

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

Juliana Teófilo dos Santos Pereira

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

JOÃO PESSOA

2019

JULIANA TEÓFILO DOS SANTOS PEREIRA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à Coordenação do Curso de Química Industrial do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Químico Industrial.

Orientador: Prof. Dr. José Soares

JOÃO PESSOA

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

P436e Pereira, Juliana Teofilo Dos Santos.  
ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS / Juliana Teofilo  
Dos Santos Pereira. - João Pessoa, 2019.  
57 f. : il.

Orientação: José Soares.  
TCC (Especialização) - UFPB/CT.

1. DQO. 2. DBO. 3. Fósforo. 4. Nitrogênio. 5. Lodo  
ativado. I. Soares, José. II. Título.

UFPB/BC



## ATA DE DEFESA PÚBLICA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao 1º dia do mês de outubro de 2019, às 14h00min foi realizada, na Sala de Reuniões do DECA, do Centro de Tecnologia – CT, a defesa pública do TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TCC, da discente JULIANA TEÓFILO DOS SANTOS PEREIRA, mat. nº 20170135235, cujo projeto de pesquisa intitula-se: “ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS”.

A Banca Examinadora foi constituída pelo orientador, Prof. Dr. JOSÉ SOARES, Prof. Dr. RAUL ROSENHAIM e Prof. Dr. RENNIO FELIX DE SENA, que emitiu o seguinte parecer:

Orientador (a): Prof. Dr. JOSÉ SOARES Nota: 10,0

1º Avaliador (a): Prof. Dr. RAUL ROSENHAIM Nota: 10,0

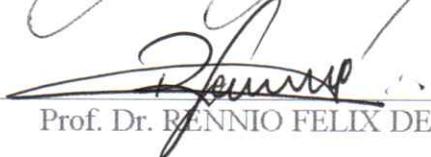
2º Avaliador (a): Dr. RENNIO FELIX DE SENA Nota: 10,0

Foi aprovado com média GERAL 10,0

Eu, Prof. Dr. JOSÉ SOARES, orientador do TRABALHO FINAL DE CURSO, lavrei a presente ata que segue por mim assinada e pelos demais membros da Banca Examinadora.

  
Prof. Dr. JOSÉ SOARES

  
Prof. Dr. RAUL ROSENHAIM

  
Prof. Dr. RENNIO FELIX DE SENA

De acordo:

  
Secretaria CCQI

  
Coordenação CCQI

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, a quem sou grata por tudo e por ter me abençoado durante minha vida e feito chegar até nessa etapa.

A meus pais, Jovaneide Teófilo e Joselito Pereira, por sempre me incentivarem no meu crescimento pessoal e profissional, e a quem devo minha vida e essa conquista e por estarem comigo em todos os momentos.

Ao meu namorado que me acompanhou nessa jornada, Wagner José, por ter sempre me apoiado e incentivado nas dificuldades e por sempre me ajudar a ser melhor como pessoa.

Aos meus amigos que me apoiaram desde o início dessa caminhada acadêmica, sempre me ajudando, sendo verdadeiros ombros amigos e irmãos: Haydée Laiz e Rodrigo Aguiar.

À Universidade Federal da Paraíba e seu corpo docente, em especial aos Professores Rênio Félix, Raul Rosenhaim, Melânia Cornélio e Julice Dutra, à coordenação do curso, à direção e à administração que oportunizaram o futuro que hoje vislumbro, proporcionado pela confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu Orientador Prof. Dr. José Soares, por todo apoio, incentivo, correções e por compartilhar seu conhecimento que é tão rico.

Ao Prof. Dr. Rênio Felix de Senna, pelo acompanhamento durante dois anos de iniciação científica e o estágio supervisionado I.

A todos os alunos e ex-alunos do LCA que me acompanharam durante essa trajetória em especial: Wendell Vinício e Ester Inocêncio.

Ao colega de profissão Edson Bezerra, por todo incentivo, apoio e ajuda para a realização dessa etapa importante na minha vida profissional.

A minha amiga Marcella Alves por ter sido tão disponível e especial nessa caminhada, pela amizade e por ter me ajudado direta e indiretamente na escrita desse trabalho.

A Débora Almeida por ter me ajudado na construção das análises estatísticas.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus amados pais Jovaneide e Joselito, que me impulsionaram nessa jornada de conhecimento, me apoiando incondicionalmente durante o curso de graduação e por me incentivarem a dar sempre o meu melhor.

## **EPÍGRAFE**

“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.”

(Aldous Huxley)

## RESUMO

O tratamento adequado aos efluentes industriais é indispensável antes do seu lançamento ao corpo receptor. Para isso, torna-se necessário utilizar um tipo de tratamento que seja eficiente e se adeque ao tipo de efluente gerado. Dentro desse contexto, levando em consideração os avanços tecnológicos em termos de tecnologias de tratamento de efluentes industriais, o estudo representativo deste trabalho é vindo de uma indústria de fabricação de bebidas. A água é a principal matéria-prima para essas indústrias, pois ela é consumida na fabricação, operações de limpeza, e outros setores. Por isso, se faz necessário o uso racional desse recurso natural e também da sua extrema importância no aspecto ambiental, tendo em vista que esse aspecto é bem valorizado pela empresa. O objetivo desse trabalho é avaliar eficiência de remoção de DQO (demanda química de oxigênio), DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxigênio), Fósforo e Nitrogênio no processo de lodos ativados, sistema de tratamento utilizado, bem como comparar as eficiências de cada parâmetro de controle a fim de garantir um bom funcionamento do mesmo. Para análise de dados, usaram-se técnicas estatísticas de cartas de controle, onde é composto de limite máximo e mínimo de especificação, além de gráficos da eficiência a fim de verificar a otimização do tratamento. Todos os dados foram analisados pelo programa Excel. Os resultados foram obtidos entre o mês de fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019. Foi possível concluir que todos os parâmetros estão entre o limite assegurado pela Resolução CONAMA 430/2011.

**Palavras-chave:** DBO. DQO. Fósforo. Nitrogênio. Lodo ativado.

## **ABSTRACT**

Proper treatment of industrial effluents is indispensable prior to release to the receiving body. For this, it is necessary to use a type of treatment that is efficient and appropriated to the type of effluent generated. Within this context, taking into account technological advances in industrial wastewater treatment technologies, the representative study of this work comes from a beverage manufacturing industry. Water is the main raw material for these industries as it is consumed in manufacturing, cleaning operations and other industries. Therefore, it is necessary the rational use of this natural resource and also its extreme importance in the environmental aspect, considering that this aspect is well valued by the company. The objective of this work is to evaluate COD (Chemical Oxygen Demand); BOD (Biochemical Oxygen Demand), phosphorus and nitrogen removal efficiency in the activated sludge process, treatment system used, as well as to compare the efficiencies of each control parameter. For data analysis, statistical control chart techniques were used, where it is composed of maximum and minimum specification limits, as well as efficiency graphs to verify treatment optimization. All data were analyzed by the Excel program. The results were obtained from February 2018 to February 2019. It was concluded that all parameters are within the limit guaranteed by CONAMA Resolutions 357/2005 and 430/2011.

**Keywords:** BOD, COD, phosphorus, nitrogen, activated sludge.

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema característico do processo de lodos ativados convencional.....	24
<b>Figura 2:</b> Representação esquemática do lodo ativado.....	25
<b>Figura 3:</b> Fotografia da parte lateral da ETE via satélite.....	30
<b>Figura 4:</b> Fluxograma da ETEi.....	31
<b>Figura 5:</b> Caixa de Areia.....	33
<b>Figura 6:</b> Calha Parshall.....	33
<b>Figura 7:</b> ETE - Parte inicial englobando caixa de areia e calha parshall.....	34
<b>Figura 8:</b> Medidor de vazão de entrada.....	34
<b>Figura 9:</b> Tanque de Equalização.....	35
<b>Figura 10:</b> Reator Biológico Aerado.....	36
<b>Figura 11:</b> Dosador de Químico (Ureia e Ácido).....	37
<b>Figura 12:</b> Tanque de Decantação.....	38
<b>Figura 13:</b> Leitos de secagem.....	38
<b>Figura 14:</b> Filtro.....	39
<b>Figura 15:</b> Calha parshall (saída).....	40
<b>Figura 16:</b> Medidor de vazão da saída.....	40
<b>Figura 17:</b> Efluente tratado sendo despejado no rio Mumbaba.....	41

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Eficiência na Remoção da DQO da ETE.....	46
<b>Gráfico 2:</b> Eficiência na Remoção da DBO <sub>5</sub> da ETE.....	47
<b>Gráfico 3:</b> Eficiência na Remoção do Nitrogênio Total da ETE.....	48
<b>Gráfico 4:</b> Eficiência na Remoção do Fósforo da ETE.....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Parâmetros e padrões estabelecidos.....	41
<b>Tabela 2:</b> Variáveis para o monitoramento da ETE e frequência de amostragem.....	43
<b>Tabela 3:</b> Análises físico-químicas, Metodologias e Equipamentos utilizados.....	44
<b>Tabela 4:</b> Eficiência de Remoção nos parâmetros monitorados.....	50
<b>Tabela 5:</b> Dados coletados nas análises em comparação com os dados da Resolução CONAMA 430/2011 e órgão estadual SUDEMA/PB.....	50

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente

DBO<sub>5</sub> - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

DQO - Demanda Química de Oxigênio.

