



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E**  
**AMBIENTAL**

**Edicélia de Barros Ribeiro**

**Avaliação do tratamento de efluentes mistos usando lagoas de**  
**estabilização do tipo Australiano**

**Juazeiro – BA**

**2015**

**Edicélia de Barros Ribeiro**

**Avaliação do tratamento de efluentes mistos usando lagoas de  
estabilização do tipo Australiano**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, campus Juazeiro – BA, como requisito de obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. M.Sc. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

**Juazeiro – BA**

**2015**

	Ribeiro, Edicélia de B.
R484a	Avaliação do tratamento de efluentes mistos usando lagoas de estabilização do tipo Australiano / Edicélia de Barros Ribeiro. -- Juazeiro-BA, 2015.
	54f.: il.; 29 cm.
	Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2015.
	Orientadora: Profª Miriam Cleide Cavalcanti Amorim.
	Referências
	1. Esgoto. 2. Lagoa de Estabilização. I. Título. II. Amorim, Miriam Cleide Cavalcanti. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 628.3

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E**  
**AMBIENTAL**

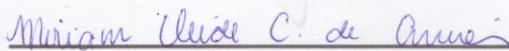
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Edicélia de Barros Ribeiro

**Avaliação do tratamento de efluentes mistos usando lagoas de  
estabilização do tipo Australiano**

Trabalho de conclusão do curso apresentado como  
requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel  
em **Engenharia Agrícola e Ambiental**, pela  
Universidade Federal do Vale do São Francisco.

**Banca examinadora**



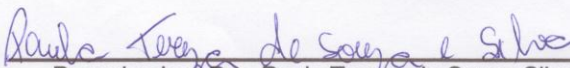
Profª M.Sc. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim (UNIVASF)

Orientadora



Profª D.Sc. Vanessa Polon Donzeli (UNIVASF)

Avaliadora



Pesquisadora Dra. Paula Tereza de Souza Silva (EMBRAPA Semiárido)

Avaliadora

Aprovada pelo Colegiado de Eng. Agrícola e Ambiental em 26 / 06 / 2015.

A minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sua infinita bondade;

Aos meus pais, Maricélia Barros e Evandro Santana e aos Irmãos Evandro filho, Pedro Neto e Edson por todo apoio, compreensão e paciência;

A Professora M.Sc. Miriam Cleide C. de Amorim, pela orientação, confiança, ensinamento e amizade.

A Dra. Paula Tereza de Souza e Silva pela supervisão, confiança e subsídio com minhas amostras.

A Damiana Rodrigues, técnica do laboratório, pela amizade, apoio e otimismo.

Aos amigos de curso, Patrícia Barbosa, Maraisa Silva, Nayara Evelyn, Janiely Pereira, Ruana Matos, Iara Jeanice, Leane Nunes, Daniel Moura, José Maia, Eduardo campos, Ana Cláudia, Edilene Ferreira, Amélia Carvalho, Daíse Souza, Ismara de Kassia, Carol Carvalho, pelo apoio e forças nas atividades desenvolvidas ao longo da graduação.

A equipe do laboratório Agroambiental, Jaqueline, Emerson, Inaracy e Gilberto por toda atenção e apoio durante o período de coleta.

Aos guardas e vigilantes da UNIVASF, pela paciência e compreensão de minutos a mais em laboratório.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco/Laboratório de Engenharia Ambiental e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA Semiárido/Laboratório Agroambiental, pela oportunidade de realização das análises deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta e indiretamente para a realização desse trabalho.

**Tudo é aliado do homem que sabe querer.**

**Machado de Assis**

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento de efluente misto usando lagoas de estabilização do tipo Australiano, por meio de análises de dados de monitoramento, operando em escala real, tratando efluente de origem doméstica e águas de laboratórios (efluente misto). A estação de tratamento de esgoto está localizado na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA-Semiárido no município de Petrolina-PE. Para o monitoramento foram realizadas coletas semanais e quinzenais entre os meses de abril e maio de 2015. Neste estudo, caracterizou-se os afluentes e efluentes ao sistema de lagoas e para cada unidade operacional individualmente em termos de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. O afluente apresentou DBO<sub>5</sub> média de 71,29 mg/L, DQO de 142,02 mg/L e *E. coli* 2,17E+06 U.F.C/100ml. A maior parte da matéria orgânica foi removida nas lagoas anaeróbias e facultativa (20,78 e 43,52 %) e, a lagoa de maturação obteve remoção média de *E. coli* de 74,30%. A concentração final de DBO<sub>5</sub> e DQO foram de 17,11 e 49,54 mg/L com remoção de 54,44 e 42,56%. Para maioria dos parâmetros avaliados, a concentração do afluente situou-se abaixo daqueles comumente citadas na literatura para esgotos domésticos, portanto o efluente misto trata-se de um esgoto diluído. O efluente da estação de tratamento da EMBRAPA atende a legislação em vigor mesmo, operando com eficiência abaixo do esperado para este tipo de sistema.

**Palavras - chaves:** Lagoas de Estabilização. Efluente misto. Avaliação de Eficiência.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1.1. Objetivo Geral.....	12
1.1.2. Objetivos Específicos .....	12
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
2.1. Considerações Gerais.....	13
2.2. Caracterização dos Esgotos Domésticos.....	13
2.2.1. Principais Características dos efluentes .....	14
2.3. Tratamento dos Esgotos Domésticos .....	17
2.4. Lagoas de Estabilização .....	18
2.4.1. Lagoas Anaeróbias.....	20
2.4.2. Lagoas Facultativas.....	20
2.4.3. Lagoas de Maturação .....	21
2.5. Desempenho de Lagoas de Estabilização .....	21
2.5.1. Lagoas Anaeróbias.....	21
2.5.2. Lagoas Facultativas.....	22
2.5.3. Lagoas de Maturação .....	22
2.6. Sistema: Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação .....	23
2.7. Fatores que Podem Influenciar o Desempenho de Lagoas .....	23
2.8. Legislação Ambiental Referente a Lançamentos de Efluentes nos Corpos Receptores.....	24
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1. Descrição Geral da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).....	25

3.1.1. Vazão e Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) .....	27
3.2. Dados de Caracterização dos Efluentes e Monitoramento da ETE .....	30
3.2.1. Caracterização dos Efluentes .....	30
3.2.2. Monitoramento da ETE .....	31
3.3. Avaliação de Desempenho .....	32
3.4. Análise Estatística .....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
4.1. Caracterização dos Efluentes .....	33
4.2. Monitoramento das Unidades Operacionais do Sistema .....	34
4.2.1. pH e Alcalinidade .....	34
4.2.2. Temperatura .....	38
4.2.3. Oxigênio Dissolvido .....	38
4.2.4. Sólidos .....	40
4.2.5. Matéria Orgânica .....	45
4.2.6. Clorofila <i>a</i> .....	47
4.2.7. Nutrientes .....	48
4.2. Avaliação do Desempenho do Sistema .....	48
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
5.1. Sugestões .....	51
5.2. Sugestões para trabalhos futuros .....	51
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O esgoto é constituído por água que foi utilizada para a realização de diversas atividades, e que segue carregando toda poluição agregada, seja contaminantes físicos, químicos ou biológicos (Bruschi, 2006). De acordo com sua origem, estes, poderão ser classificados em esgotos domésticos, industriais, esgotos sanitários e esgotos pluviais.

Os esgotos domésticos contêm 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos (VON SPERGLING, 2005).

A qualidade dos esgotos é definida por suas características físicas, químicas e biológicas. As principais características físicas estão relacionadas com a temperatura, cor, odor e turbidez. Com relação às características químicas as de mais interesse são o oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total, série de sólidos, cloretos, metais, matéria orgânica, óleos e graxas. E, as principais características biológicas dos esgotos domésticos são (bactérias, fungos, patógenos, vírus e algas) e os microrganismos indicadores de poluição (bactérias coliforme).

Os principais poluentes presentes nos esgotos estão relacionadas com as partículas insolúveis, ou sólidas, estes alteram a transparência da água e precipitam em forma de lodo. Já os poluentes químicos constituem - se de substâncias orgânicas (proteínas, gorduras, hidratos de carbono e por uma série de substâncias artificiais), de minerais inorgânicos (nitrogênio, fósforo e metais pesados). Os elementos encontrados nos poluentes biológicas são os seres vivos liberados juntos com os dejetos humanos (bactérias, vírus, leveduras e protozoários).

Tais características dos efluentes líquidos podem variar de acordo com o tipo de atividade, o período de operação, a matéria prima utilizada, entre outros.

A partir do conhecimento da qualidade das águas residuárias surge à necessidade do tratamento destas para a remoção de poluentes antes de seu lançamento em um corpo receptor a fim de diminuir a disseminação de doenças transmissíveis, causadas por patógenos, evitar a poluição das águas subterrâneas e de superfície bem como atender a legislação vigente. As lagoas de estabilização tem sido uma boa alternativa para o tratamento de esgotos domésticos.

Para que seja feita a seleção mais adequada dos processos de tratamento desses efluentes, é necessário também determinar qual será a forma de disposição final e o grau de tratamento necessário.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA Semiárido foi criada em abril de 1973 e é vinculada ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Trabalha com a missão de viabilizar soluções de pesquisas, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da agricultura em benefício da sociedade brasileira (EMBRAPA, 2015).

