \quad (8)$$

onde:

$P_1$  = peso do cadinho, em g;

$P_2$  = peso do cadinho mais o resíduo seco a 105°C, em g; e

$V_a$  = volume da amostra, em mL.

#### 4.4.4. Sólidos Totais Fixos

O cadinho com o resíduo seco a 105°C, obtido no item anterior, foi levado à mufla a 600°C ( $\pm 50^\circ\text{C}$ ) até peso constante ( $P_3$ ) (APHA, 1995). O teor de sólidos totais fixos (STF) foi obtido pela Equação 9:

$$STF(g \cdot L^{-1}) = \frac{(P_3 - P_1)}{V_a} \times 1000 \quad (9)$$

onde:

$P_3$  = peso do cadinho mais o resíduo seco a 600°C, em g.

#### 4.4.5. Sólidos Totais Voláteis

O teor de sólidos voláteis (STV) pôde ser obtido pela diferença entre o peso do cadinho mais os resíduos secos a 105°C e o peso do cadinho mais os sólidos calcinados a 600°C, segundo a Equação 10 (APHA, 1995):

$$\text{STV}(\text{g} \cdot \text{L}^{-1}) = \frac{(P_2 - P_3)}{V_a} \times 1000 \quad (10)$$

#### 4.5. CÁLCULOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

A partir dos resultados de DQO foram calculadas as velocidades de remoção de DQO pela técnica de velocidade inicial. Esta técnica estabelece que a velocidade é numericamente igual à inclinação da reta da faixa linear da curva de decréscimo do substrato, que corresponde aos valores iniciais, ou seja, para os maiores valores de concentração de substrato.

Todos os resultados e dados calculados foram analisados estatisticamente utilizando o software Statistica 5.5, utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Tabela 6** - Valores de DQO inicial e final para cada tratamento

Tratamento	DQO inicial (mg.L <sup>-1</sup> )	DQO final (mg.L <sup>-1</sup> )
Controle	1437,49	603,71
50 Gauss	1868,20	707,80
200 Gauss	961,92	452,96

Fonte: Próprio Autor, 2017.

**Tabela 7** - Valores de pH inicial e final para cada tratamento

Tratamento	pH inicial	pH final
Controle	6,90	7,16
50 Gauss	6,66	6,98
200 Gauss	6,91	7,46

Fonte: Próprio Autor, 2017.

**Tabela 8** - Valores de sólidos totais inicial e final para cada tratamento

Tratamento	ST inicial (g.L <sup>-1</sup> )	ST final (g.L <sup>-1</sup> )
Controle	8,27	6,73
50 Gauss	6,80	5,47
200 Gauss	6,93	8,47

Fonte: Próprio Autor, 2017.

**Tabela 9** - Valores de sólidos totais fixos inicial e final para cada tratamento

Tratamento	STF inicial (g.L <sup>-1</sup> )	STF final (g.L <sup>-1</sup> )
Controle	2,93	3,13
50 Gauss	2,40	2,13
200 Gauss	1,80	3,27

Fonte: Próprio Autor, 2017.