ETE - Estação de Tratamento de Efluente

IT - Instrução de Trabalho

MO – Matéria Orgânica

N - Nitrogênio

OD - Oxigênio Dissolvido

P - Fósforo

PH - Potencial Hidrogeniônico

RBA - Reator Biológico Aerado

SS - Sólidos Suspensos

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

SSF - Sólidos Suspensos Fixos

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
3.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA .....	18
3.2 REUSO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA .....	19
3.3 ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	20
3.4 PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	21
3.4.1 Processos Físicos.....	22
3.4.2 Processos Químicos .....	22
3.4.3 Processos Biológicos.....	22
3.4.4 Fundamentos do tratamento com lodos ativados .....	23
3.5 PARÂMETROS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE .....	26
3.5.1 DQO.....	26
3.5.2 DBO <sub>5</sub> .....	26
3.5.3 Teores de Sólidos Suspensos .....	27
3.5.4 Nitrogênio e fósforo.....	27
3.5.5 Oxigênio dissolvido.....	28
3.5.6 Temperatura .....	28
3.5.7 pH .....	29
3.5.8 Nutrientes .....	29
3.5.9 Cor .....	29
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
4.1 DESCRIÇÃO DO EFLUENTE UTILIZADO .....	30
4.2 FLUXOGRAMA DA ETEI .....	31

4.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE .....	32
4.4	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO.....	41
4.5	PERÍODO DE AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS .....	42
4.6	DADOS DE VAZÃO E CARGA .....	42
4.7	ANÁLISES DE MONITORAMENTO .....	43
4.7.1	Análise Estatística.....	45
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
5.1	EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES .....	45
5.1.1	DQO.....	45
5.1.2	DBO <sub>5</sub> .....	46
5.1.3	Nitrogênio .....	47
5.1.4	Fósforo.....	48
5.1.5	Comparação entre os parâmetros monitorados.....	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água, um elemento vital para a sociedade humana, de disponibilidade limitada, está mostrando ser o recurso natural mais disputado no planeta no século XXI, onde existem países que já sofrem com a escassez de água. Com isso, há uma crescente preocupação no controle de descartes industriais, com a finalidade de proteção dos corpos d'água. (BONGIOVANI, 2010).

Devido ao despejo de esgoto em estado bruto ou com tratamento insuficiente, a qualidade da água dos rios está comprometida, vindos de origem doméstica e/ou industrial. Segundo a Agência Nacional de águas tal prática agrava os impactos ambientais e sociais frutos da escassez de água em certas regiões por causar poluição hídrica.

Uma alternativa para a problemática, os tratamentos baseados em processos biológicos permitem tratar grandes volumes de efluente, apresentam menor custo de funcionamento e simplicidade operacional (FREIRE et al., 2000, DA MOTTA et al., 2003). O tratamento de lodos ativados é o processo mais amplamente usado é o, cujo nível de eficiência é bem elevado (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003).

O sistema de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados é caracterizado por ter alto desempenho de remoção de nutrientes, ocupando um volume relativamente pequeno quando comparado à grande maioria dos sistemas de tratamento. O principal determinante dessa alta eficiência do sistema de lodos é a recirculação de lodo, pois quando gerado no processo de digestão biológica permanece no sistema mais tempo que o líquido, garantindo assim que a biomassa tenha tempo suficiente para digerir a matéria orgânica presente no efluente (VON SPERLING, 2012).

Seu princípio baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes, medida por uma população diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio (SERVIOUR & BLACKALL, 1999).

Um tratamento de efluente adequado exige rigoroso controle do sistema utilizado sobre a influência dos compostos tóxicos no processo. E quão eficiente é o sistema para remoção da carga tóxica, a qual, muitas vezes, é medida através da redução de DQO (demanda química de oxigênio), DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxigênio), ou outro composto cuja remoção é indispensável para disposição final (OLIVEIRA et al., 2009).

Dentre as medidas de controle, destacam-se também os sistemas avançados de tratamento para remoção de nitrogênio e fósforo, que se tornaram uma questão importante. Para lagos rasos, foram conduzidos como medidas eficazes direta. No entanto, a disposição adequada do lodo gerado tornou-se um problema sério (INAMORI et al., 2001; MIZUOCHI et al., 2002).

Este trabalho foi desenvolvido para mostrar a eficiência na remoção de nitrogênio, fósforo, DBO<sub>5</sub> e DQO através da caracterização do efluente, numa indústria de bebidas, variáveis que quando controladas e otimizadas permitem aumentar a eficiência do tratamento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o processo de lodos ativados visando obter água para reuso no tratamento de efluente gerado em uma indústria de bebidas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a eficiência de remoção de DQO, DBO<sub>5</sub>, Fósforo e Nitrogênio, no processo de lodos ativados;
- Comparar os parâmetros analisados com a legislação.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA**

O processo de tratamento de esgotos tem por finalidade separar a fase líquida da fase sólida, tratando-se separadamente e de forma adequada cada uma destas fases. Tem como objetivo reduzir ao máximo a carga poluidora.

Ao final do processo, tanto a fase líquida quanto a sólida devem estar aptas, segundo a Resolução nº 355, de 19 de julho de 2017, do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) a serem descartadas nos corpos hídricos receptores (fase líquida), aterro sanitário ou outra aplicação específica (fase sólida), sem prejuízo ao meio ambiente.

O reuso planejado de águas residuais não é um conceito novo e já é praticado há muitos anos (SCHNEIDER *et al.*, 2001). No Brasil, entretanto, as águas residuais não são aproveitadas como poderiam, isso se dá devido à falta de uma legislação específica que oriente e delimite o tema no país.

A lei que mais se aproxima do tema é a Lei Nº 9433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, apresenta vários dispositivos que apontam o reuso como uma importante alternativa para a racionalização do uso da água. Porém, essa lei não traz especificações que priorizem a segurança do meio ambiente e dos usuários, tanto no quesito manuseio como no consumo da água de reuso.

Segundo a Resolução CONAMA 430/2011, foram completadas informações sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como

diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

### **3.2 REUSO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA**

A conservação da água engloba uma série de ações ligadas à redução de consumo e desperdício de água. Também está ligada ao aumento da eficiência na utilização desse recurso juntamente com a evolução de técnicas apropriadas de reciclagem e reuso de água, que sejam mais econômicas e garantam a segurança e saúde de seus usuários (CAMPOS, 2013).

Água de Reuso corresponde ao produto obtido de um tratamento avançado dos esgotos gerados pelos imóveis conectados à rede coletora de esgotos. O seu uso pode ser feito apenas em situações onde não sejam necessários que a água seja potável, mas sanitariamente segura como: geração de energia, refrigeração de equipamentos, em diversos processos industriais, lavagem de ruas entre outros. (CALDAS; SAMUDIO, 2016).

O reuso de efluentes tratados nas indústrias, para fins não potáveis está ganhando importância de vários segmentos devido à competição crescente e às normas ambientais cada dia mais severa. Enquanto o tratamento de efluente convencional tem como objetivo atender aos padrões de lançamento, a motivação para o reuso é a redução de custos e muitas vezes para assegurar a qualidade do abastecimento de água. (CALDAS; SAMUDIO, 2016).

A escassez de água nos grandes centros urbanos e o aumento de custos para sua captação e posterior tratamento, faz do reuso de água um tema de enorme importância nos dias atuais. Isso se deve ao aumento do grau de poluição das fontes de água, pois contribui diretamente para a geração e para a redução de custos garantindo o uso racional da água. (LEGNER, 2013).

A grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar água potável exclusivamente para atendimento de necessidades que exigem a sua potabilidade, como para o abastecimento humano. Entre outras vantagens estão a redução do volume de esgoto descartado e a redução dos custos com água, luz e esgoto (LEGNER, 2013).

Para reuso de águas residuárias numa indústria, MARTINS & ALMEIDA (1999), lembram que faz-se necessário o conhecimento das características físico-químicas das mesmas, de modo a definir novas utilizações, atendendo aos parâmetros pré-definidos no processo produtivo. Isto é, as análises das águas residuárias tornam-se imprescindíveis, a fim de se avaliar a sua qualidade logo após o descarte e a necessidade de tratamento antes de sua reutilização.

### 3.3 ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Um sistema de tratamento de efluentes deve ser escolhido observando as características dos contaminantes presentes, dos custos envolvidos na operação e instalação da estação de tratamento, bem como da qualidade para o efluente tratado. As principais etapas envolvidas são:

- **Pré-tratamento:** Consiste em sujeitar os efluentes à forte separação de sólidos. Em geral, são utilizados dois processos nesta etapa: o gradeamento e a desarenação. Visa à adequação do efluente ao tratamento subsequente e proteção dos próprios equipamentos, tais como bombas e válvulas. Esta fase inclui normalmente um sistema para remoção de sólidos flutuantes ou sem suspensão de maiores dimensões.
- **Tratamento primário:** Destina-se a remover por decantação ou precipitação os sólidos finos de pequena dimensão, tais como partículas granulares e floculentas.
- **Tratamento secundário:** Visa à remoção de colóides e matéria dissolvida. A nível dos tratamentos biológicos é comum a opção pelos sistemas de lodos ativados, leitos percolados ou lagoas de aeração.
- **Tratamento terciário:** Consiste em aplicar técnicas para remover poluentes específicos que não foram retirados pelos processos mais comuns. Por exemplo, essas substâncias podem ser compostos não biodegradáveis, nutrientes e metais pesados que exigem maior grau de tratamento. A utilização do tratamento terciário pode viabilizar a reutilização do efluente tratado e dependendo do poluente a eliminar

pode-se recorrer à filtração com areia, adsorção com carvão ativado, remoção de fósforo e nitrogênio por processos biológicos, resinas de troca iônica, tecnologia com membranas (osmose inversa, ultrafiltração, microfiltração), oxidação química, entre outros. (BONGIOVANI, 2010).

Na maioria dos casos, o tratamento secundário promove adequada remoção de DBO<sub>5</sub> e sólidos suspensos. O tratamento terciário, empregando processos avançados, é necessário para que os efluentes de plantas possam ser reusados ou reciclados, direta ou indiretamente, na planta industrial. Esta prática aumenta a disponibilidade de água para suprimento industrial ou doméstico, e porque alguns corpos d'água não são capazes de tolerar as cargas de poluentes do tratamento secundário (MACHADO, 2005).