Além dessa missão, existe uma preocupação na EMBRAPA em relação aos efluentes gerados que são de origem doméstica e de atividades desenvolvidas em laboratórios (efluente misto). Tal efluente é destinado a um sistema de lagoas de estabilização do tipo Australiano, que trata os efluentes desta unidade a nível secundário, por meio de mecanismos puramente biológicos.

Nessas condições, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o tratamento de efluente misto usando lagoas de estabilização do tipo Australiano, por meio de análises de dados de monitoramento.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Nessas condições, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o tratamento de efluente misto usando lagoas de estabilização do tipo Australiano, por meio de análises de dados de monitoramento.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Caracterizar os efluentes mistos produzidos na Embrapa Semiárido, afluente ao sistema de lagoas em termos de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos.

Caracterizar os efluentes de cada unidade operacional do sistema de lagoas, com base em dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos, traçando paralelo com a legislação ambiental vigente.

Avaliar o desempenho do sistema através da eficiência de tratamento das unidades operacionais do sistema em função da remoção de carga orgânica e microbiológica, traçando paralelo com a legislação ambiental vigente.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Considerações Gerais**

O esgoto é constituído por água que foi utilizada para a realização de diversas atividades, e que segue carregando toda poluição agregada, seja contaminantes físicos, químicos ou biológicos (BRUSCHI, 2006).

VON SPERGLING (2005) destaca que a característica dos esgotos é função do uso à qual a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação econômica, e hábitos da população.

Em relação ao destinos, os esgotos sanitários sem tratamento são lançados em rios, lagos, córregos e outros, causando poluição desses recursos. Daí a importância da coleta e o transporte dessa água poluída para uma Estação de Tratamento de Esgoto – ETE (CHERNICHARO, 2007).

Sob o ponto de vista sanitário, o destino adequado do esgoto visa fundamentalmente, o controle e a prevenção de doenças a ele relacionadas. As soluções a serem adotadas terão os seguintes objetivos: Evitar a poluição do solo e dos mananciais de abastecimento de água; Evitar o contato de vetores com as fezes; Propiciar a promoção de novos hábitos higiênicos na população e promover o conforto e atender ao senso estético (FUNASA, 2006).

### **2.2. Caracterização dos Esgotos Domésticos**

Os esgotos domésticos contêm 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos (VON SPERGLING, 2002).

Em projetos de estações de tratamento de esgoto, normalmente não é realizada a determinação dos diversos compostos que compõem as águas residuárias. Isto, não só pela dificuldade em executar vários destes testes em laboratórios, mas também pelo fato dos resultados em si não serem diretamente utilizáveis como elementos do projeto e operação. Assim, muitas vezes é preferível a utilização de parâmetros indiretos que traduzam o caráter ou potencial poluidor dos despejos em estudo. Tais parâmetros definem a qualidade do esgoto, podendo ser divididos em três categorias: Parâmetros físicos, químicos e biológicos (SILVA, 1979).

### 2.2.1. Principais Características dos efluentes

Os Quadros 1, 2 e 3 apresentam as principais características físicas, químicas e biológicas dos esgotos domésticos.

**Quadro 1-** Principais características físicas dos esgotos sanitários

Parâmetro	Descrição
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligeiramente superior à da água de abastecimento</li> <li>• Variação conforme as estações do ano (mais estável que a temperatura do ar)</li> <li>• Influência na atividade microbiana</li> <li>• Influência na solubilidade dos gases</li> <li>• Influência na velocidade de reações químicas</li> <li>• Influência na viscosidade do líquido</li> </ul>
Cor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esgoto fresco: ligeiramente cinza</li> <li>• Esgoto séptico: cinza escuro ou preto</li> </ul>
Odor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável</li> <li>• Esgoto séptico: odor fétido (desagradável), devido ao gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição</li> <li>• Despejos industriais: odores característicos</li> </ul>
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão</li> <li>• Esgoto mais frescos ou mais concentrados: geralmente maior turbidez</li> </ul>

Fonte: Adaptado (VON SPERGLING, 2005)

Dentre esses os indicadores que merecem destaque são os sólidos; Matéria orgânica; Nitrogênio; Fósforo; Indicadores de contaminação fecal (VON SPERGLING, 2002).

**Quadro 2 – Características químicas dos esgotos sanitários**

Parâmetro	Descrição
<b>SÓLIDOS TOTAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Em suspensão</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixos</li> <li>• Voláteis</li> <li>• <u>Dissolvidos</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixos</li> <li>• Voláteis</li> <li>• <u>Sedimentáveis</u></li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p>Orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos; sedimentáveis.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são retidos em filtros de papel com aberturas de dimensões padronizadas (0,45 a 2,0 µm).</li> <li>• Componentes minerais, não incineráveis, inertes, dos sólidos em suspensão.</li> <li>• Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão.</li> <li>• Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são retidos nos filtros de papel descritos acima. No teste laboratorial, englobam também os sólidos coloidais.</li> <li>• Componentes minerais dos sólidos dissolvidos.</li> <li>• Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos</li> <li>• Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone Imhoff. Indicação aproximada da sedimentação em um taque de decantação.</li> </ul>
<b>NITROGENIO TOTAL</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrogênio orgânico</li> <li>• Amônia</li> <li>• Nitrito</li> <li>• Nitrato</li> </ul>	<p>O nitrogênio total inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico e a amônia compreende o denominado Nitrogênio total Kjeldahl (NTK).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e ureia.</li> <li>• Produzida como primeiro estágio da composição do nitrogênio orgânico.</li> <li>• Estágio intermediário da oxidação da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto.</li> <li>• Produto final da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto.</li> </ul>
<b>FÓSFORO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fósforo orgânico</li> <li>• Fósforo</li> <li>• Inorgânico</li> </ul>	<p>O fósforo total existe na forma orgânica e inorgânica. É um nutriente indispensável no tratamento biológico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinado a matéria orgânica.</li> <li>• Ortofosfato e polifosfatos.</li> </ul>
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto. Uma solução é neutra em pH 7. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.
ALCALINIDADE	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência as variações do pH) devido à presença de bicarbonato, carbonato e íon hidroxila.
CLORETOS	Provenientes da água de abastecimento e dos desejos humanos.

Fonte: Adaptado (VON SPERGLING, 2005)

**Quadro 3 – Principais microrganismos de interesse na Engenharia Ambiental.**

Microrganismo	Descrição
Bactérias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organismos unicelulares.</li> <li>• Apresentam-se em várias formas e tamanhos.</li> <li>• São os principais responsáveis pela conversão da matéria orgânica.</li> <li>• Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.</li> </ul>
Arqueobactérias (archaea)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Similares às bactérias em tamanhos e componentes celulares básicos</li> <li>• A parede celular, material celular e composição do RNA são diferentes.</li> <li>• Importantes nos processos anaeróbios</li> </ul>
Algas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organismos autotróficos, fotossintetizantes, contendo clorofila.</li> <li>• Importantes na produção de oxigênio nos corpos d'água e em alguns processos de tratamento de esgotos.</li> <li>• Em lagos e represas, podem proliferar em excesso, causando uma deterioração da qualidade da água.</li> </ul>
Fungos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organismos predominantes aeróbios, uni ou multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos.</li> <li>• Também de importâncias na decomposição da matéria orgânica.</li> <li>• Podem crescer em condições de baixo pH.</li> </ul>
Protozoários	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organismos unicelulares sem parede celular.</li> <li>• A maioria é aeróbia ou facultativa.</li> <li>• Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos.</li> <li>• São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos.</li> <li>• Alguns são patogênicos.</li> </ul>
Vírus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica.</li> <li>• Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.</li> </ul>
Helmintos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Animais superiores.</li> <li>• Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.</li> </ul>

Fonte: Adaptado (VON SPERGLING, 2005)



### 2.3. Tratamento dos Esgotos Domésticos

Para KELLNER (1998) em estudos de concepção, é preciso definir com clareza os seguintes aspectos: Impacto ambiental do lançamento no corpo receptor; Objetivos do tratamento (principais constituintes a serem removidos); Nível de tratamento; Eficiência de remoção desejada.

Nesse sentido, a remoção dos poluentes no tratamento de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada e/ou atender ao padrão de qualidade vigente que está associado aos conceitos de nível de tratamento bem como a eficiência do mesmo.

A opção por um nível de tratamento, entre os citados, depende da eficiência requerida - tendo em vista a classe de enquadramento - e da capacidade de depuração das águas do corpo hídrico receptor. Vale ressaltar que alguns deles são indispensáveis, independentemente da tecnologia adotada para o tratamento dos esgotos (JORDÃO, 1975):

- Tratamento preliminar: remove apenas os sólidos grosseiros;
- Primário: remove sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica;
- Secundário: o fim principal é a remoção de matéria orgânica e, eventualmente, de nutrientes como nitrogênio e fósforo; Terciário: remove poluentes específicos, em especial nutrientes – fósforo e nitrogênio.

O Quadro 4 apresenta um resumo dos principais sistemas de tratamento de esgotos domésticos em nível secundário com exceção das lagoas de estabilização que serão melhor detalhadas no tópico 2.4.