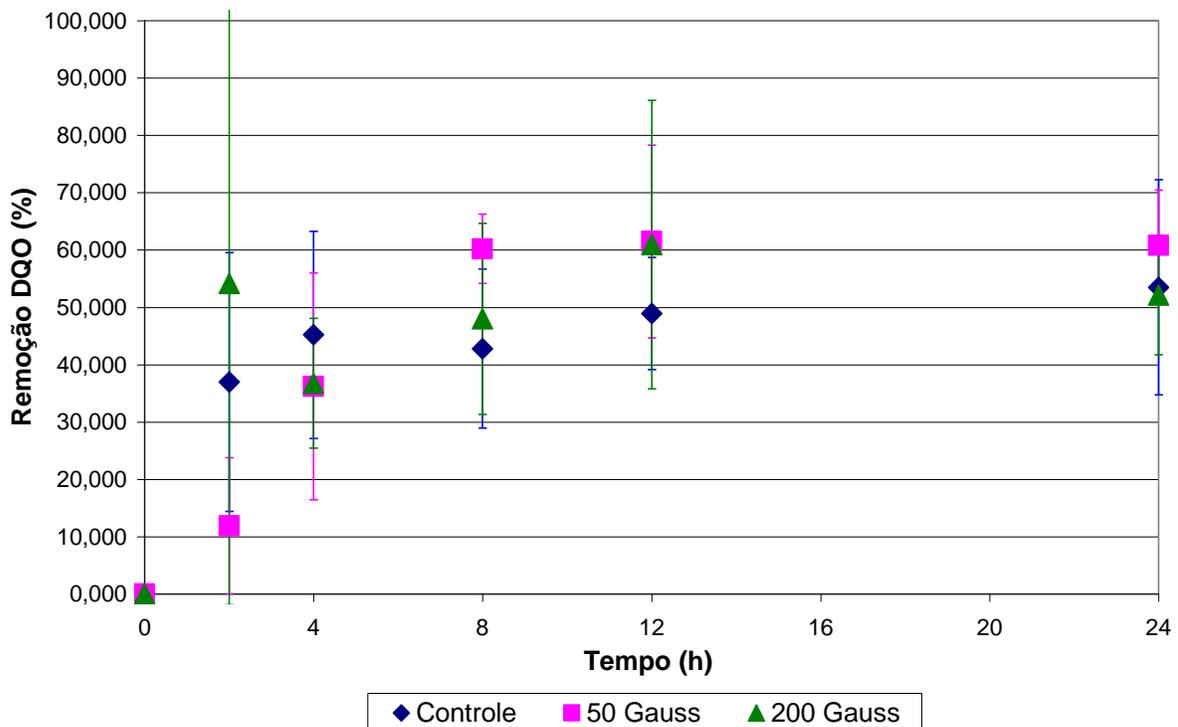
**Tabela 10** - Valores de sólidos voláteis inicial e final para cada tratamento

Tratamento	STV inicial (g.L <sup>-1</sup> )	STV final (g.L <sup>-1</sup> )
Controle	5,33	3,60
50 Gauss	4,40	3,33
200 Gauss	5,13	5,20

Fonte: Próprio Autor, 2017.

### 5.1. REMOÇÃO DE DQO

A Figura 4 a seguir, apresenta os resultados da remoção de DQO para os tratamentos deste estudo.