### **3.4 PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Historicamente, diversas providências foram adotadas para que tais poluentes não fossem despejados diretamente nos ecossistemas aquáticos. Entre elas, a implantação de estações de tratamento de águas residuais para efluentes industriais tornaram-se comuns nos parques industriais em torno do mundo (OLLER *et al.*, 2011).

O princípio dessas estações no passado era a detecção direta de efeitos graves causados pelos poluentes, com isso os impactos negativos de curto prazo sobre os ecossistemas aquáticos eram evitados. Mas a avaliação ambiental, realizada em longo período de tempo, revelou que um número considerável de efeitos crônicos eram comuns.

Concomitantemente a quantidade de substâncias poluidoras e seus despejos aumentaram significativamente, fato que levaram à mudança de atitude no tratamento de efluentes industriais (VARE, 2006; SCHINDLER e SMOL, 2006; MEYER e WANIA, 2007).

A descarga de efluentes industriais em quantidades superiores à capacidade de assimilação do corpo receptor ocasiona a contaminação do ambiente e conseqüentemente prejuízos à saúde pública. Especialmente nos ecossistemas aquáticos é comum ocorrer uma diminuição da concentração de OD. Em condições extremas, observa-se a mortandade de diversos

organismos vivos presentes no ecossistema aquático poluído. De modo geral, os 19 processos de tratamento podem ser classificados, em função de seu mecanismo predominante, em processos físicos, químicos e biológicos (JORDÃO *et al.*, 1997).

### **3.4.1 Processos Físicos**

Os processos físicos se baseiam no fenômeno de separação de fases distintas, aplicáveis, principalmente, a substâncias em suspensão ou com densidade distinta do esgoto. Exemplo: areia e gorduras presentes no esgoto, respectivamente.

Podem ser relacionados como processos físicos: i) remoção de sólidos grosseiros; ii) remoção de sólidos sedimentáveis; iii) remoção de sólidos flutuantes; iv) remoção da umidade do lodo; v) filtração; e vi) homogeneização. (OLIVEIRA, 2012).

### **3.4.2 Processos Químicos**

Os processos químicos são aqueles em que há necessidade de dosagem de produtos químicos, e, para efluentes sanitários, raramente são adotados isoladamente, sendo utilizados, geralmente, quando os processos físicos ou biológicos, por si só, não são suficientes para obtenção da qualidade desejada para o efluente final (JORDÃO *et al.*, 1997). Jordão e Pessoa (1995), citam como processos químicos mais comumente adotados no tratamento de esgotos os seguintes: i) floculação; ii) precipitação química; iii) elutriação; iv) oxidação química; v) cloração; e vi) neutralização de pH. (OLIVEIRA, 2012).

### **3.4.3 Processos Biológicos**

O tratamento biológico do efluente é a indução forçada de fenômenos naturais. É um processo de degradação de certas substâncias orgânicas mediante enzimas secretadas por microrganismos. Em geral, podem-se distinguir duas formas de tratamento biológico:

**Aeróbio:** quando o oxigênio está associado às reações biológicas. O carbono orgânico se converte em CO<sub>2</sub> e lodos. O tratamento biológico aeróbio é uma reprodução do mecanismo de biodegradação que ocorre naturalmente nos rios, a autodepuração (VAZOLLÉR *et al.*, 1991).

**Anaeróbio:** quando as reações bioquímicas têm lugar na ausência de oxigênio em um ambiente redutor. O carbono orgânico se converte em CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metano) e lodo (CHERNICHARO, 1997).

Os principais processos biológicos de tratamento de efluentes por oxidação biológica e digestão de lodo e suas respectivas variantes são (VON SPERLING, 1996): i) Lagoas de Estabilização; ii) lodos ativados; iii) sistemas aeróbios com biofilmes; iv) sistemas anaeróbios; e v) sistemas de Disposição no Solo.

No tratamento biológico ou secundário, o efluente proveniente do tratamento físico-químico já contendo teores menos elevados de substâncias nocivas necessita sofrer processos de depuração. Para isso, é necessário proporcionar condições favoráveis à oxidação biológica, pois as bactérias são providas de alta carga de MO (TORRES, 2005).

A fundamentação do tratamento biológico com lodo ativado está sustentada na atividade metabólica de microrganismos responsáveis pela oxidação da MO (LESTER e BIRKETT, 1999). Sendo que, sua principal aplicação está orientada na remoção da MO, melhoria na DQO e DBO<sub>5</sub> (FREIRE *et al.*, 2000).

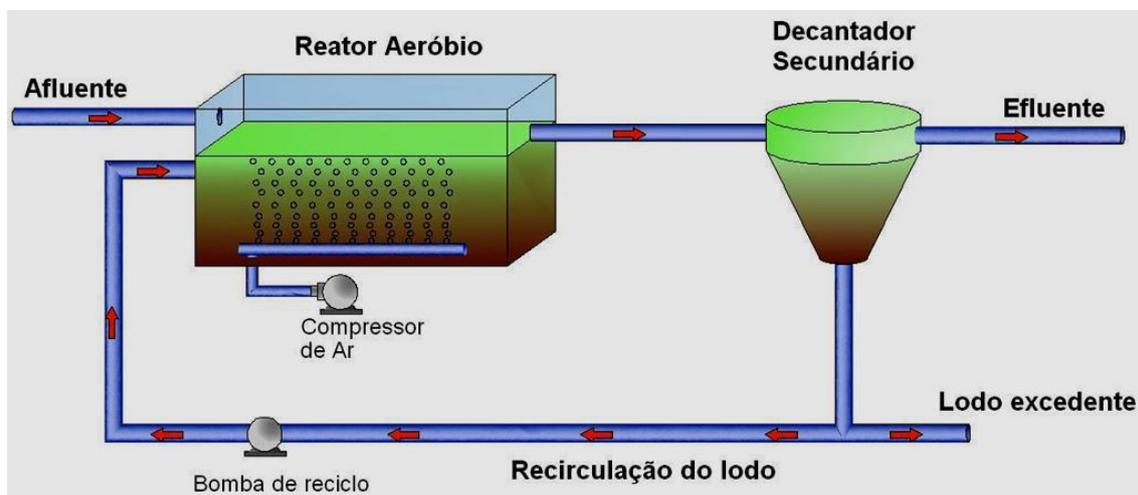
A eficiência do processo depende da relação da carga orgânica diária e a massa de microrganismos contida no reator. Existem outras relações que são utilizadas, como alimento/microrganismo; disponibilidade de oxigênio; forma de alimentação dos reatores; concentrações de biomassa nos reatores; forma de retenção da biomassa nos reatores (GIORDANO, 2004).

#### **3.4.4 Fundamentos do tratamento com lodos ativados**

Dentro de um contexto histórico, o processo de lodos ativados foi descoberto na Inglaterra por Arden e Lockett em 1914, que teve como foco inicial a remoção de matéria orgânica nas águas residuárias. Desde então,

modificações técnicas foram incorporadas ao processo, e desse modo, numerosas variantes do processo estão em uso (STYPKA, 1998).

O lodo ativado é um processo tratamento de efluentes destinados a remoção de poluentes biodegradáveis, matéria orgânica e outros compostos. O processo é baseado na oxidação da matéria orgânica nos reatores biológicos, que depois é feita a decantação. Parte dos sólidos sedimentados no fundo do decantador é recirculado para o reator, para se manter uma alta concentração de biomassa no reator biológico, a qual é responsável pela elevada eficiência do processo.



**Figura 1:** Esquema característico do processo de lodos ativados convencional  
**Fonte:** adaptado de VON SPERLING, 1997

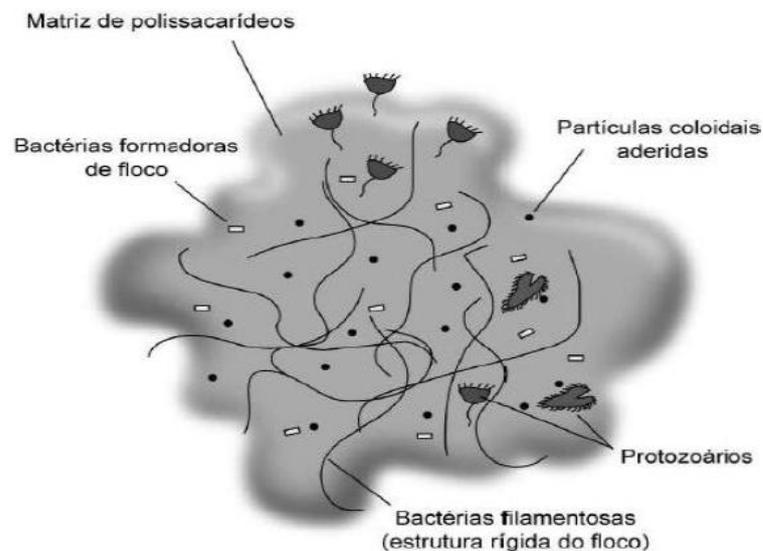
A Figura 1 mostra o sistema de lodos ativados convencional, que é composto pelo tanque de aeração e o decantador secundário. Na maioria dos sistemas é realizado em fluxo contínuo, onde o efluente é misturado com o lodo ativado sob aeração, onde os microrganismos utilizam a matéria orgânica para geração de energia.

Para isso, é necessário uma mistura eficaz e a utilização do sistema de aeração que introduz o oxigênio proveniente do ar atmosférico e também para que os microrganismos não fiquem no fundo do reator. Essa mistura é chamada de "licor". Após a aeração, o licor é enviado para o decantador secundário, com objetivo de separar o efluente do lodo, ainda ocorre a

sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo a clarificação do efluente final.