**Quadro 4** – Descrição sucinta dos principais sistemas de tratamento de esgotos em nível secundário

SISTEMAS ANAERÓBIOS	
Filtro anaeróbio	A DBO é convertida anerobicamente por bactérias aderidas a um meio suportado (usualmente pedras) no reator. O tanque trabalha submerso, e o fluxo é ascendente. O sistema requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas). A produção de lodo é baixa, e o lado já sai estabilizado.

LODOS ATIVADOS	
Lodos ativados convencional	A etapa biológica compreende duas unidades: biológico (tanque de aeração) e o decantador secundário. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido á recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentadas no fundos do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente a que é produzida. Este lodo removido necessita uma estabilização na etapa de tratamento do lodo. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso. A montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.
REATORES AEROBIOS COM BIOFILMES	
Filtros de baixa carga	A DBO é estabilizada aerobiamente por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (comumente pedras ou material plástico). O esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos. O líquido percola pelo tanque, saindo pelo fundo, ao passo que a matéria orgânica fica retida, sendo posteriormente estabilizada pelas bactérias. Os espaços livres são vazios, o que permite a circulação de ar. Posteriormente estabilizada pela bactérias. Os espaços livres são vazios, o que permite a circulação de ar. No sistema de baixa carga há pouca disponibilidade de DBO para as bactérias, o que faz com que estas sofram uma autodigestão, saindo estabilizadas do sistema. As placas de bactérias que se despregam das pedras são removidas no decantador secundário. O sistema necessita de decantação primária.
Filtro de alta carga	Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a carga de DBO aplicada é maior. As bactérias (lodo excedente) necessitam de estabilização no tratamento do lodo. O efluente do decantador secundário é recirculado para o filtro, de forma a diluir o afluente e garantir uma carga hidráulica homogênea.

Fonte: Adaptado (VON SPERGLING, 2005)

## 2.4. Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (SILVA, 1979).

De acordo com Mara (2004), no tratamento de esgotos domésticos, esse tipo de sistema é utilizado com sucesso e com grandes vantagens, dada a associação entre simplicidade operacional, elevadas eficiências de remoção de poluentes e baixo custo de manutenção quando comparado com outros métodos de tratamento.

VON SPERGLING (1996), cita que as principais desvantagens estão relacionadas aos elevados requisitos de área, à variação do desempenho com as condições climáticas e a eventual necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões de lançamento.

A rigor, as terminologias “lagos de estabilização” ou “lagos de oxidação” se referem apenas às unidades destinadas a estabilizar ou oxidar a matéria orgânica; portanto, se aplicariam às lagoas anaeróbias e facultativas e não se aplicariam às lagoas de maturação (PASSOS, 2012). Entretanto, há registros na literatura nas quais as lagoas de maturação, e demais variantes, são incluídas, de forma mais genérica, como “lagos de estabilização”.

Kellner e Pires (1998) incluem, como lagoas de estabilização, as lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação.

De forma mais abrangente, Jordão e Pessoa (2011) classificam as lagoas de estabilização como:

- Anaeróbias: nas quais predominam processos de fermentação anaeróbia; imediatamente abaixo da superfície não existe oxigênio dissolvido;
- Facultativas: nas quais ocorrem, simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética; uma zona anaeróbia de atividade bêntica é sobreposta por uma zona aeróbia de atividade biológica, próxima à superfície; as lagoas facultativas são chamadas primárias, quando recebem esgoto bruto, e secundárias quando recebem o efluente de outra lagoa, em geral anaeróbia;
- Estritamente aeróbias: nas quais se chega a um equilíbrio da oxidação e da fotossíntese para garantir condições aeróbias em todo meio;
- De maturação: têm como objetivo principal remover organismos patogênicos; reduz bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos; a parcela de redução de sólidos em suspensão e da DBO é negligenciável;
- De polimento: têm como objetivo principal o refinamento de outro processo biológico, em particular de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, objetivando uma remoção adicional de DBO, nutrientes e organismos patogênicos;
- Aeradas: nas quais se introduz o oxigênio no meio líquido através de um sistema mecânico de aeração; as lagoas aeradas podem ser estritamente

aeradas ou aeradas facultativas. As lagoas aeradas de mistura completa devem ser seguidas de uma lagoa de sedimentação; e

- Com macrófitas: usadas como polimento final de um tratamento por lagoas, com objetivo de reduzir nutrientes, sólidos em suspensão e a DBO remanescente.

#### **2.4.1. Lagoas Anaeróbias**

São lagoas dimensionadas para receber elevadas cargas orgânicas e por isso, são responsáveis pelo tratamento primário dos esgotos. Sua profundidade normalmente varia de 3,0m a 4,5m e tempo de detenção hidráulico nunca inferior a 3 dias (KELLNER, 1998).

De acordo com SILVA FILHO (2007) devido ao volume relativamente pequeno da lagoa anaeróbia, e ao fato dela receber esgotos brutos, o acumulo de lodo tem um maior impacto, fazendo com que haja necessidade de sua remoção ao longo de alguns anos.

#### **2.4.2. Lagoas Facultativas**

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização (KELLNER, 1998).

Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que processos naturais de estabilização de matéria orgânica se desenvolvam (NOGUEIRA, 1999).

As principais reações biológicas que ocorrem nas lagoas facultativas incluem a decomposição da matéria orgânica carbonácea por bactérias facultativas (DBO solúvel e finamente particulada); nitrificação da matéria orgânica nitrogenada por bactérias; produção de oxigênio na camada superior através da fotossíntese das microalgas e redução da matéria orgânica carbonácea (parte da DBO em suspensão que sedimenta) por bactérias anaeróbias no fundo da lagoa (MARA, 1992). De forma geral, existe um equilíbrio entre o oxigênio consumido na respiração das bactérias

responsáveis pela degradação da matéria orgânica e o oxigênio produzido pelas algas (RIBEIRO, 2007).

As lagoas facultativas podem ser primárias (caso recebam efluente bruto) ou secundárias (caso recebam efluente de outra unidade de tratamento) (MONTEGGIA, 2001).

#### **2.4.3. Lagoas de Maturação**

As lagoas de maturação constituem unidades de pós-tratamento, geralmente de lagoas facultativas ou de reatores anaeróbios com o objetivo de remover patógenos (MASCARENHAS, 2004).

Geralmente projetadas com pequenas profundidades, as lagoas de maturação podem atingir elevadas eficiências na remoção de microrganismos. Bactérias e vírus são removidos ou inativados, principalmente, em razão da exposição prolongada à radiação solar (raios UV), pH alcalino e elevados valores de oxigênio dissolvido. Tais fatores estão associados à atividade fotossintética da biomassa algal (GONÇALVES, 2003).

Portanto, o objetivo principal das lagoas de maturação é a remoção de organismos patogênicos, constituindo opção bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração (VON SPERLING, 2002).

Alguns autores citam profundidades usuais em lagoas de maturação de 0,8 a 1,0m (VON SPERLING, 2002) e 1,0 a 1,5m (KELLNER e PIRES, 1998). Para o Tempo de Detenção Hidráulica, KELLNER E PIRES (1998) e JORDÃO E PESSÔA (2011) sugerem 7 dias e Mara (1996) apud VON SPERGLING (2002) recomenda o mínimo de 3 dias em cada lagoa, de modo a evitar curtos-circuitos e varrimento de algas.

### **2.5. Desempenho de Lagoas de Estabilização**

#### **2.5.1. Lagoas Anaeróbias**

Para (AGUIAR, 1997) a eficiência da remoção de DBO nas lagoas anaeróbias está intimamente relacionada com a quantidade e natureza dos sólidos sedimentáveis presentes no esgoto bruto afluente.

Essas lagoas apresentam baixa taxa de decomposição da matéria orgânica em função das bactérias anaeróbias apresentarem uma taxa de reprodução mais lenta. Mesmo assim, a remoção de DBO, é da ordem de 50 a 70%. Tal redução de carga, representa uma grande contribuição para a lagoa facultativa, situada a jusante (DE OLIVEIRA, 1999).

### 2.5.2. Lagoas Facultativas

Nas lagoas facultativas, matéria orgânica dissolvida no efluente é bastante estável e a DBO geralmente encontra-se entre 30 e 50 mg/L (havendo separação de algas, a concentração pode ser reduzida para 20 a 30 mg/L) (DESTRO, 2007).

VON SPERGLING (2005) apresenta as seguintes faixas típicas de eficiência das lagoas facultativas para alguns parâmetros de qualidade mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Eficiências características de lagoas facultativas.

PARÂMETRO	EFICIÊNCIA (%)
<b>DBO</b>	75 - 85
<b>DQO</b>	65 – 80
<b>SS</b>	70 – 80
<b>Amônia</b>	< 50
<b>Nitrogênio</b>	< 60
<b>Fósforo</b>	< 35
<b>Coliformes</b>	90 – 99

Fonte: Adaptado (VON SPERGLING, 2005)

### 2.5.3. Lagoas de Maturação

Em lagoas de maturação, a remoção de matéria orgânica expressa como DBO e DQO é baixa e não excede a 25%. Como abordagem prática, é possível considerar uma remoção média de 20% (SILVA, 2006).