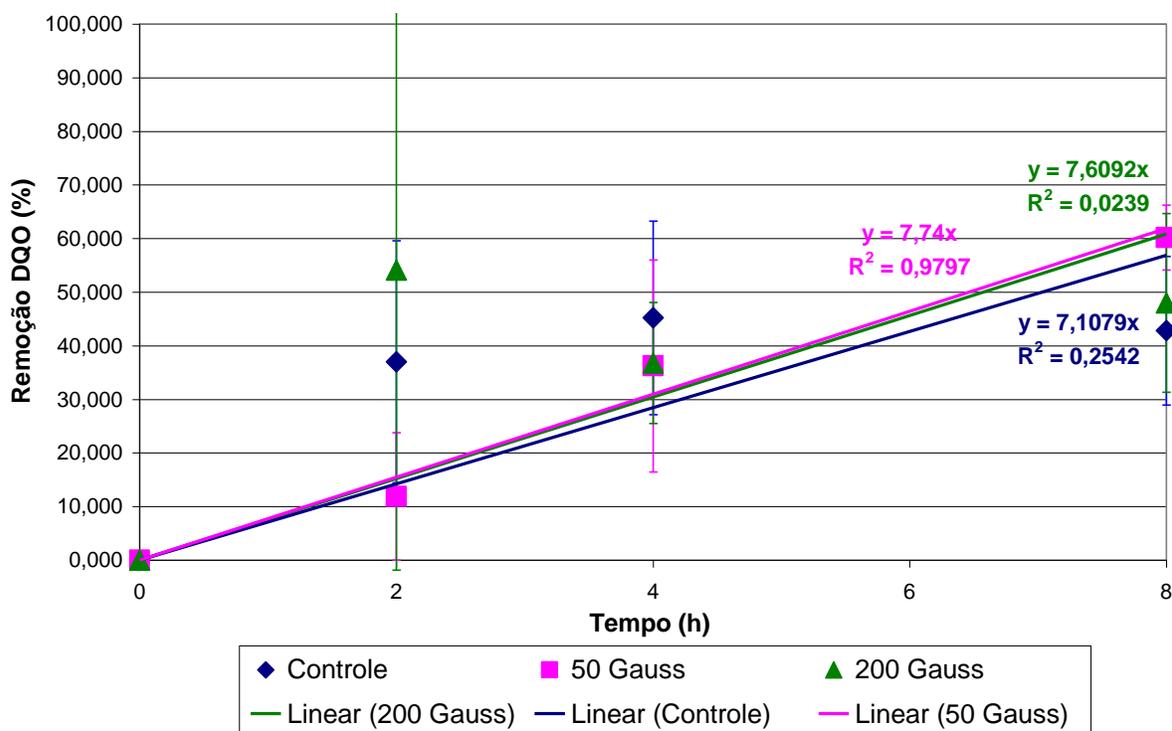


**Figura 4** – Porcentagem de remoção de DQO para os tratamentos estudados.

Para o tratamento de 50 Gauss, a partir de 8 horas apresentou 60% de remoção de DQO e elevou-se um pouco até 24 horas de tratamento. O tratamento de 200 Gauss apresentou remoção de DQO maior que os outros tratamentos até 2 horas de tratamento, depois obteve-se 60% de remoção de DQO com 12 horas de tratamento, mas com 24 horas reduziu a remoção de DQO para 50%. Enquanto o tratamento controle apresentou remoção de DQO maior que os outros tratamentos com 4 horas e o seu auge foi de 53% de remoção após 24 horas de tratamento, sendo a remoção de DQO menor que os tratamentos com campo magnético.

A partir dos resultados pode-se verificar que a aplicação de campos magnéticos de 50 e 200 Gauss apresentaram ligeira influência positiva sobre a remoção de DQO para o tratamento com lodos ativados, mas estatisticamente a diferença não é significativa. Contudo isso pode ser uma indicação de que campos magnéticos apresentam efeito positivo em tratamentos com lodos ativados.

Considerando apenas as 8 primeiras horas, pela técnica da velocidade inicial, podemos determinar a velocidade de remoção de DQO através da inclinação da equação de linearização dos dados, apresentados na Figura 5.