No reator biológico ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica, e dependendo de certas condições, até mesmo da matéria nitrogenada. A biomassa ali desenvolvida acaba por utilizar o substrato que está presente no esgoto bruto para se desenvolver, formando flocos. (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Sendo assim, é importante a presença de bactérias formadoras do floco, bactérias filamentosas as quais dão mais rigidez e estrutura ao floco, matriz de união das células, protozoários que auxiliam na clarificação do efluente final e demais partículas presentes conforme mostrado na Figura 2. Posteriormente, o efluente é encaminhado para a unidade de decantação (JORDÃO; PESSÔA, 2011).



**Figura 2:** Representação esquemática do lodo ativado  
**Fonte:** VON SPERLING, 1997

O lodo excedente é levado para uma etapa de estabilização complementar, por ainda conter um grande teor de matéria orgânica na sua composição. E o sobrenadante do decantador é o efluente tratado, pronto para descarte no corpo receptor.

Conforme Sant'Anna Jr. (2013), o processo de sedimentabilidade do lodo é de extrema importância para um bom funcionamento do processo de

lodos ativados, visto que, se a mesma não for adequada, o tanque de aeração não atingirá a concentração microbiana necessária. Logo, a perda de sólidos, ou o arraste dos mesmos no decantador prejudicará diretamente a qualidade do efluente tratado.

O processo de lodo ativado tem sido utilizado com sucesso, no tratamento de efluentes domésticos e industriais, em que uma elevada qualidade do efluente é necessária e a disponibilidade de área é limitada, sendo que a sua escolha deve depender de estudo prévio, onde deverá ser definida sua aplicação (VON SPERLING, 1997).

### **3.5 PARÂMETROS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE**

Parâmetro é a grandeza que indica características, sendo elas de natureza física, química ou biológica. Já padrão se refere a um valor estabelecido e que não pode ser excedido, ou que tenha um valor mínimo, considerando um determinado período. (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Em tratamento de efluentes, é necessário que se obtenha conhecimentos acerca de parâmetros de qualidade relacionados com as necessidades do projeto, operação, e desempenho de ETEs, juntamente com as exigências legais (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

#### **3.5.1 DQO**

O objetivo da análise da DQO é 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 (SPERLING, 2014).

Um dos motivos de se utilizar o teste da DQO é que o mesmo leva em torno de 2 horas ou menos para que se obtenha o resultado, enquanto a  $DBO_5$  leva no mínimo 5 dias. Todavia, o teste da DQO considera tudo o que é susceptível a demandas de oxigênio, ou seja, não compreende apenas a parte biodegradável, que é a premissa da  $DBO_5$ . (JORDÃO E PESSOA, 2011).

#### **3.5.2 $DBO_5$**

A demanda bioquímica de oxigênio é a quantidade de oxigênio necessária para que se estabilize a matéria orgânica contida na água ou no esgoto, através de microrganismos, em sua predominância bactérias. Quanto maior for o valor da DBO<sub>5</sub>, maior será a concentração de poluentes biodegradáveis (NUVOLARI, 2003).

### **3.5.3 Teores de Sólidos Suspensos**

Sólidos suspensos (SS) no sistema de lodo ativados devem ser analisados de acordo com seu tipo, e são definidos como as partículas que se encontram em suspensão na água.

Os sólidos suspensos voláteis (SSV) representam a massa de microrganismos presentes no sistema. Os sólidos suspensos fixos (SSF) são os componentes inertes dos sólidos em suspensão. Os sólidos suspensos totais (SST) são a soma dos SST E SSF. (CLAAS,2007).

Para conservar a biomassa de sólidos ativa no reator biológico é preciso manter valores entre 10% e 30% de sólidos fixos e 70% a 90% de sólidos voláteis. A relação entre os SS e os SSV deve ser mantida nesta faixa a fim de garantir o material ativo no tanque, responsável pela depuração da matéria orgânica (CLAAS,2007).

### **3.5.4 Nitrogênio e fósforo**

O nitrogênio (N) encontra-se na natureza de forma considerável, representando 78% do volume da atmosfera. Além disso, o mesmo se encontra em vários depósitos de minerais, sendo um constituinte importante de proteína para todos os organismos vivos (CAVALCANTI, 2009).

É um parâmetro importante para o crescimento de organismos e plantas no geral. Quando retratado o assunto poluição, pode-se falar em uma contaminação recente com a presença de nitrogênio orgânico e amoniacal e uma contaminação mais antiga estão presentes sob a forma de nitrato e nitrito (GALINNA, 2012).

O fósforo total (P) pode estar presente sob duas formas: fosfatos orgânicos e fosfatos inorgânicos. A parcela inorgânica se refere a detergentes

e produtos químicos utilizados nas limpezas, e a orgânica tem origem fisiológica. Em determinadas situações, a sua presença pode estar relacionada à decomposição de matéria orgânica ou à dissociação de componentes do solo (METCALF; EDDY, 2003).

A remoção dos nutrientes N e P dos efluentes industriais deve ser realizada com eficiência, não apresentando quantidades significativas dos mesmos no seu lançamento no corpo hídrico receptor. Sabe-se que quantidades apreciáveis de N e P em meios líquidos ocasiona o processo de eutrofização, alterando características da água, redução da lâmina líquida e acréscimo de lodo no leito de rios (SANT'ANNAJR. 2013).

De acordo com Sperling (2014), a eutrofização é o crescimento descontrolado de plantas aquáticas, sejam elas com pouca movimentação ou aderidas, em condições tais que possam interferir no uso das águas.

### **3.5.5 Oxigênio dissolvido**

O teor de oxigênio dissolvido (OD) é de extrema importância no controle do sistema de lodos ativados. Em excesso pode causar perdas e em falta pode resultar em um fator limitante no crescimento dos microrganismos.

A faixa de concentração ideal de oxigênio dissolvido é de 1,0 a 2,0 mg/L (CLAAS, 2007). A NBR 12209 (1992), recomenda a concentração de 1,5 mg/L quando a idade do lodo for igual ou superior a 18 dias e 2,0 mg/L quando a idade do lodo for menor que 18 dias.

### **3.5.6 Temperatura**

As reações químicas e biológicas existentes tendem a aumentar com a temperatura, que influencia no metabolismo microbiano interferindo nas taxas de oxidação da matéria orgânica (VON SPERLING, 1997). Sawyer e Mc Carty (1978, apud VON SPERLING, 1997, p.105) “nas reações químicas, uma regra aproximada é de que a velocidade de reação dobra para cada aumento de 10°C na temperatura do meio [...]”.

A temperatura é, então, um fator seletivo da biomassa, podendo ocasionar mudanças na mesma. O valor considerado ótimo para o crescimento

e sobrevivência dos microrganismos no sistema está entre 20°C e 30°C, sendo que o valor máximo é de 40°C e o mínimo de 4°C. Além disso, a temperatura influencia na concentração de oxigênio na água: quanto maior a temperatura menor a concentração de oxigênio na água (VON SPERLING, 1997).

### **3.5.7 pH**

O pH do sistema de lodos ativados desempenha um papel importante no seu funcionamento e, por isso, deve ser constantemente monitorado. A faixa de pH considerada ótima é de 6,0 a 8,0 (próximo do pH neutro), valores abaixo ou acima destes podem causar efeitos prejudiciais ao sistema. (CLAAS, 2007).

Mudanças bruscas de pH podem causar efeito tóxico para os microrganismos que são responsáveis pelo tratamento biológico. Afeta as reações enzimáticas, diminuindo a velocidade das reações existentes no sistema (CLAAS, 2007).

### **3.5.8 Nutrientes**

Os microrganismos necessitam de nutrientes para se desenvolverem e os elementos nitrogênio e fósforo, proporcionam essa condição. Segundo Claas (2007), a proporção ideal de nutrientes para lodos ativados que operam em faixas de crescimento ativo é dada por  $DBO_5:N:P = 100:5:1$ .

É necessário verificar periodicamente a disponibilidade de nutrientes no efluente de entrada do reator para contatar se há ou não necessidade de dosagem de nutrientes no sistema de lodos ativados.

### **3.5.9 Cor**

. Uma água isenta de cor, apesar de apresentar um aspecto mais agradável. A determinação da cor é, antes de tudo, referente à caracterização estética do corpo receptor, sem necessariamente possuir significado sanitário que uma água colorida, pode também não estar dentro dos padrões ambientais.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

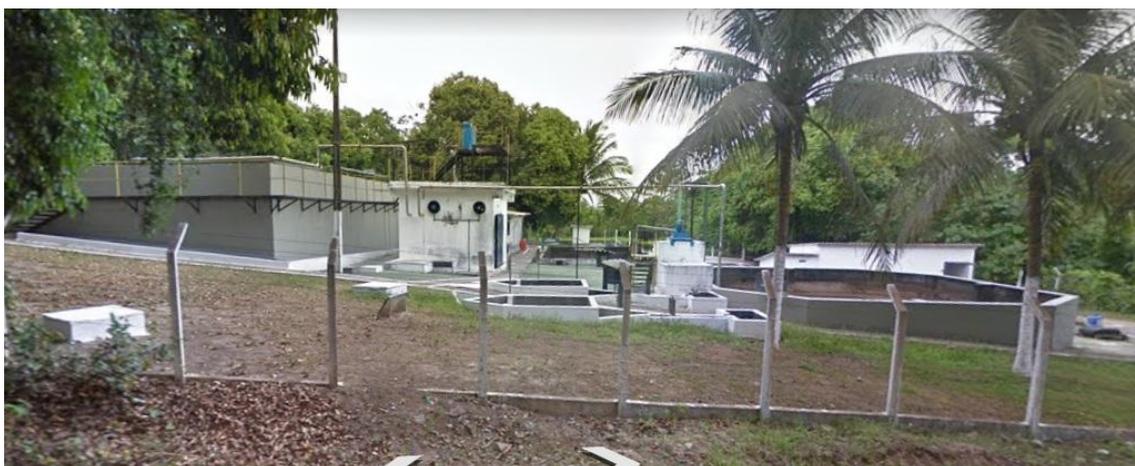
### 4.1 DESCRIÇÃO DO EFLUENTE UTILIZADO

O efluente a ser tratado pela estação de tratamento industrial (ETEi) é de uma indústria de bebidas, localizada no município de Santa Rita- PB. Ele não provém apenas da produção, e sim de vários outros setores da empresa como o refeitório, administração, manutenção, almoxarifado. Sendo assim, destina-se qualificar as águas que chegam para o tratamento.