As eficiências de remoção para bactérias podem chegar até 6 unidades logarítmicas, vírus 4 unidades logarítmicas e 100% de remoção de ovos de helmintos e cistos de protozoários (MARA, 1992).

## **2.6. Sistema: Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + Lagoa de maturação**

Com relação a utilização ou não do esgoto bruto, o conjunto de lagoas de estabilização podem ser classificado como sistema americano ou sistema australiano (SILVA, 2001).

No sistema americano, o esgoto é lançado em lagoas rasas, onde prevalecem condições aeróbias, somente após ter sido clarificado. O sistema denominado australiano, muito empregado no Brasil, consiste em lançar o esgoto bruto diretamente em uma lagoa, geralmente em condições anaeróbias. Neste caso a lagoa clarifica o esgoto através da sedimentação de sólidos e da posterior degradação biológica deste realizada no fundo da lagoa (SILVA, 1979).

CARVALHO (1999) destaca que a ampla experiência com lagoas de estabilização mostra que a configuração mais adequada para a remoção do material orgânico é a série anaeróbia + facultativa + maturação.

## **2.7. Fatores que Podem Influenciar o Desempenho de Lagoas**

O desempenho das lagoas de estabilização pode estar relacionado a diversos fatores, desde as condições climáticas e a própria qualidade do afluente até a configuração geométrica do sistema. Nesse sentido, diversas são as pesquisas com o intuito de avaliar o desempenho de lagoas e identificar os principais fatores intervenientes (PASSOS, 2012).

Os fatores climáticos estão relacionados à ação dos ventos, temperatura, radiação solar, precipitações pluviométricas e evaporação (OLIVEIRA, 2006).

Os fatores químicos, de qualidade do efluente, dizem respeito à presença de compostos inibidores da atividade microbiológica (metais pesados, desinfetantes etc.), geração de lodo (sólidos sedimentáveis) em quantidades que possam

comprometer a qualidade do efluente, ou até mesmo condições de pH (CHERNICHARO, 2007).

Finalmente, a configuração geométrica do sistema (profundidade, relação comprimento/largura, localização da entrada e saída, presença ou não de chicanas) pode influenciar no desempenho, na medida em que se tem diferentes condições de fluxo impostas à lagoa (DA SILVA, 2007).

## **2.8. Legislação Ambiental Referente a Lançamentos de Efluentes nos Corpos Receptores**

A regulamentação nacional, por meio da Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (CONAMA, 2005), define padrões e condições a serem atendidos para lançamento de efluentes em corpos d'água, além de dispor sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A cada classe do enquadramento (1, 2, 3 ou 4 da mais para a menos restritiva) está associado um conjunto de valores-limite de referência a serem obedecidos para a qualidade da água, independentemente se satisfeitos os critérios de lançamento de efluentes.

Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 430 de maio de 2011 (CONAMA, 2011) complementou e alterou algumas diretrizes da Resolução CONAMA nº 357. As principais alterações envolvem definições e diretrizes para gestão de efluentes, definição de condições e parâmetros específicos para efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário. A Tabela 2 contém as condições e padrões preconizados por esta resolução, específicos para efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

Segundo essa resolução, outros parâmetros listados na seção de 'efluentes de qualquer fonte poluidora' poderão ser aplicados para os efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, com exceção do padrão de nitrogênio amoniacal e total, que não é exigível.

Além disso, os padrões e recomendações são estabelecidos de acordo com o uso previsto para a água. No Brasil, a maioria dos corpos receptores se enquadra na classe 2.



**Tabela 2.** Condições e padrões para lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, de acordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011.

PARÂMETRO	VALOR LIMITE	OBSERVAÇÕES
DBO (mg/L)	120	Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
pH	5-9	-
Materiais sedimentáveis (mL/L)	1	Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.
Temperatura (°C)	< 4	A variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura.

Fonte: CONAMA 430/2011

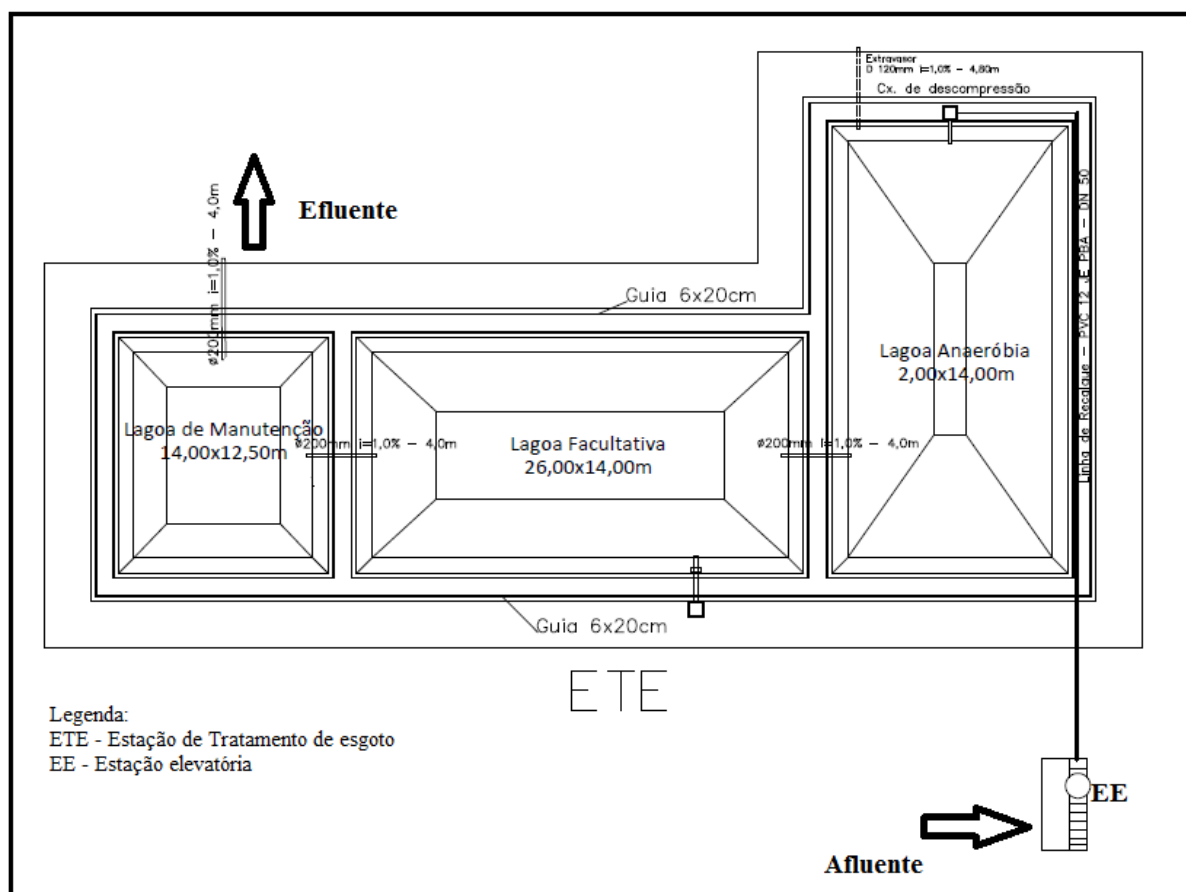
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição Geral da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

A ETE da EMBRAPA Semiárido realiza o tratamento dos efluentes de toda unidade (esgoto doméstico + águas residuárias de laboratórios) a nível secundário por meio de lagoas de estabilização. O efluente à ETE é direcionado para o solo.

A ETE é composta de tratamento preliminar (grade manual), medição de vazão (calha Parshall), poço de sucção e um sistema de lagoas do tipo Australiano, composto por uma lagoa de estabilização anaeróbia, uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação como mostra a Figura 1.

**Figura 1.** Estação de tratamento de esgoto da EMBRAPA Semiárido (ETE EMBRAPA)



Fonte: Autor

As principais características e dimensões das lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação estão apresentadas nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3.

**Tabela 3.1.** Principais dimensões/características da lagoa anaeróbia.

Formato	Trapezoidal
Relação Comprimento/Largura	12 X 20m
Volume útil da lagoa	325 m <sup>3</sup>
Tempo de Detenção Hidráulica	9,03 dias

Fonte: Autor

**Tabela 3.2.** Principais dimensões/características da lagoa facultativa.

Formato	Trapezoidal
Relação Comprimento/Largura	24 X 12m
Volume útil da lagoa	331,8 m <sup>3</sup>
Tempo de Detenção Hidráulica	9,21 dias

Fonte: Autor

**Tabela 3.3.** Principais dimensões/características da lagoa de maturação.

Formato	Trapezoidal
Relação Comprimento/Largura	9 X 14 m
Volume útil da lagoa	Não disponibilizado
Tempo de Detenção Hidráulica	Não disponibilizado

Fonte: Autor

### 3.1.1. Vazão e Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)

Os efluentes da EMBRAPA Semiárido são oriundos tanto de instalações sanitárias da área administrativa quanto dos laboratórios da instituição, porém, estes são coletados separadamente até uma estação elevatória de esgoto (EEE) composta por dois poços de sucção como mostra a Figura 2. A partir da EEE os esgotos são bombeados para a ETE, por meio de duas bombas.