**Figura 5** – Determinação da velocidade de remoção de DQO pela técnica da velocidade inicial.

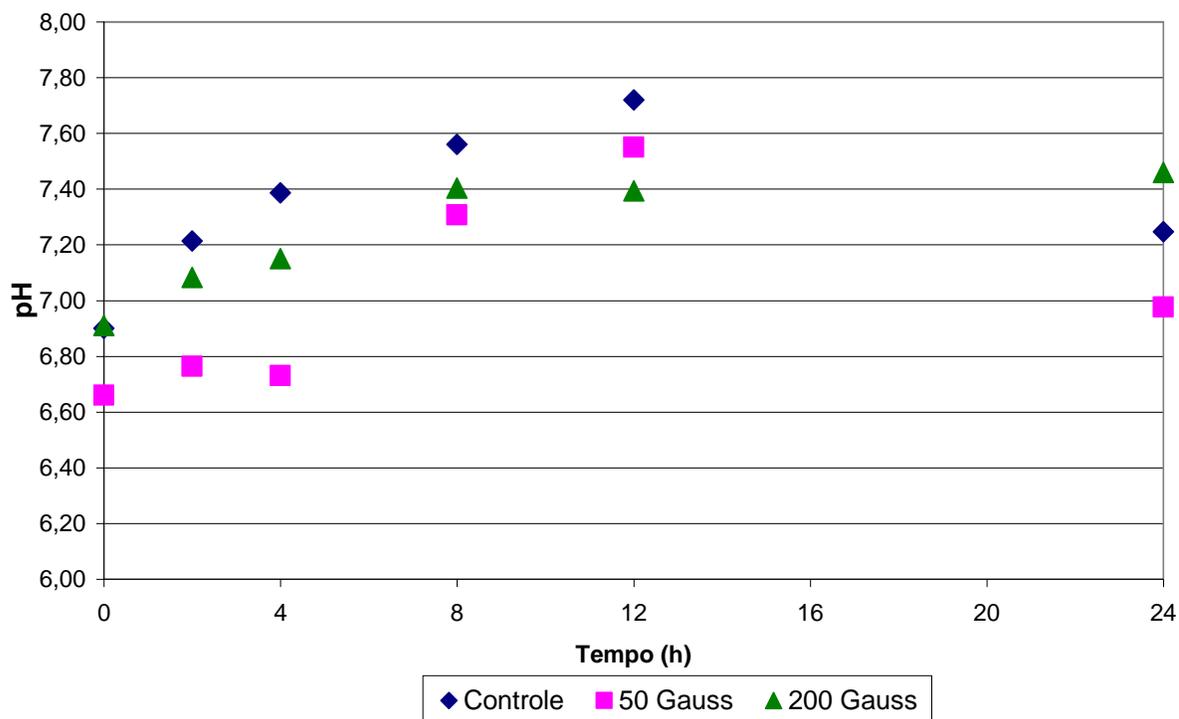
Podemos observar pela Figura 5 que para o Controle, 50 e 200 Gauss as velocidades de remoção de DQO são, respectivamente, 7,1; 7,7 e 7,6 % de remoção de DQO/h. Verificamos que a aplicação do campo magnético demonstrou um ligeiro aumento na velocidade de remoção de DQO a cada hora, valores entre 0,6%/h para 50 Gauss e 0,5%/h para 200 Gauss, comparado ao controle.

Mesmo com as velocidades próximas entre os tratamentos pode-se verificar que a linearização do tratamento com campo magnético de 50 Gauss foi a melhor devido o  $R^2$  ser o mais confiável.

Apesar dos resultados apresentarem ligeiro aumento na taxa de remoção, não é possível ter certeza dos resultados, uma vez que a análise estatística não indicou diferença significativa, sendo necessários novos estudos, inclusive com aplicação de campos magnéticos mais intensos.

## 5.2. pH

A Figura 6 apresenta os resultados do acompanhamento do pH durante o tratamento por lodos ativados no tratamento controle e com aplicação de 50 e 200 Gauss de intensidade de campo magnético.