Após a identificação dos setores que despejam seus efluentes na ETEi, pode-se classificar os insumos fornecidos pela mesma, segundo seu plano de gestão de resíduos, como: esgoto químico, efluente químico, resíduos líquidos, resíduos sólidos e esgoto sanitário.

ETEi é dotada de uma infraestrutura que trata as águas residuais e industriais, comumente chamadas de despejos industriais, para depois serem escoadas para o mar ou rio com um nível de poluição aceitável, através de um emissário, (CONAMA 357/2005, Lei 9.433/97, Decreto 24.643 de 1934 e CONAMA 430/2011) conforme a legislação vigente da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, para o meio ambiente receptor.

Na figura 2, mostra a parte lateral da ETEi da empresa estudada.



**Figura 3:** Fotografia da parte lateral da ETE via satélite  
**Fonte:** Google Earth

## 4.2 FLUXOGRAMA DA ETEI

No fluxograma da estação de tratamento (Figura 4) o processo de tratamento da estação que foi elaborado por meio de um organograma onde ocorre processos sequenciais. Em primeiro lugar, no ápice da pirâmide do fluxograma, trás o efluente pronto para começar o seu tratamento com o efluente sendo direcionado a dois filtros de tratamentos: grade grossa e tela fina.

Em seguida, observa-se uma caixa de areia, que é utilizada para reter alguns possíveis resíduos sólidos. Logo após é encontrada a calha parshall, que serve para medir a vazão do efluente. Em seguida, o último processo de filtragem é a peneira estática.

A partir daí, seu processo começa a operação com os três tanques do processo: Tanque de equalização, onde será homogeneizado o efluente, tanque aerador, onde será oxigenado o efluente e por fim, o tanque decantador onde acaba o processo de tratamento biológico do efluente.

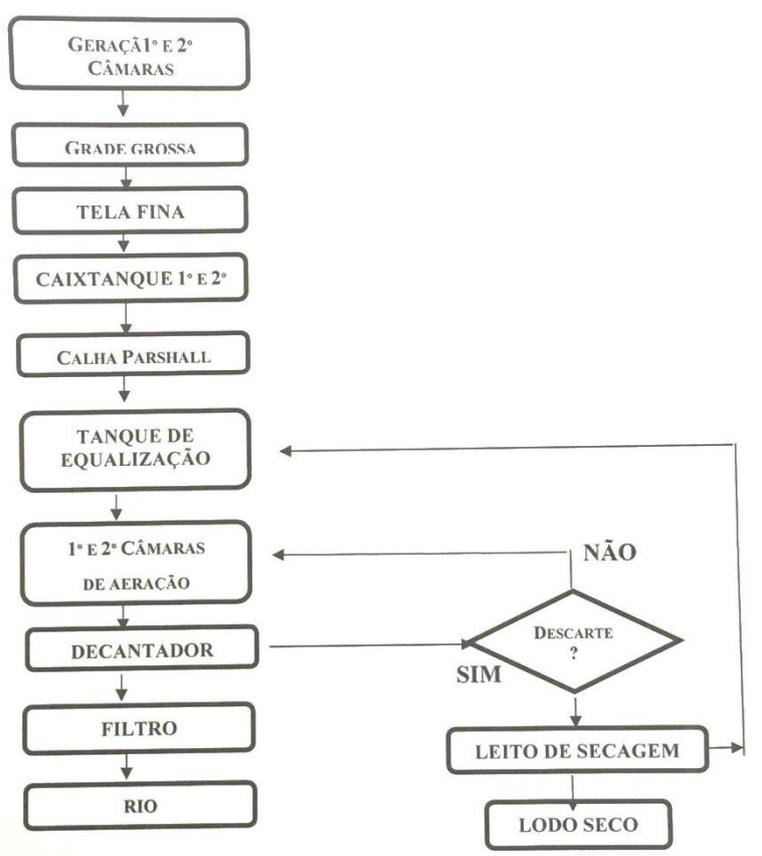


Figura 4: Fluxograma da ETEi

### 4.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

A estação possui duas caixas de areia, duas calhas parshall, um tanque equalizador, dois tanques aeradores (aeróbicos), uma peneira estática, dois tanques decantadores, um filtro de brita e dez leitos de secagem para lodo.

O processo de tratamento é feito de forma que o resíduo industrial oriundo da produção, xaroparia, refeitório e de vários outros setores sejam direcionados às tubulações. E antes de chegarem à estação de tratamento, passem por um pré-tratamento direcionado a ultrapassar por duas peneiras intituladas de grades grossas e tela fina.

Seguindo esse processo, o efluente pré-tratado, em função de reter alguns resíduos sólidos advindos da produção, a exemplo de tampinhas de garrafas, passa diretamente pela estação de tratamento. A estação é anexa a indústria, na proximidade do rio Mumbaba localizado em Santa Rita município brasileiro do estado da Paraíba, situado na microrregião de João Pessoa.

O efluente chega a ETEi onde é recebido com uma caixa de areia (Figura 5) que funciona como filtro para reter impurezas sólidas, como também, resíduos de óleo, desinfetante, detergente, solvente, ácidos e/ou bases fortes que poderão comprometer o processo. Após as caixas de areia localiza-se a calha Parshall (Figura 6) que serve como hidrômetro, para ser medida a vazão da quantidade de efluente a ser tratado.



**Figura 5:** Caixa de Areia



**Figura 6:** Calha Parshall

Seguida por peneira estática, filtrando os últimos resíduos sólidos que ainda tentam passar no processo, antes da entrada nos tanques de tratamento.



**Figura 7:** ETE – Parte inicial englobando caixa de areia e calha parshall



**Figura 8:** Medidor de vazão de entrada

Dando continuidade ao real fluxo do efluente industrial da empresa, tem-se o início do tratamento físico, no qual, o resíduo é depositado em dois tanques de equalizações (Figura 9) formando uma mistura homogênea. O equalizador é utilizado para controlar a vazão bruta e homogeneizar o efluente, a fim de coibir variações bruscas e manter uma carga constante.

Com isso, dando seguimento ao processo, agora biológico, no tanque aerador também chamado de reator biológico aerado (RBA), o maior da ETE.



**Figura 9:** Tanque de Equalização

Na chegada do efluente ao RBA (Figura 10) são feitas análises do reator para saber de sua continuidade no processo do agente biológico (bactéria BIOMIX – *Bacillus cereaus*, *Bacillus subtilis*) que dentro do tanque de aeração é alimentada por micronutrientes e reagentes que consomem a matéria orgânica, ou seja, os corpos estranhos que chegam juntamente com o efluente industrial.



**Figura 10:** Reator Biológico Aerado

Durante o bioprocesso são utilizados quatro compostos químicos para melhorar a eficiência da bactéria, são eles: cal, soda cáustica, uréia e ácido fosfórico, os quais são dosados de acordo com a necessidade.

A cal e a soda são adicionadas no RBA para controlar o pH, que tende a crescer, naturalmente, comprometendo a vida da bactéria. No caso da uréia e do ácido fosfórico são acrescidos, em caso de desequilíbrio, na alcalinidade.

Nas duas situações é importante a observação dos parâmetros que são expostos, aos operadores da ETEi, em tabelas. Pois, caso o processo entre em desequilíbrio é comum à bactéria sofrer intoxicação e morrer, inibindo o processo. As bactérias que ora tratam o efluente, após seu tempo de vida útil, passam a resíduo sólido considerado um tipo de lodo de estação de tratamento. O qual contém uma cor amarelada e, quando seco, serve como adubo natural.



**Figura 11:** Dosador de Químico (Ureia e Ácido)

Após o processo do RBA o efluente e o lodo restante da estação de tratamento chegam aos tanques de decantação (Figura 12) onde será assentado o efluente para descanso. A partir deste processo, o sobrenadante do lado, ou seja, a água tratada é direcionada ao próximo tratamento.

O filtro de areia e brita aonde o lodo depositado no fundo dos decantadores são direcionados aos leitos de secagem de lodo (Figura 13), onde ficam depositados em exposição ao sol ate desaparecer quase que totalmente.



**Figura 12:** Tanque de Decantação



**Figura 13:** Leitos de secagem

Assim o efluente que chega ao filtro de areia e brita (Figura 14) ainda contém poucos resíduos de lodo que serão assentados na parte superior do filtro. E logo após, vai para o próximo passo do tratamento, onde se tem uma água visivelmente cristalina e bem tratada.



**Figura 14:** Filtro

Todo líquido tratado será depositada na calha Parshall (Figura 15), onde será medida a vazão da saída do efluente. Tem o objetivo de assegurar que a mesma quantidade de efluente que entra na estação e a mesma que sai, sem perdas no processo e com ótimas características.



**Figura 15:** Calha parshall (saída)



**Figura 16:** Medidor de vazão da saída



**Figura 17:** Efluente tratado sendo despejado no rio Mumbaba

Depois de garantir todo processo de tratamento do efluente, ele é despejado na margem do rio Mumbaba, como mostra na Figura 17.