**Figura 2.** Poço de sucção da ETE: À esquerda, com tampa em vermelho recebe águas residuárias dos laboratórios; À direita, com tampa em amarelo recebe esgoto doméstico.



Fonte: Autor

Neste monitoramento não foi possível medir a vazão do sistema em virtude dos dispositivos de medição (calha Parshall) encontrarem-se operando fora das condições ideais, ou seja o esgoto bruto que chega nas unidades cobre toda a estrutura das calhas quando na verdade era para este esgoto passar por entre a calha. As calhas Parshall da ETE encontram-se logo abaixo das estruturas de cimento como mostra a Figura 3.

**Figura 3.** Calha Parshall obstruída situada abaixo de estrutura de concreto na EEE.



Fonte: Autor

Em relação ao TDH, o sistema lagoa anaeróbia + lagoa facultativa é de 18,24 dias. O TDH da lagoa de maturação não foi disponibilizado no projeto de concepção.

Apesar de não ser parâmetro direto de projeto, deve-se verificar se o TDH da lagoa é suficiente para oxidação da matéria orgânica. Segundo VON SPERGLING (2002) e Jordão e Pessôa (2011), o TDH requerido em lagoas de estabilização depende de fatores climáticos. Uma faixa usual citada pelos autores é de 7 a 15 dias para lagoas Anaeróbias; 10 a 20 dias, para lagoas facultativas secundárias e, 2 a 7 dias para lagoas de Maturação.

Para lagoas de maturação, Jordão e Pessôa (2011) apontam o valor mínimo a ser mantido de 3 dias na unidade, para evitar varrimento de algas.

## 3.2. Dados de Caracterização dos Efluentes e Monitoramento da ETE

### 3.2.1. Caracterização dos Efluentes

Os efluentes foram caracterizados segundo os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de acordo com o Standard Methods (1998) para todas as coletas mostrados na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4.** Técnica analítica e unidade de todos os parâmetros avaliados na ETE.

Parâmetros	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE
pH	Direto, Potenciométrico	-----
Temperatura do efluente	Leitura direta	° C
Condutividade Elétrica	Direto, Condutométrico	µC/cm
Cloretos	Titulométrico	mg/L
Alcalinidade Total	Titulométrico	mg/L
Sólidos Totais		mg/L
• Em suspensão (SST)		mg/L
○ Fixos (SSF)		mg/L
○ Voláteis (SSV)	Gravimétrico	mg/L
• Dissolvidos (SDT)		mg/L
○ Fixos (SDF)		mg/L
○ Voláteis (SDV)		mg/L
• Sedimentáveis (SSed)	Cone de <i>Imhoff</i>	ml/L
Nitrogênio Total (N-Total)		mg/L
Nitrogênio Amoniacal	Nitrogênio Kjeldahl	mg/L
Fósforo Total	Digestão por persulfato de Potássio e ácido ascórbico	mg/L
<i>Escherichia Coli</i> (E. Coli)	Membrana filtrante	UFC/100 mL
Clorofila a	Espectrofotometria, Golterman e Clymo (1971)	µg/L
Oxigênio Dissolvido	Direto, Eletrométrica	mg/L
DQO	Colorimétrico	mg/L
DBO <sub>5</sub>	Oxitop	mg/L

Fonte: Fonte: Adaptado (VON SPERLING, 2005)

As coletas de amostras dos efluentes foram realizadas em duas etapas:

- 1) Coletas semanais: 1 coleta por semana durante 5 semanas (resultando em 5 coletas);
- 2) Coletas Quinzenais: 1 coleta a cada 15 dias durante 30 dias (resultando em 2 coletas).

Totalizando 7 coletas que compreenderam os meses de Março, Abril e Maio. Todas as coletas foram realizadas sempre pela manhã (entre 09:00 e 11:00 h), em frascos âmbar e, para análise microbiológica utilizou-se frascos estéreis e foram analisada nos laboratórios Agroambiental da Embrapa e de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco.

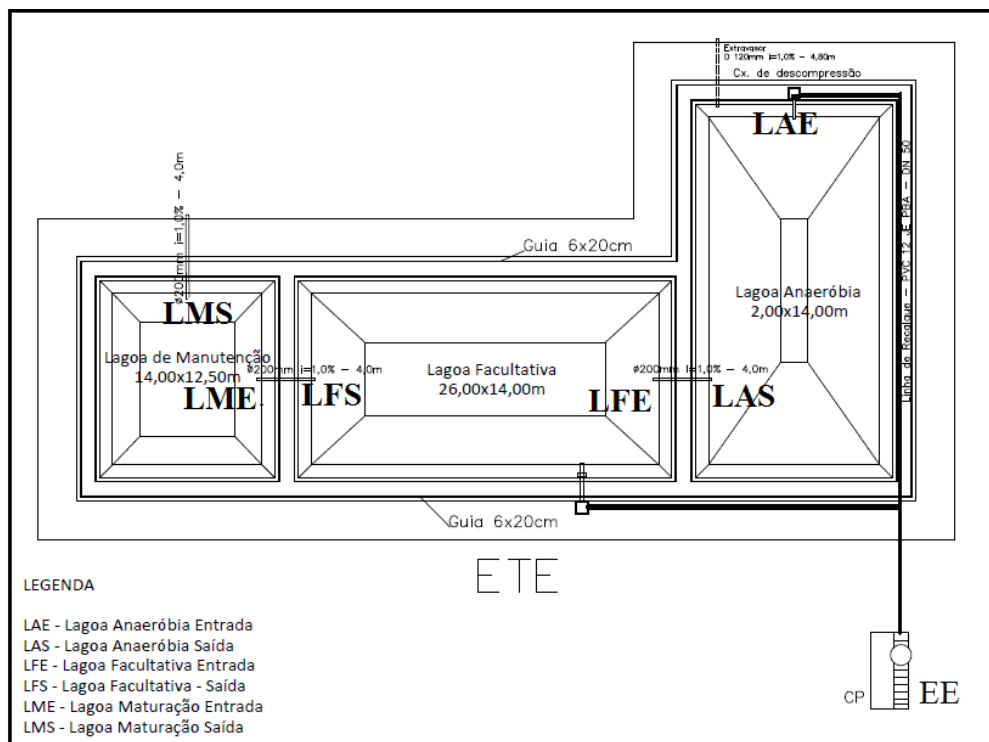
Para nível de entendimento deste trabalho destaca-se que: Os valores de DBO se referem sempre a DBO<sub>5</sub> 20 (de 5 dias, 20 °C), mas serão referenciados ao longo do texto apenas como DBO; Tanto os valores de DBO quanto de DQO se referem a DBO ou DQO Total.

Por não encontrar na literatura dados de referência para uma ETE que recebe afluente misto (doméstico + águas residuária de laboratórios) os resultados deste trabalho foram comparados aos de esgoto doméstico.

### **3.2.2. Monitoramento da ETE**

Foram analisados dados de quatro pontos de coleta: Lagoa anaeróbia entrada (LAE), Lagoa anaeróbia Saída (LAS), lagoa facultativa entrada (LFE = LAS), lagoa facultativa saída (LFS), lagoa de maturação entrada (LME = LFS) e lagoa de maturação saída (LMS) como mostra o esquema na Figura 4. Destaca-se que, durante as coletas, do afluente à lagoa anaeróbia, ocorreu de algumas coletas coincidirem com o momento de entrada do esgoto bruto nesta unidade.

**Figura 4.** Esquema dos pontos de coletas na ETE EMBRAPA



Fonte: Autor

### 3.3. Avaliação de Desempenho

Para obter um diagnóstico geral do funcionamento do sistema, foi feita a avaliação de desempenho da ETE levando em conta análises dos dados de monitoramento das análises físicas, químicas e microbiológicas, através da eficiência de remoção de matéria orgânica e de *E. coli* e sólidos sedimentáveis conforme equação 1:

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde,

E = eficiência de remoção (%)

Co = Concentração afluente do poluente (mg/L)

Ce = Concentração efluente do poluente (mg/L)



### 3.4. Análise Estatística

A análise estatística dos dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas lagoas, permitiu a avaliação de desempenho da ETE no que concerne a essas variáveis por meio de medidas de variação realizadas através do programa Microsoft Excel® 2007.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização dos Efluentes

A Tabela 4.1 apresenta uma comparação entre as concentrações usuais de afluentes a uma ETE com as concentrações médias afluentes à ETE da EMBRAPA Semiárido.