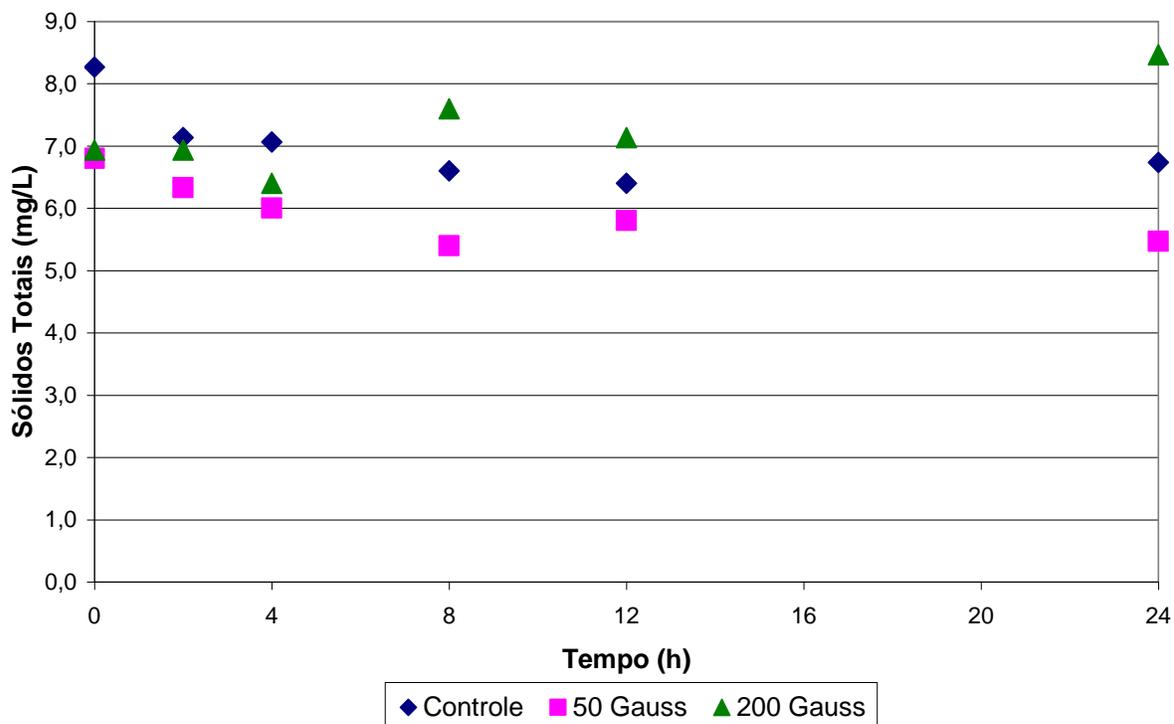


**Figura 6** - Acompanhamento do pH durante o experimento para os tratamentos estudados.

Pode-se observar através da Figura 6, que para todos os tratamentos, houve aumento do pH, provavelmente em função da produção de amônia pela degradação de proteínas e outros compostos nitrogenados, e posterior redução do pH.

### 5.3. SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS VOLÁTEIS

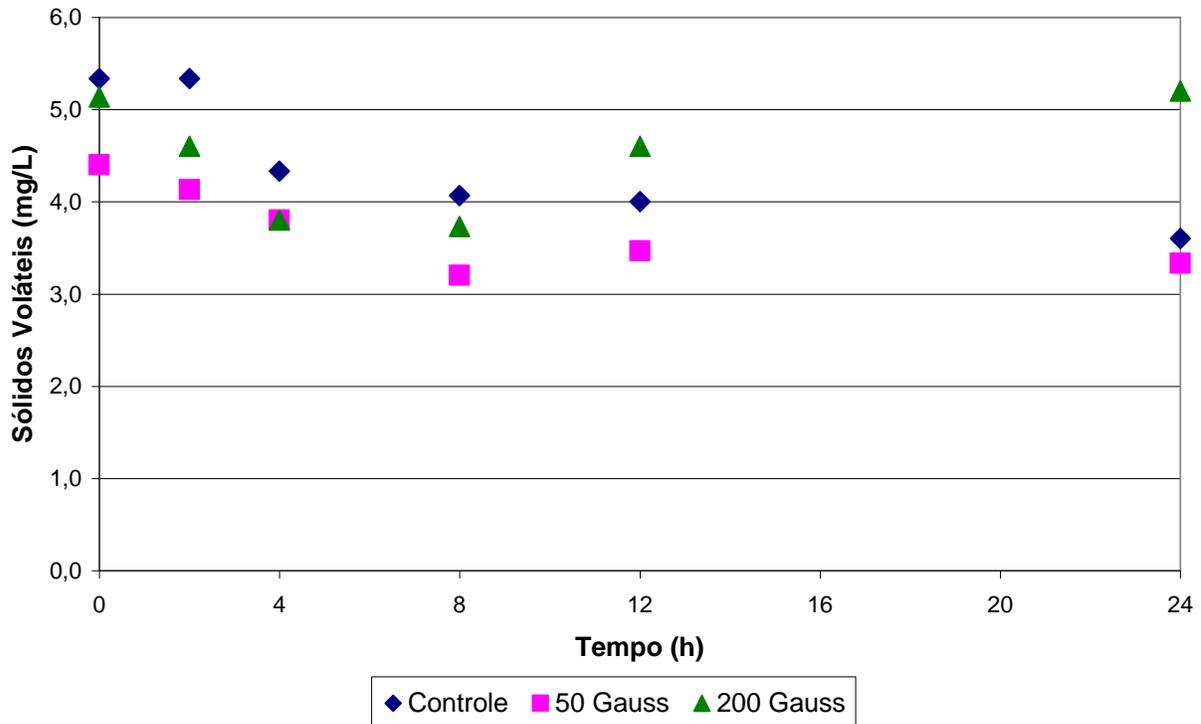
O acompanhamento da concentração de sólidos totais está apresentado na Figura 7.