#### **4.4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO**

A avaliação da eficiência do tratamento foi realizada utilizando-se os parâmetros de monitoramento descritos nas Instruções de Trabalho (IT), estipulados pela empresa (Tabela 1) através do órgão estadual SUDEMA/PB e da resolução CONAMA 430/2011.

**Tabela 1:** Parâmetros e padrões estabelecidos para o efluente tratado

<b>Parâmetro</b>	<b>Padrão estabelecido</b>
DQO	$\leq 100$ mg/ L
ALCALINIDADE TOTAL	$\leq 500$ mg / L
ACIDEZ TOTAL	$\leq 100$ mg / L
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	$\geq 4$ mg / L
DBO	$\leq 120$ mg/L
FÓSFORO TOTAL	$\leq 1$ mg/L

NITROGÊNIO TOTAL	≤ 10 mg/L
NITRITO	≤ 1 mg/L
NITRATO	≤ 10 mg/L
FERRO	≤ 0,3 mg/L
CLORETO	≤ 250 mg/L
RENDIMENTO DQO DA ETEi	≤ 80%

---

Após as análises dos padrões, realizou-se o cálculo da eficiência dos dados. A equação utilizada para calcular a eficiência, de acordo com Azzolini e Fabro (2013), é a seguinte:

$$Eficiência (\%) = \frac{Parâmetro\ entrada - Parâmetro\ saída}{Parâmetro\ entrada} * 100 \quad (1)$$

#### 4.5 PERÍODO DE AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS

Para a realização do presente trabalho, foram utilizados os dados fornecidos pela empresa, em um período de um ano (fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019), onde contém informações do controle da operação da ETE.

Esses dados foram medidos na saída do tratamento primário, no tratamento biológico e na saída do efluente final. Também serão avaliados DQO, DBO<sub>5</sub>, nitrito, nitrato, pH, acidez, entre outros. A coleta foi feita em frascos tipo bombonas e levadas ao laboratório para análise.

#### 4.6 DADOS DE VAZÃO E CARGA

Os resultados das vazões utilizadas foram obtidos através da leitura de um sensor ultrassônico. Todos os dias às 07:00h, um dos operadores da ETE coleta os valores acumulados, no total de 24 horas, e realiza a subtração deste valor com o coletado no dia anterior, obtendo-se, assim, o valor da vazão diária, em m<sup>3</sup>/dia.

Os valores são armazenados em planilhas eletrônicas (Excel®). Para o estudo, optou-se em utilizar os valores mensais de vazão, visto que as análises

realizadas pelo laboratório também ocorreram de forma mensal, assim, realizou-se a soma de todas as vazões diárias medidas pelo sensor. Para determinadas relações utilizou-se o valor médio das vazões mensais.

Para esse estudo, os dados de vazão e carga não foram disponibilizados.

#### 4.7 ANÁLISES DE MONITORAMENTO

Todas as análises realizadas serviram para controlar o processo e verificar se os resultados estão dentro dos padrões estabelecidos.

Seu principal objetivo é mostrar a eficiência do tratamento. A frequência de análises varia de diariamente ou quinzenal e disso depende do tipo de análise realizada. Como mostrada abaixo na Tabela 2.

**Tabela 2:** Variáveis para o monitoramento da ETE e frequência de amostragem

Variável	Amostra	Frequência
pH	EE, RBA, ET	Diário
DQO	EQ, ET	Quinzenal
DBO	EE, RBA, ET	Quinzenal
Nitrogênio Total	EE, RBA, ET	Quinzenal
Fósforo	EE, RBA, ET	Quinzenal
OD	EE, RBA, ET	Quinzenal
OD	EE, RBA, ET	Diário
Nitrito	ET	Quinzenal
Nitrato	ET	Quinzenal
Ferro	ET	Quinzenal
Acidez	EE, ET	Quinzenal
Alcalinidade	EE, ET	Quinzenal

EE - Efluente entrada      EQ - Efluente equalizado  
 ET – Efluente tratado  
 RBA - reator anaeróbico

Todas as análises foram feitas no laboratório anexo a Estação de Tratamento da empresa de bebidas, e a Tabela 3 mostra a referência para as análises realizadas.

**Tabela 3:** Análises físico-químicas, Metodologias e Equipamentos utilizados

<b>Análise físico-química</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Equipamento</b>
pH	Potenciométrico	Phmetro EasyFive da marca Mettler Toledo
DQO	Colorimétrico de DQO	Termorreator TR 300 da marca Merck e Fotômetro HI 93099 da marca Hanna Instruments Brasil
DBO	Diluições com semeadura e incubação a 20 °C (Método DBO <sub>5</sub> )	Conjunto de frascos de DBO de 330mL com rolha de vidro da marca Brand e Incubadora TE-371 da Tecnal
Nitrogênio Total	Colorimétrico	Fotômetro HI 93099 da marca Hanna Instruments Brasil
Fósforo	Colorimétrico	Fotômetro HI 93099 da marca Hanna Instruments Brasil
OD	Iodometria de Winkler	Conjunto de frascos de DBO de 330mL com rolha de vidro da marca Brand, erlenmeyer de 250 mL, proveta de 250mL, bureta de 50mL, balão volumétrico de 1000mL, pipeta volumétrica de 10 e 20mL da marca Aurilabor
OD	Oximetria	Oxímetro HI9146 da marca Hanna Instruments Brasil
Nitrito	Colorimétrico	Fotômetro HI 93099 e Kit Test da marca Hanna Instruments Brasil
Nitrato	Colorimétrico	Fotômetro HI 93099 e Kit Test da marca Hanna Instruments Brasil
Ferro	Colorimétrico	Fotômetro HI 93099 e Kit Test da marca Hanna Instruments Brasil
Acidez	Titulometria	Erlenmeyer de 250mL, pipeta de 10 e 20 mL, bureta de 50mL da marca Aurilabor
Alcalinidade	Titulometria	Erlenmeyer de 250mL, pipeta de 10 e 20 mL, bureta de 50mL da marca Aurilabor

#### **4.7.1 Análise Estatística**

Os valores foram organizados em planilhas no Excel. Os dados das análises passaram por tratamento estatístico, onde foi calculado a média e o desvio padrão para a população amostral de cada parâmetro analisado. A população amostral foi 25, igual para todos os parâmetros. Para isso, utilizou-se um nível de confiança de 95% (significância de 5%) para as eficiências de remoção. A eficiência do tratamento se deu através da equação 1.

### **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **5.1 EFICIÊNCIA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

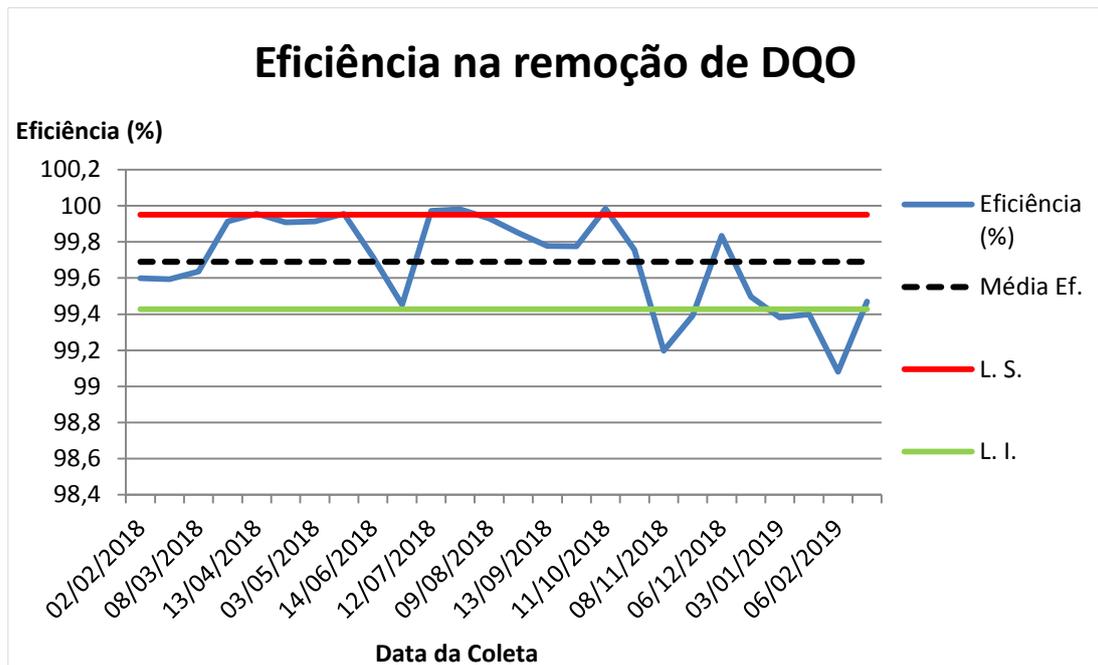
Para o cálculo da eficiência dos parâmetros de controle, foi feito o limite inferior e superior de especificação. Seu cálculo deu-se pela média das eficiências dos parâmetros subtraído pelo seu respectivo desvio-padrão.

##### **5.1.1 DQO**

A eficiência da DQO da ETE foi analisada com os valores do efluente equalizado e efluente tratado, a partir disso, pode calcular a eficiência de cada análise, bem como a eficiência média do processo.

No gráfico 1, o valor médio é demonstrado. A média da eficiência de remoção da DQO foi de 99,69% com desvio-padrão de  $\pm 0,26$ .