**Tabela 4.1.** Comparação entre concentrações afluentes usuais e reais na ETE

Parâmetros	Concentrações usuais		Concentrações médias deste trabalho
	Faixa	Típico	
<b>pH</b>	6,7-8,0	7,0	7,03
<b>Cloretos</b>	-	368	26,86
<b>Alcalinidade</b>	100-250	200	328,08
<b>DBO<sub>5</sub></b>	250-400	300	71,29
<b>DQO</b>	450-800	600	142,02
<b>Nitrogênio Total</b>	35-60	45	26,25
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	20-35	25	3,56
<b>Fósforo Total</b>	4-15	7	197,68
<b>Sólidos Totais</b>	700-1350	1100	246,24
• <b>Em suspensão</b>	200-450	350	73,93
○ <b>Fixos</b>	40-100	80	19,17
○ <b>Voláteis</b>	165-350	320	54,76
• <b>Dissolvidos</b>	500-900	700	84,40
○ <b>Fixos</b>	300-550	400	37,74
○ <b>Voláteis</b>	200-350	300	46,67
• <b>Sedimentáveis</b>	10-20	15	2,10

Fonte: Autor

De maneira geral, o afluente apresentou concentrações inferiores às dos esgotos domésticos para a maioria dos parâmetros avaliados. Observou-se, que as concentrações médias de DBO e DQO (71,29 e 142,02 mg/L) ficaram abaixo daquelas tipicamente expressas na literatura para esgotos domésticos. Já as concentrações de fósforo total (197,68 mg/L) se situaram acima, dos valores usuais da literatura como mostra a Tabela 4.1.

Nota-se que para a maioria dos parâmetros avaliados a concentração do afluente ficaram abaixo daquelas comumente citadas na literatura para esgotos domésticos, ou seja, trata-se de um esgoto diluído. Vale salientar que, a ETE recebe afluentes laboratoriais o que pode lhe conferir tal característica.

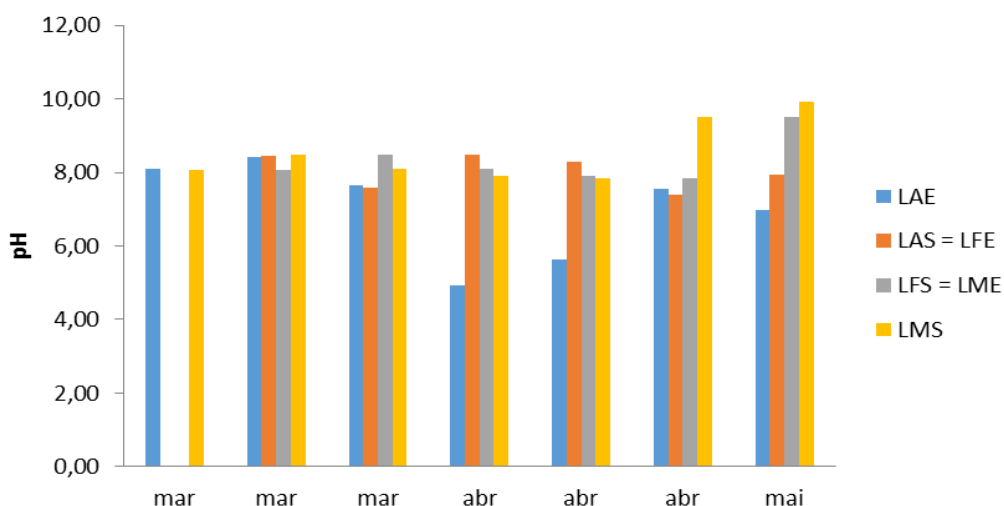
## 4.2. Monitoramento das Unidades Operacionais do Sistema

A Tabela 4.2 fornece a análise estatística do pH para a ETE da EMBRAPA Semiárido ao longo do período de análise, para o afluente e efluente das lagoas Anaeróbia, Facultativa e de Maturação.

### 4.2.1. pH e Alcalinidade

As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram os valores do pH de cada unidade operacional e do sistema como um todo, respectivamente, no período analisado de forma a facilitar a visualização e interpretação dos dados

**Figura 4.1.** Valores do pH de cada unidade operacional da ETE.



**Tabela 4.2.** Concentração média, coeficiente de variação e desvio padrão de algumas variáveis de qualidade do afluente e efluente da ETE da EMBRAPA Semiárido.

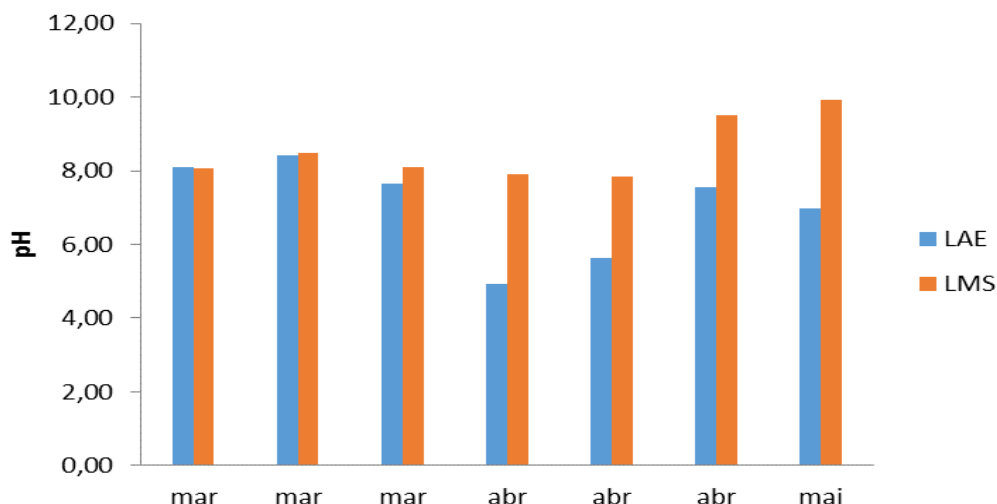
Parâmetros avaliados	Lagoa Anaeróbia Entrada					Lagoa Anaeróbia Saída = Lagoa Facultativa Entrada				
	Média	S*	CV**	Maior Valor	Menor Valor	Média	S*	CV**	Maior Valor	Menor Valor
pH	7,03	1,30	0,18	8,40	4,92	8,02	0,46	0,06	8,49	7,40
Alcalinidade Total (mg/L)	328,08	88,88	0,27	425,00	141,67	415,53	90,37	0,21	575,00	311,67
C.E. ( $\mu$ S.cm-1)	181,64	52,77	0,29	276,90	118,70	189,47	15,03	0,08	202,80	168,80
AGV (mg/L)	26,47	20,15	0,76	67,42	12,97	18,62	2,15	0,11	20,75	16,20
Cloreto (mg/L Cl)	26,86	7,49	0,28	37,70	16,43	25,56	3,16	0,12	19,54	21,62
O.D. (mg/L)	8,60	2,71	0,32	14,50	6,70	12,13	3,48	0,28	18,00	8,80
DQO (mg/L)	142,02	108,92	0,77	273,07	40,49	74,90	48,91	0,65	134,92	25,92
DBO (mg/L)	71,29	76,47	1,07	238,33	24,00	34,06	8,48	0,25	47,33	22,67
SST (mg/L)	246,24	56,04	0,23	337,33	192,00	231,58	158,61	0,68	528,67	55,83
SSF (mg/L)	93,29	31,75	0,34	162,00	64,67	83,03	36,04	0,43	136,00	53,33
SSV (mg/L)	152,95	56,52	0,37	257,33	102,67	148,56	137,52	0,93	392,67	0,00
SS (mL/L)	2,16	0,52	0,24	3,00	1,40	1,00	2,45	2,45	6,00	0,00
N-Total (mg/L)	26,25	12,37	0,47	35,00	17,50	148,75	175,72	1,18	273,00	24,50
Nitrogênio (mg/L)	3,56	1,06	0,30	5,21	1,86	6,15	3,23	0,52	9,72	2,24
Fósforo (mg/L)	197,68	212,44	1,07	537,44	2,07	153,23	185,46	1,21	491,77	18,65
Clorofila a $\mu$ g/L	158,16	114,74	0,73	372,24	16,38	692,42	594,89	0,86	1751,51	32,76
Temperatura (° C)	27,69	0,47	0,02	28,00	27,00	28,75	0,26	0,01	29,10	28,50
E. coli (U.F.C/100ml)	2,17E+06	2,85E+06	1,31E+00	8,30E+06	2,30E+03	1,42E+06	2,74E+06	1,92E+00	6,90E+06	6,20E+03

Continua...

**Tabela 4.2.** Concentração média, coeficiente de variação e desvio padrão de algumas variáveis de qualidade do afluente e efluente da ETE da EMBRAPA Semiárido (Continuação).