**Figura 7** - Acompanhamento da concentração de sólidos totais para cada tratamento.

A concentração de sólidos totais apresenta ligeira queda para o controle e processo com aplicação de 50 Gauss, ao contrário do tratamento com 200 Gauss, que apresentou ligeiro aumento. Assim, o tratamento com campo magnético de 50 Gauss apresenta-se mais eficiente.

O aumento na quantidade de sólidos totais é consequência do aumento da quantidade de massa celular, como pode ser observado pelos resultados de sólidos voláteis, como demonstrado na Figura 8.



**Figura 8** - Acompanhamento de Sólidos Voláteis para os tratamentos estudados.

Nos tratamentos controle e 50 Gauss demonstraram um ligeira queda na concentração de sólidos voláteis, enquanto para a aplicação do campo de intensidade de 200 Gauss houve a mesma queda até 8h de acompanhamento, porém depois houve aumento, igualando-se ao valor inicial do processo. Com esse aumento o tratamento com 200 Gauss pode não ser eficiente, mas o tratamento com 50 Gauss mostra-se eficiente devido a queda constante dos sólidos voláteis.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados pode-se concluir que:

- ❖ A aplicação de campos magnéticos de intensidade de 50 e 200 Gauss não aumentaram significativamente a remoção de DQO, apesar da intensidade de 50 Gauss apresentar-se melhor com 8 horas de tratamento;
- ❖ A velocidade de remoção de DQO não aumentaram significativamente pela aplicação dos campos magnéticos neste estudo e apenas a intensidade de 50 Gauss mostrou-se com um resultado mais confiável;
- ❖ Observou-se para todos os tratamentos o aumento do pH;
- ❖ A intensidade de campo magnético menor, 50 Gauss, demonstrou-se melhor por diminuir a quantidade de massa do tratamento, enquanto a intensidade de 200 Gauss de campo magnético apresentou-se com aumento da quantidade de massa celular.

## **7. SUGESTÕES**

- ❖ Novos estudos devem ser realizados a fim de se verificar a aplicação de campos magnéticos com intensidade menor que 50 Gauss e com intensidade entre 50 Gauss e 200 Gauss;
- ❖ Novos estudos para observar o efeito do campo magnético em diferentes concentrações de DQO.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, D. C. Avaliação da aplicação de campos magnéticos no processo de obtenção de nisina por *Lactococcus lactis*. 74f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

ALVIM, R.B.; MELLO, W.Z. de; SILVEIRA, C.S.; KLIGERMAN, D.C.; RIBEIRO, R.P. Emissões de óxido nitroso em águas fluviais não poluídas e poluídas da Bacia do Rio Paquequer (Teresópolis, Rio de Janeiro). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.19, n.4, p. 471-478, out./dez., 2014.

ANSCHAU, A.; SANTOS, L.O. **Aplicação de campos magnéticos e eletromagnetismo na biotecnologia**. In. KUROZAWA, L.; COSTA, S.R.R. Tendências e Inovações em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos. Editora Atheneu. 2014.

BARBOSA-CANOVAS, G.V.; SCHAFFNER, D.W.; PIERSON, M.D.; ZHANG, Q.H.. Oscillating Magnetic Fields. **Journal of Food Science**, v.65, p. 86-89, jun./nov., 2000.