**Gráfico 1: Eficiência na Remoção da DQO da ETE**



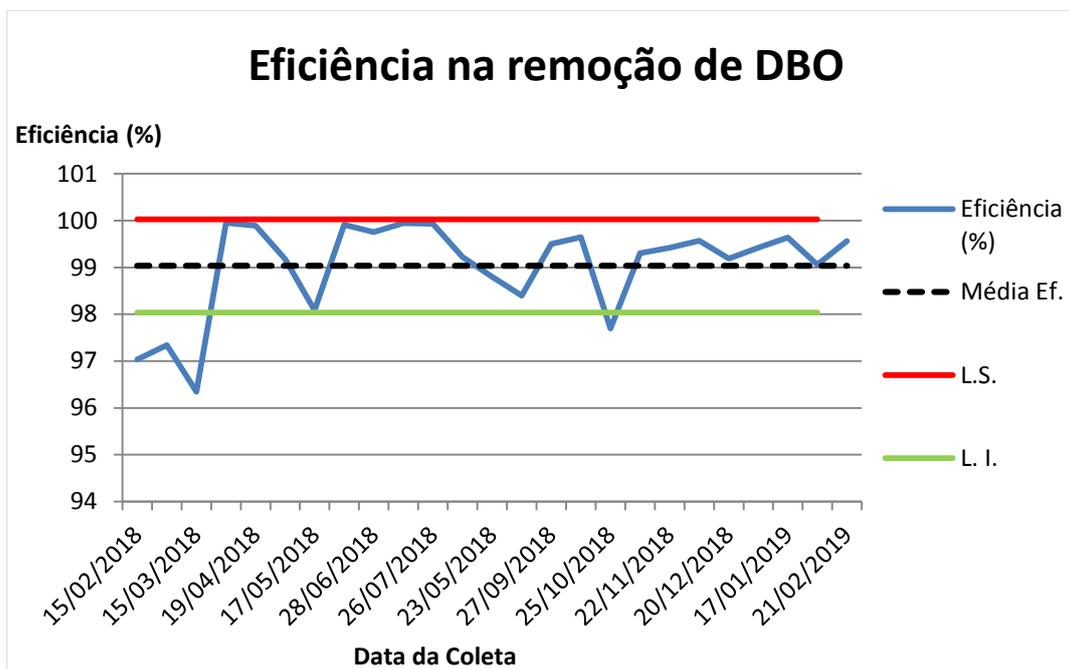
O processo é considerado eficiente, pois obteve quase 100% da remoção no sistema estudado.

Entre os meses de outubro e novembro de 2018 e de janeiro de 2019 a eficiência tem sido menor que o valor do limite inferior de especificação, nesse caso, 99,2% e 99,08% respectivamente, ainda está dentro do limite mínimo permitido para uma estação de tratamento que é de 80% segundo a Resolução CONAMA 430/2011 e o Órgão estadual SUDEMA/PB que traz valores de DQO  $\leq 100$  mg/L, mostrando um ótimo rendimento da DQO da ETEi.

### 5.1.2 DBO<sub>5</sub>

Para a DBO<sub>5</sub>, os valores obtidos podem ser visualizados no Gráfico 2. Assim como a DQO, a DBO<sub>5</sub> apresentou uma média da eficiência de 99,03% e um desvio-padrão de  $\pm 0,99$ .

**Gráfico 2:** Eficiência na Remoção da DBO<sub>5</sub> da ETE



A eficiência é considerada ótima para o processo, pois é cerca de 100% e com o desvio-padrão baixo. Esse resultado demonstra também a pequena variação entre os resultados das medidas, exceto entre os meses de fevereiro e março, maio e junho e no mês de outubro, com 96,34%, 98,98% e 97,69%, respectivamente. Isso se deve provavelmente a fatores operacionais da estação de tratamento, como a questão de dosador de químicos e de limpeza.

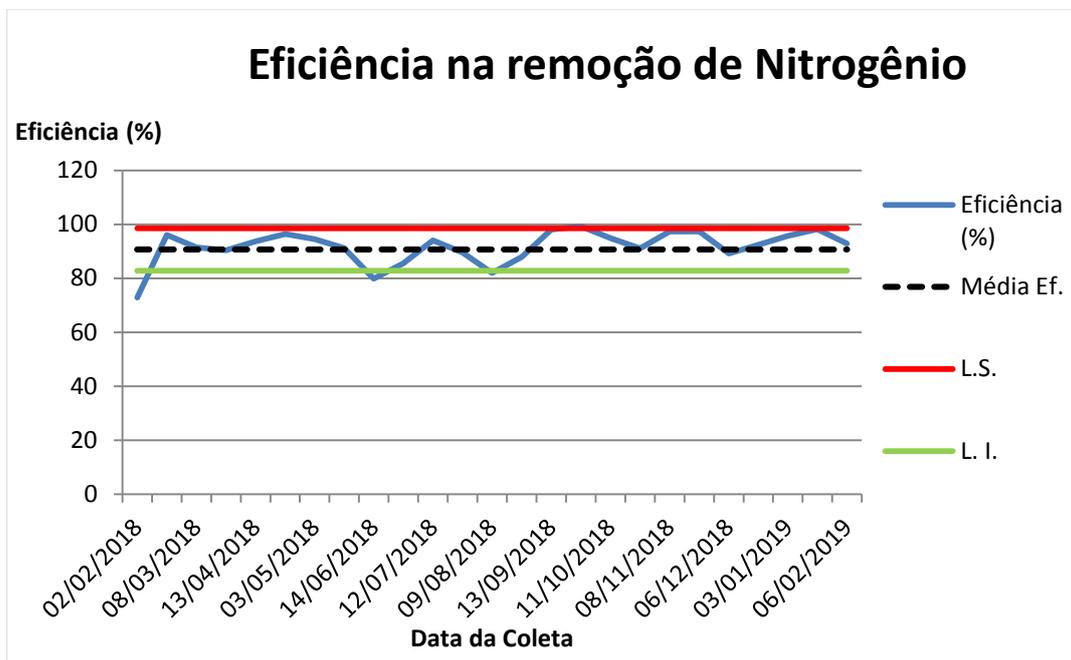
Foi descartado o erro de natureza laboratorial na análise dos parâmetros, tendo em vista que para ambos foi observado o mesmo padrão de comportamento durante as demais análises.

O valor mínimo da eficiência para DBO<sub>5</sub> segundo a Resolução CONAMA 430/2011 é de 60%, mostrando que mesmo tendo a oscilação em alguns meses, o resultado está dentro do permitido.

### 5.1.3 Nitrogênio

Analisando a eficiência da remoção para o parâmetro Nitrogênio, mostrados no Gráfico 3, percebe-se poucas oscilações em relação ao período estudado.

**Gráfico 3:** Eficiência na Remoção do Nitrogênio Total da ETE



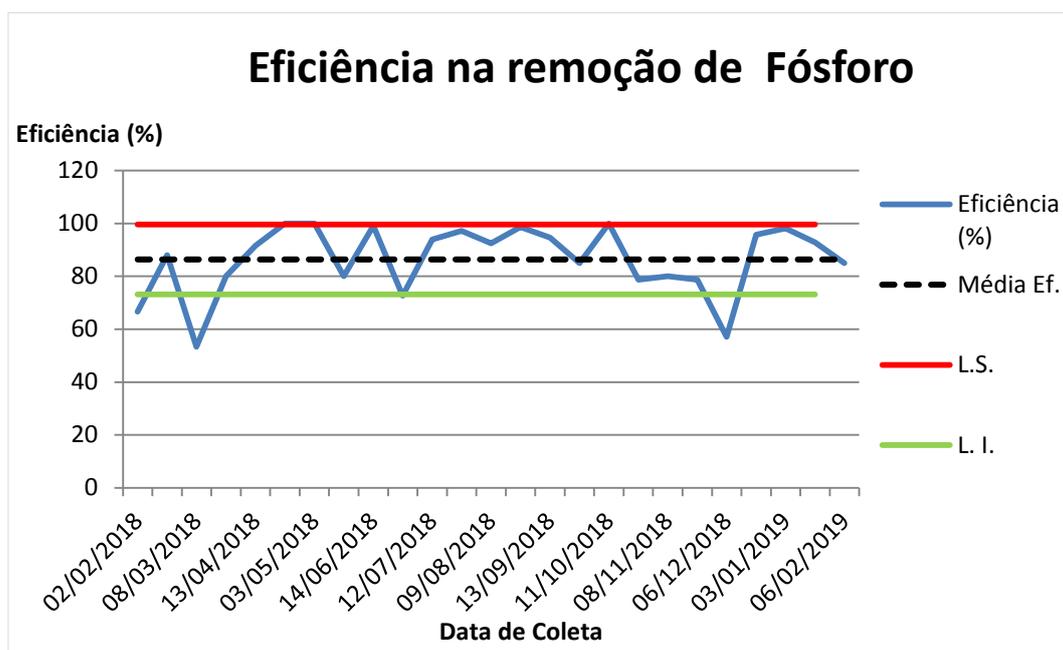
A média da eficiência do efluente final foi de 90,69%, e um alto desvio padrão de  $\pm 7,87$ .

A eficiência mínima de tratamento exigida pela Resolução CONAMA 430/2011, permite o lançamento de nitrogênio total que é  $\leq 1\text{mg.L}^{-1}$ , relacionando o efluente bruto com o efluente tratado final. Mostrando que esse processo está dentro da porcentagem permitida.

#### 5.1.4 Fósforo

Os valores para eficiência da remoção do fósforo no efluente, são visualizados no Gráfico 4.

**Gráfico 4:** Eficiência na Remoção do Fósforo da ETE



E a eficiência para esse processo, teve média de 86,40%, e desvio padrão de  $\pm 13,25$ , o que demonstra mais uma vez grande variação do valor de Fósforo, principalmente entre os meses de março e dezembro.

A mesma consideração realizada para o parâmetro Nitrogênio, em relação à eficiência mínima de tratamento exigida pela Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011 além do órgão estadual SUDEMA/PB, permite o lançamento de fósforo total que é  $\leq 1\text{mg.L}^{-1}$ . A eficiência média do tratamento pode ser considerada dentro do padrão permitido.