Parâmetros avaliados	Lagoa Facultativa Saída = Lagoa Maturação Entrada					Lagoa Maturação Saída				
	Média	S*	CV**	Maior Valor	Menor Valor	Média	S*	CV**	Maior Valor	Menor Valor
pH	8,32	0,63	0,08	9,52	7,84	8,55	0,84	0,10	9,94	7,84
Alcalinidade Total (mg/L)	378,91	20,4	0,05	416,67	360,00	371,09	28,58	0,07	421,67	335,00
C.E. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	180,93	19,85	0,11	205,70	152,00	180,80	23,01	0,13	214,00	153,10
AGV (mg/L)	18,18	2,27	0,12	21,99	15,53	17,92	2,62	0,15	20,86	13,28
Cloreto (mg/L Cl)	25,41	2,16	0,08	28,36	22,33	25,19	2,06	0,08	28,36	22,33
O.D. (mg/L)	10,55	5,02	0,48	20,60	7,70	10,63	2,93	0,28	14,60	6,00
DQO (mg/L)	68,58	48,19	0,70	155,90	17,76	49,54	24,36	0,49	95,86	23,00
DBO (mg/L)	18,28	8,08	0,44	32,00	8,00	17,11	12,54	0,73	43,33	2,84
SST (mg/L)	178,67	29,78	0,17	212,00	126,67	217,14	61,07	0,28	324,67	154,67
SSF (mg/L)	66,67	41,70	0,63	119,00	15,00	116,10	59,11	0,51	238,00	64,67
SSV (mg/L)	112,00	36,19	0,32	171,33	61,33	101,05	44,35	0,44	148,67	35,33
SS (mL/L)	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,26	0,68	2,65	1,80	0,00
N-Total (mg/L)	18,38	3,71	0,20	21,00	15,75	14,00	2,47	0,18	15,75	12,25
Nitrogênio (mg/L)	3,33	1,55	0,47	4,80	1,25	3,23	1,52	0,47	4,91	1,12
Fósforo (mg/L)	139,33	191,81	1,38	511,00	14,33	191,25	218,81	1,14	643,189	27,30
Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ )	742,94	471,05	0,63	1606,35	322,18	312,48	201,90	0,65	649,82	19,11
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	29,25	1,89	0,06	34,00	27,00	30,71	1,52	0,05	33,00	29,00
E. coli (U.F.C/100ml)	6,84E+05	1,67E+06	2,45E+00	4,10E+06	2,00E+01	2,67E+02	4,48E+02	1,68E+00	1,10E+03	0,00E+00

\*Desvio padrão médio \*\*Coeficiente de variação

**Figura 4.2.** Valores de pH do sistema completo da ETE.

A partir dos dados da Tabela 4.2 é possível observar que na média os valores de pH do afluente da lagoa Anaeróbia situaram-se dentro da faixa esperada para esgotos domésticos os demais afluentes e efluentes das lagoas facultativa e de maturação encontram-se acima de valores típicos para este tipo de esgoto como mostra a Figura 4.1. Mesmo assim, o valor médio de pH do efluente ao sistema (pH = 8) encontra-se dentro da faixa estabelecida pela resolução CONAMA 430/2011 (pH = 5 a 9).

De acordo com Passo (2012) em um sistema de lagoas, o pH tende a aumentar ao longo do tratamento, devido à atividade das microalgas que realizam fotossíntese, consumindo o gás carbônico presente no meio e, consequentemente, aumentando o pH. Esse aumento ocorre notadamente nas lagoas facultativa e de maturação como mostram as figuras 4.1 e 4.2 uma vez que, estas foram concebidas com menores profundidades, fomentando ainda mais as atividades das algas, já que a penetração de luz pode ocorrer em maior parcela ou em toda a profundidade da lagoa.

Esse comportamento de pH também foi encontrado por Passo (2012) ao avaliar o desempenho de lagoas de estabilização em Minas Gerais.

Com relação à Alcalinidade total, em  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ , os dados médios da análise estatística estão apresentados na Tabela 4.2. As concentrações médias deste

parâmetro para o afluente à ETE ficou acima dos tipicamente citados na literatura tal resultado pode ser um indicativo de prejuízo no processo oxidativo da matéria orgânica, uma vez que, o processo de nitrificação, por exemplo, tende a consumir a alcalinidade e reduzir o valor de pH (STEIL, 2007).

Spergling (2005) destaca que elevados valores de pH na lagoa de maturação contribui para a remoção de patógenos uma vez que trata-se de uma condição inóspita.

#### **4.2.2. Temperatura**

Como o sistema de tratamento utiliza-se de mecanismos de remoção essencialmente biológicos, a temperatura do fluido nas lagoas irá influenciar diretamente a eficiência do sistema, principalmente a remoção de matéria orgânica, nutrientes e coliformes.

Na Tabela 4.2 está a análise estatística dos dados da temperatura no afluente e efluente das lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação. A maior média de temperatura, 30,7 ° C, foi na saída da lagoa de maturação, ou seja, para o efluente do sistema.

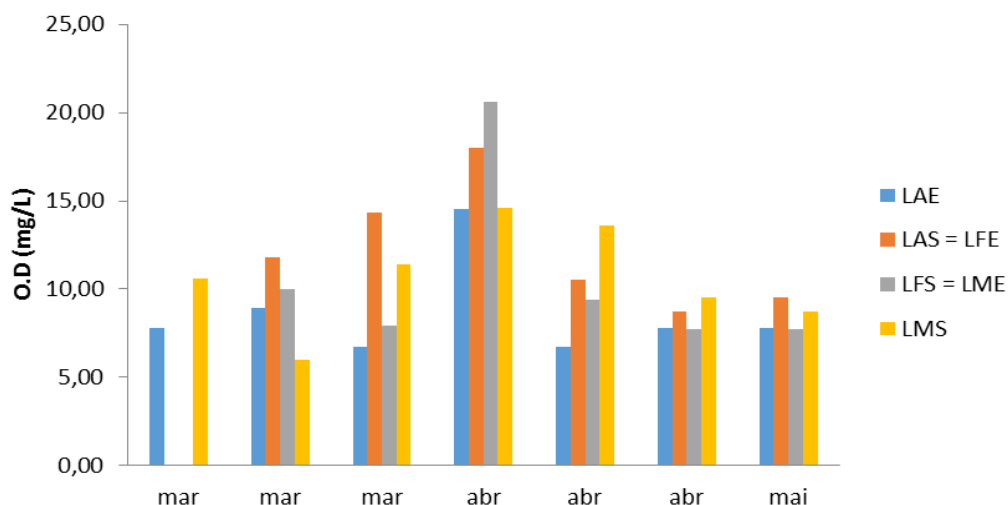
Este parâmetro, portanto atende o exigido pela resolução CONAMA 430/11 que é temperaturas inferiores a 40 ° C.

#### **4.2.3. Oxigênio Dissolvido**

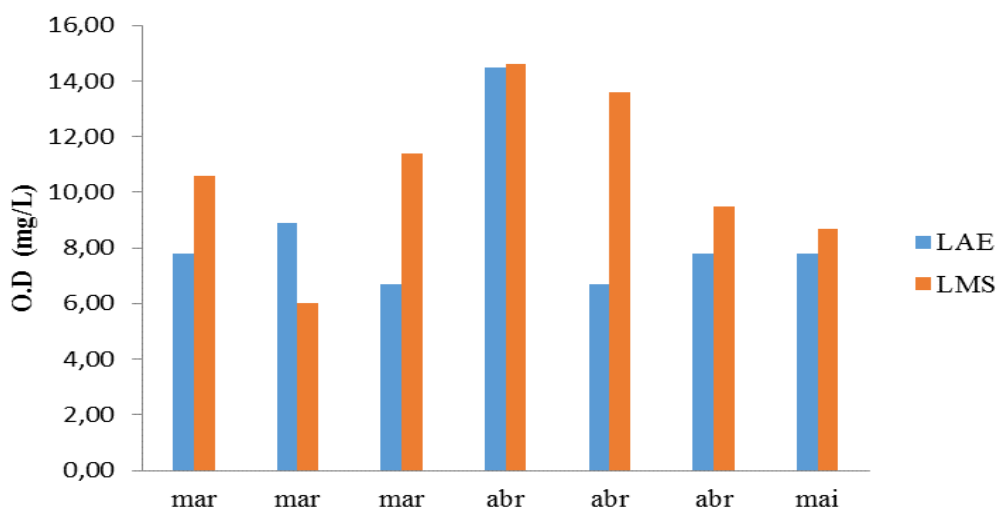
A Tabela 4.2 apresenta a análise estatística das concentrações de oxigênio dissolvido (O.D) ao longo do período de análise, para o afluente e efluente das lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação.

As Figuras 4.3 e 4.4 ilustram os valores de O.D de cada unidade operacional e do sistema como um todo, respectivamente, no período analisado de forma a facilitar a visualização e interpretação dos dados.

**Figura 4.3.** Valores de O.D de cada unidade operacional da ETE nos meses de Março a Maio.



**Figura 4.4.** Valores de O.D do sistema completo da ETE.



As lagoas facultativa e de maturação apresentaram as maiores concentrações médias de O.D no período de monitoramento. Esta elevação ocorre, principalmente, através da produção fotossintética realizada pelas algas (PASSOS, 2012).

No controle operacional de estações de tratamento de esgoto o O.D é vital para os microrganismos aeróbios pois, estes são em parte, os responsáveis pela estabilização da matéria orgânica ali presente.