BATISTA, F. G.A.; OLIVEIRA, D.S.; QUEIROZ, F.R.P. Percepção Socioambiental do reuso das águas residuárias em condomínios verticais da cidade de Campina Grande – PB. **HOLOS**, ano 30, vol.6, 2014. Disponível em: <[http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1406/pdf\\_128](http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1406/pdf_128)>. Acesso em: 04 Julho 2017.

BENETTI, A.D.; AQUINO, S.F. Aplicação de princípios de bioenergética no cálculo da estequiometria de reações biológicas em processos de tratamento de águas residuárias. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n.3, p. 245-250, jul./set., 2010.

BENTO, A.P.; SEZERINO, P.H.; PHILIPPI, L.S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.4, p. 329-338, out./dez., 2005.

BERK, S.G.; GUNDERSON, J.H. Wasterwater Organisms – A Color Atlas. Lewis Publishers. 1993. 25p.

BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. Wiley-Liss Inc. 1994. 478p.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357**, de 17 de Março de 2005.

CAMMAROTA, Magali Christe. Tratamento de Efluentes Líquidos, EQB-485, Engenharia do Meio Ambiente. Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola de Química, 2011.

CARVALHO, N.L.; HENTZ, P.; SILVA, J.M.; BARCELLOS, A.L. Reutilização de águas residuárias. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, UFSM, Santa Maria, v.14, n.2, mar/2014, p.3164-3171.

CASTRO, A.D.J. de; PINHEIRO, A.; GINORIS, Y.P. Aplicação do Método de Soluções de Problemas (PDCA) em um sistema de tratamento de efluentes de indústria frigorífica de aves. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.6, n.3, 2011.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Reatores Anaeróbios** – vol. 5. 1997. 246p.

DEUTMEYER, A.; RAMAN, R.; MURPHY, P.; PANDEY, S. Effect of magnetic field on the fermentation kinetic *Sacchoromyces cerevisiae*. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, v.2, n.4, p. 207-213, jun., 2011.

DUAN, L.; GUO, S.; YANG, J. Study on the Effect of a Magnetic Field on Pb (II) Removal Using Modified Chitosan. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v.2, n.1, p.101-107, jan., 2012.

GARDIMAN Junior, B.S. Caracterização do processo de poluição das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. **Revista Agro@mbiente Online**, Boa Vista, v.9, n.3, p.235-242, jul./set., 2015.

GRAÇA, Cláudio de Oliveira. Eletromagnetismo. Santa Maria, 2012, p. 282, Série Didática, Física 3. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/cograca/eletro12.pdf>>. Acesso em: 11 Julho 2017.

HORAN, N.J. Biological Wasterwater Treatment Systems: Theory and Operation. John Willey e Sons. 1989. 310p.

KAMEYAMA, O. Avaliação da Aplicação de Ácido Fólico em Tratamento Aeróbio de Águas Residuárias. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

KAMIYAMA, C.M.; OTENIO, M.H. Aspectos sobre qualidade da água e qualidade de produtos na indústria de laticínios. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 68, n. 391, p. 42-50, mar./abr., 2013.

KUROZAWA, L.E.; COSTA, S.R.R da. **Tendências e Inovações em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos**. Editora Atheneu, p. 299, 2014.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Editora Átomo. 2005. 444p.

LINS, Patricia Goldschmidt. Campo magnético pulsado na preservação de carne bovina moída. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2011.

MADONI, P. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Research*. 28 (11): 67-75p. 1994.

MARTINS, A.L.C.P.; ANDRADE, P.C.R.; SILVA, J.I. da. Estatística na Avaliação da Qualidade da Água. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v.13, n.2, p. 494-507, out, 2015.

METCALF; EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. [Ed] G. Tchobanoglous & F.L. Burton. McGraw-Hill. 1991. 1334p.