### 5.1.5 Comparação entre os parâmetros monitorados

Na Tabela 4, mostra a comparação dos parâmetros utilizados. A escolha por manter os dados e apresentá-los veio da necessidade de se ter a mínima ideia possível sobre seus valores para poder compará-los com os exigidos Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011. A seguir encontram-se as médias das eficiências juntamente com seus desvios padrão:

**Tabela 4:** Eficiência de Remoção nos parâmetros monitorados

<b>Parâmetros Analisados</b>	<b>Média da Eficiência (%)</b>	<b>Desvio-Padrão</b>
DQO	99,69	0,26
DBO <sub>5</sub>	99,03	0,99
Nitrogênio	90,69	7,87
Fósforo	86,40	13,25

Os índices de remoção encontrados para todos os parâmetros foram excelentes. Mesmo tendo algumas oscilações em relação ao limite superior e inferior de especificação, mas a média da eficiência de cada um apresentou uma porcentagem dentro dos padrões exigidos por lei.

**Tabela 5:** Dados coletados nas análises em comparação com os dados da Resolução CONAMA 430/2011 e o Órgão Estadual SUDEMA/PB

<b>Parâmetros</b>	<b>Médias (mg/L)</b>		<b>CONAMA 430/2011</b>	<b>SUDEMA/PB</b>
	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>	<b>Classe 3</b>	
DQO	13.082,99	32,25	-	≤ 100 mg/ L
DBO	2.503,81	17,92	-	≤ 120 mg/L
Fósforo	1,89	0,34	1mg/L	-
Nitrogênio	8,5	0,78	-	≤ 1mg/L

No que diz respeito à DBO, a Resolução CONAMA 430/2011 não estabelece um limite, a exigência é que ocorra remoção mínima de 60% de DBO após o tratamento. A Resolução CONAMA 430/2011 também não estabelece um limite para o parâmetro DQO.

Entretanto, o Órgão Estadual SUDEMA/PB estabelece limites entre DQO, DBO e Nitrogênio Total, sendo ≤100 mg/L, ≤120 mg/L e ≤1 mg/L respectivamente.

Com base nos limites de referência e todas as declarações adicionais sobre as normas nacional e estadual foi possível verificar que a empresa está dentro do padrão de lançamento de efluentes, visto que a eficiência de remoção são superiores a 80%.

## **6 CONCLUSÃO**

O presente trabalho mostra que foi possível evidenciar que o tratamento de efluentes pelo processo biológico de lodos ativados, em indústria de bebida, é muito eficaz. Apresentou índices de remoção para todos os parâmetros estudados acima de 80%.

É importante enfatizar que é preciso controlar os parâmetros do efluente durante todo o seu processo, desde a chegada do efluente na estação (efluente bruto), até o despejo do efluente tratado no rio. Com esse controle de todo o processo é possível atingir eficiência em todos os parâmetros analisados conforme a legislação, seguindo as Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011 para água doce classe 3 além do órgão estadual SUDEMA/PB.

## 7 REFERÊNCIAS

AZZOLINI, José Carlos; FABRO, Lucas Fernando. Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região meio-oeste de Santa Catarina. **Unoesc & ciência** – ACET, v. 1, n. 4, p. 43.60. 2013.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA. Publicado no D.O.U.

BONGIOVANI , M. C. **Aplicação do processo de lodos ativados com posteriores processos físico-químicos no tratamento de efluente industrial salino visando ao reúso**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CALDA, S. A.; SAMUDIO, E. M. Água de reúso para fins industriais estudo de caso. **Brasil Para Todos-Revista Internacional**, 2016.

CAMPOS, M. M.; AZEVEDO, F. R. **Aproveitamento de Águas Pluviais para Consumo Humano Direto**. *Jornal Eletrônico - Faculdades Integradas Vianna Júnior - Ano V – Edição I – Maio 2013*.

CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de Tratamento de efluentes industriais**. Editora: J.E. Cavalcanti, 2009.

CLAAS, I. C. **Lodos ativados: Princípios teóricos fundamentais, operação e controle**. Porto Alegre: Evangraf, 2007.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores Anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, Belo Horizonte, 1997.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURAN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, 2000, 23(4): 504-511.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de efluentes industriais**. Apostila da ABES. Mato Grosso, 2004.

GONÇALVES, M. S. T., OLIVEIRA-CAMPOS, A. M. F., PINTO, E. M. M. S., PLASÊNCIA, P. M. S., QUEIROZ, M. J. R. P. Photochemical treatment of solutions of azo dyes containing TiO<sub>2</sub>. **Chemosphere**, v. 39, n. 5, p. 781-786, 2008.

HIDAKA, H., YAMADA, S., SUENAGA, S., KUBOTA, H., SERPONE, N., PELIZZETTI, E., GRATZEL, M. Photodegradation of surfactants. V. Photocatalytic degradation of surfactants in the presence of semiconductor particles by solar exposure. **Chemistry Research**, v.47, p.103-112, 1989.

INAMORI, Y.; IWAMI, N.; ITAYAMA, T. **Project for water environmental renovation of Lake Kasumigaura**. Basic Des. Mater. (Civil Eng. Ed.) 9 (110), 53–57 (in Japanese), 2001.

JENKINS, D., RICHARD, M., DAIGGER, G., 2003. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming**. USA. 3<sup>a</sup> Ed. 115p.

JORDÃO, E. P.; BÔAS, D. V.; CONCEIÇÃO, J. R.; SILVA, T. C. R.; SOBRINHO, P. A. **Controle Microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – Estudo em escala piloto**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1–114, 1997.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6 ed. Rio de Janeiro, 1050p. 2011.

LEGNER, C. Reúso de água e seus benefícios para a indústria e meio ambiente. **Revista TAE**, Edição Nº 12 - abril/maio de 2013 - Ano II.

LESTER, J. N.; BIRKETT, J. W. **Microbiology and chemistry for environmental scientists and engineers**. 2nd ed, London: E & FN Spon, 386 p, 1999.

LU, M. C.; ROAM, G. D.; CHEN, J. N.; HUANG, C. P. Photocatalytic mineralization of toxic chemicals with illuminated TiO<sub>2</sub>. **Chemical Engineering Common**, v.139, p.1-13, 1995.

MACHADO, B. J. F. **Reúso de efluentes em torres de resfriamento** – estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. 2005. 106 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós- Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2005. Rio de Janeiro.

MARTINS, G., ALMEIDA, J. C. V., 1999, **Reúso de Águas em Indústria Química de Processamento Dióxido de Titânio**. Monografia apresentada no curso de especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, UFBA, 69p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse**. 4th Edition. New York: McGraw - Hill, International Editions, 2003.

MEYER, T; WANIA, F. **What environmental fate processes have the strongest influence on a completely persistent organic chemical's accumulation in the Arctic? Atmosphere Environment**, p. 41:2757–67, 2007.

MIZUOCHI, M.; YANG, Y.F.; YAMAMOTO, Y. **Advanced wastewater treatment system by biological filtration process using ceramics contact material made of ooze from Lake Kasumigaura**. Proceedings of the Fifth Japan Society on Water Environment Symposium, p. 117–118 (in Japanese), 2002.

MOTTA, M. **Estudo do Funcionamento de Estações de Tratamento de Esgotos por Análise de Imagem: Validações e Estudo de Caso**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n. 3, p.170-181, set. 2003.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, p. 69-72, 1998.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgar Blucher, 2003.

OLIVEIRA, G. S. S., ARAÚJO, C. V. M. e FERNADES, J. G. S. 2009. **Microbiologia de sistemas de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetrel**. Eng. Sanit. Ambient al, v. 14(2), 183-192.

OLIVEIRA, S. S. **Remoção microbiológica de nitrogênio, fósforo, DQO e DBO em uma estação de tratamento de efluentes numa fábrica de concentrados de bebidas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2012.

OLLER, I; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. **Science of the Total Environment**, 2011, 409(20):4141-66.

PEREIRA, A.L.S; VIMIEIRO, G.V; PRADO, F.V. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluentes de um laticínio do estado de Minas Gerais. **IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cruz das Almas**, Bahia. 2016.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. 1ª Ed. São Paulo: Associação Brasileira De Engenharia Sanitária, 2001.

SEVIOUR, R. & BLACKALL, L., 1999. **The microbiology of Activated Sludge**. 422 p.

SOUSA, J. T., LEITE, V. D., DANTAS, J. P. *et al.*, 2000, “**Reúso de efluente de esgotos sanitários na cultura do arroz**”. In: **IX SILUBESA - Simpósio**

**Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 9, Porto Seguro, Ba, p.1058-1063, ABES, Rio de Janeiro.

STYPKA, A., 1998, **Factors influencing sludge settling parameters and solids flux in the activated sludge process – A literature review**. In: Advanced Wastewater Treatment Report n°4, Joint Polish- Swedish Reports, Division of Water Resources Eng., KTH, TRITA-AMI REPORT 3058, ISSN 1400-1306, ISRN KTH/AMI/REPORT 3058-SE, ISBN 91-7170-363-2, Stockholm, Sweden.

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

SCHINDLER, D.W; SMOL, J.P. **Cumulative effects of climate warming and other human activities on freshwaters of Arctic and subarctic North America**. *Ambio*, p. 35:160–8, 2006.

TORRES, D. P. C. **Estudo Microbiológico da Influência da adição química de ácido fólico em sistemas de lodos ativados**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, 2005.

VARE, L. **Who is polluting the Artic? Planet Earth**, 2006, 14–5.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos, volume 2**, Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996, v.2, 211 p. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.

VON SPERLING, Marcus. **Lodos ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados**. Vol. 4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 3ª edição ampliada, 2012. 428 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. v. 1.

VAZOLLÉR, R. F., 1999, “**Microbiologia de Processos Biológicos de Tratamento**”, In: IV Curso de Tratamento Biológico de Resíduos, Florianópolis, SC.