MOURA, Alex Anderson de Oliveira. Influência de campo eletromagnético aplicado no biotratamento de efluente de cromo hexavalente. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)**, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 84 f., 2012.

MUNIZ, J. B. N. F. Influência da ação de campos magnéticos estáticos, não homogêneos, na fermentação alcoólica por *Saccharomyces cerevisiae*. 75f. **Dissertação (Mestrado em Biofísica)** Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.

OLIVEIRA, G.L. de; KIPERSTOK, A.; KALID, R. de A.; ESQUERRE, K.P.S.O.R.; SALES, E.A. Metodologia TECLIM para uso racional de água na indústria: o banco de ideias no contexto da metodologia *front-end loading*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, out./dez., 2016.

OLIVEIRA, G.S.S. de; ARAÚJO, C.V. de M.; FERNANDES, J.G.S. Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetrel. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.14, n.2, p. 183-192, abr./jun., 2009.

RAMALHO, R.S. **Tratamiento de Aguas Residuales**. Editorial Reverte,S.A. 1996. 705p.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (organizadores). **Águas doces no Brasil – capital ecológico, uso e conservação** – 3ª edição. Escrituras editora. 2006. 748p.

REIS, J.A.T. dos; MENDONÇA, A.S.F. Desenvolvimento de sistema de Controle Ótimo para processo de tratamento de efluentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.19, n.4, out./dez., 2014.

RITTMAN, B.E.; McCARTY, P.L. **Environmental Biotechnology: Principles and Applications**. Mc Graw Hill. 2001. 754p.

SANTOS, L.O. Estudo da produção de glutatona a partir de *Saccharomyces cerevisiae* e avaliação da aplicação de campos magnéticos durante as fermentações. 166f. **Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2008.

SANTOS, R.C. de O.; BARBOSA Filho, O.; GIORDANO, G. Proposta de um método racional para o dimensionamento de reatores de tratamento de esgotos por lodos ativados em bateladas para remoção de carga orgânica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p. 153-161, jun., 2006.

SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; DECEZARO, S.T.; MAGRI, M.E.; PHILIPPI, L.S. Experiências brasileiras com *wetlands* construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, jan./mar., 2015.

SOARES, J.F.; ILHA, R.; VASCONCELLOS, N.J.S. de; SANTIAGO, M.R. Caracterização do Floco Biológico e da Microfauna em Sistema de Lodos Ativados. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.36, n.1, p. 001-010, jan./abr., 2014.

SOERGER, E.M.; OLIVEIRA, E.A.A.Q.; MORAES, M.B. Sustentabilidade e Desempenho no tratamento de resíduos na atividade suinícola. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, São Paulo, v.6, n.2, p. 113-134, maio/ago, 2016.

THEBALDI, M.S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A.B.; ROCHA, M.S.; NETO, S.A. Qualidade a água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.3, mar, 2011.

VAZOLLÉR, R.F.; GARCIA, M.A.R.; GARCIA Jr.,A.D.; NETO, J.C. Microbiologia de lodos ativados. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). São Paulo, 1989. 23p.

VILLALPANDA, M.A.; ALMAGUER, H.C.; FIALLO, C.M.A. Comportamiento de la fermentación en mosto cervecero concentrado tratado con campo magnético estático. **Cerveza y Malta**, n.196, p. 25-29, 2012.

VILLALPANDA, M.A.; ALMAGUER, H.C.; FIALLO, C.M.A.; ALMEIDA E SILVA, J.B. de. Influencia del campo magnético estático en la turbidez de la cerveza de alta gravedad. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.16, n.4, p. 273-277, out./dez., 2013.

von SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005; 452 p.

YANO, A.A.; GOMES, L.A. Uso de cloro no controle de bactérias filamentosas em lodos ativados de indústria frigorífica. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.8, n.2, p.146-156, 2013.

ZIN, Guilherme. Efeito de Campo Magnético no Desempenho da Ultrafiltração de Soluções Proteicas Utilizando Membrana Polimérica. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, p. 98, 2014.