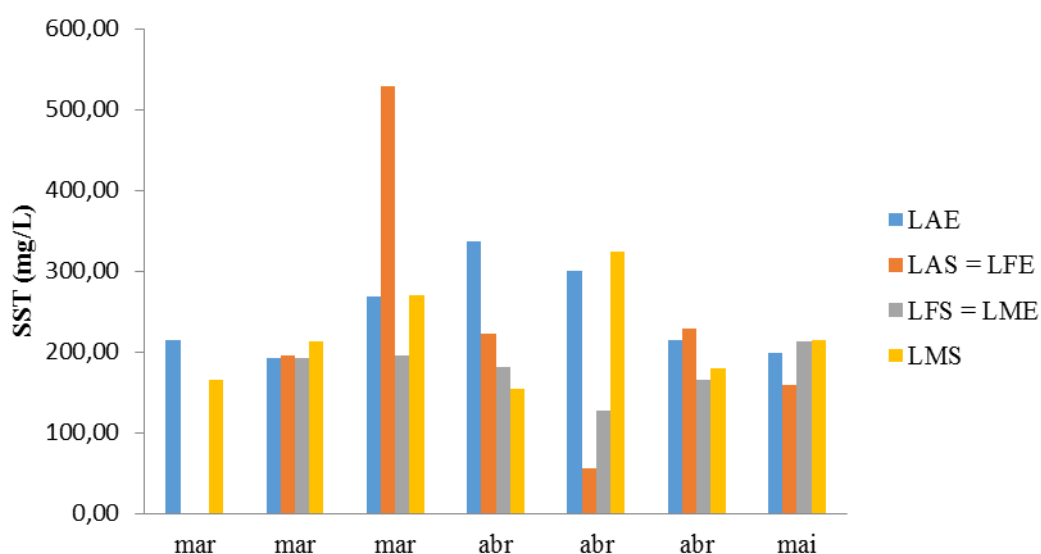
O oxigênio presente nas lagoas podem ser introduzido, ou pelo afluente, ou pelo vento, ou através da produção fotossintética realizada pelas algas, a concentração deve variar de acordo com as condições climáticas do local, intensidade da luz solar, horas de luminosidade, velocidade dos ventos entre outros fatores climáticos (KELNNER, 1998).

#### 4.2.4. Sólidos

Apresentam-se na Tabela 4.2 os resultados referentes aos sólidos presentes no afluente e efluente das lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação.

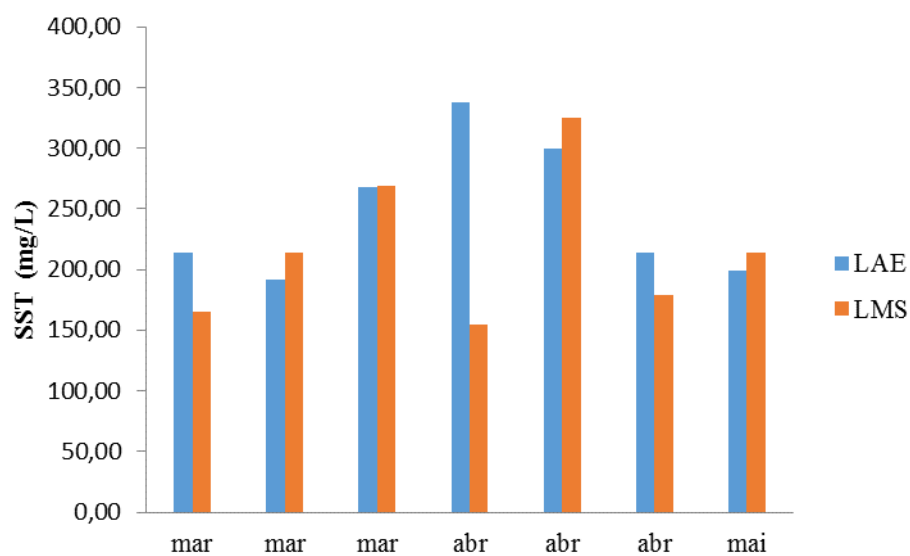
Nas figuras de 4.5 a 4.11 estão os valores de (SST, SSV, SSF, SSed) de cada unidade operacional e do sistema, respectivamente, no período analisado de forma a facilitar a visualização e interpretação dos dados.

**Figura 4.5.** Valores de SST de cada unidade operacional da ETE

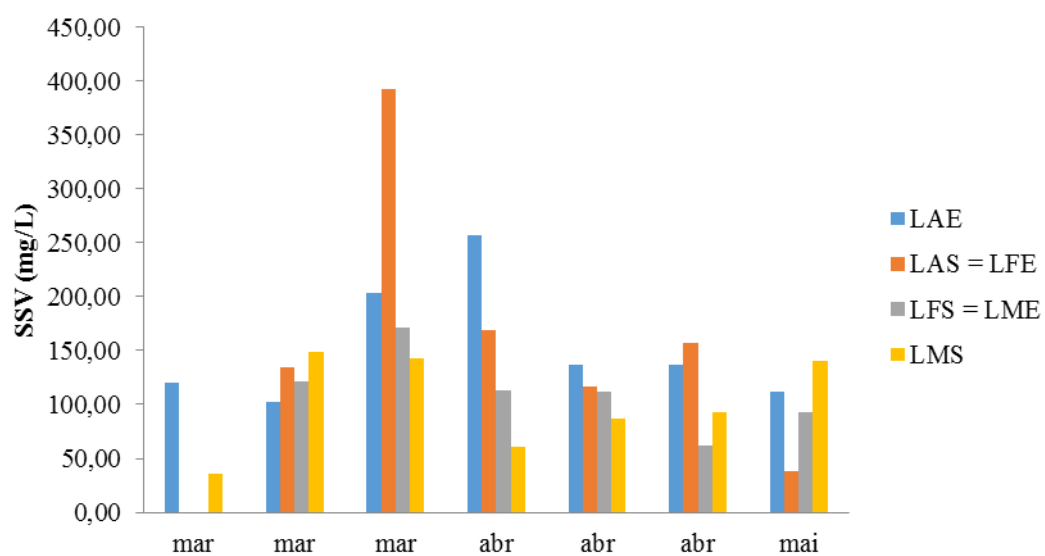


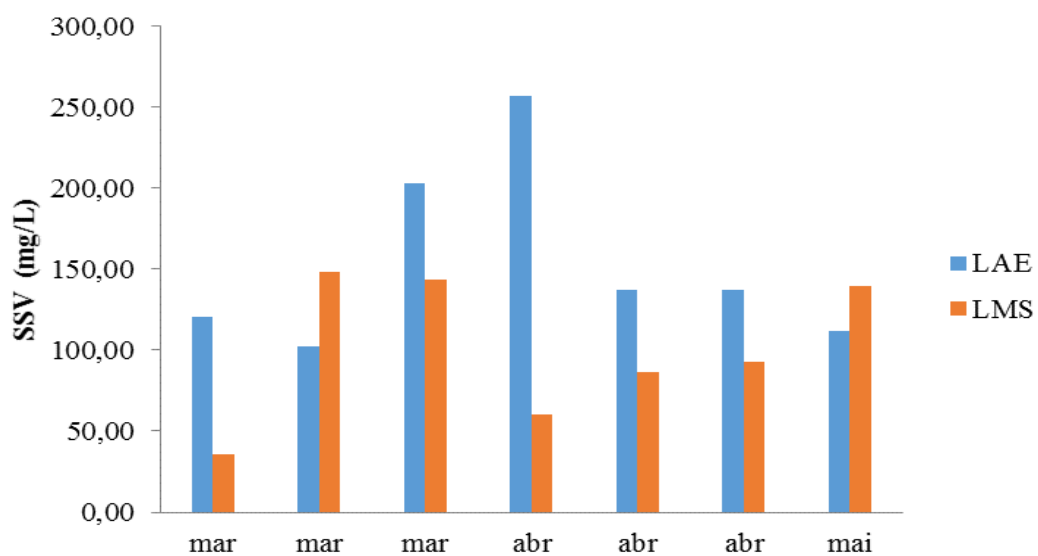
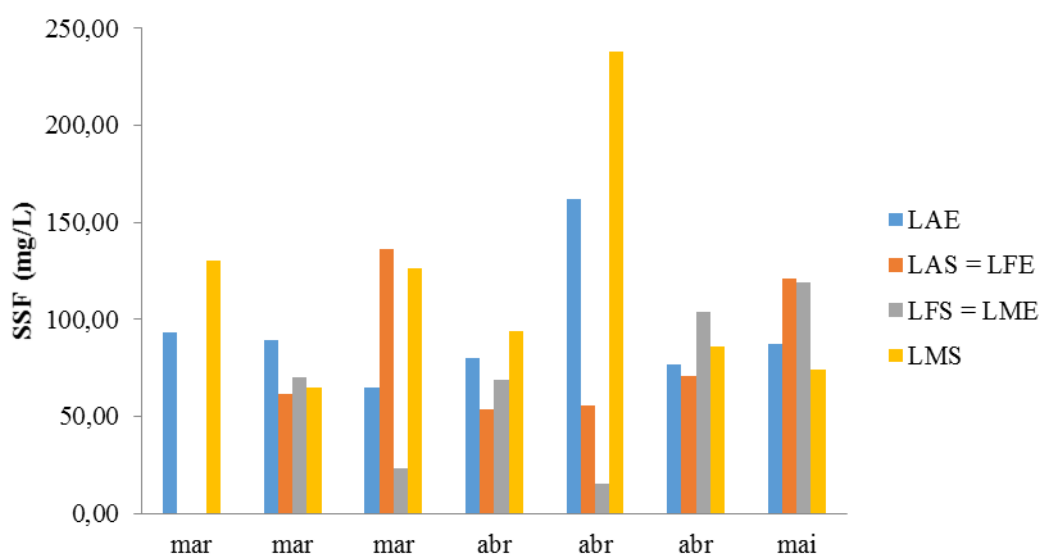


**Figura 4.6.** Valores de SST do sistema completo da ETE.

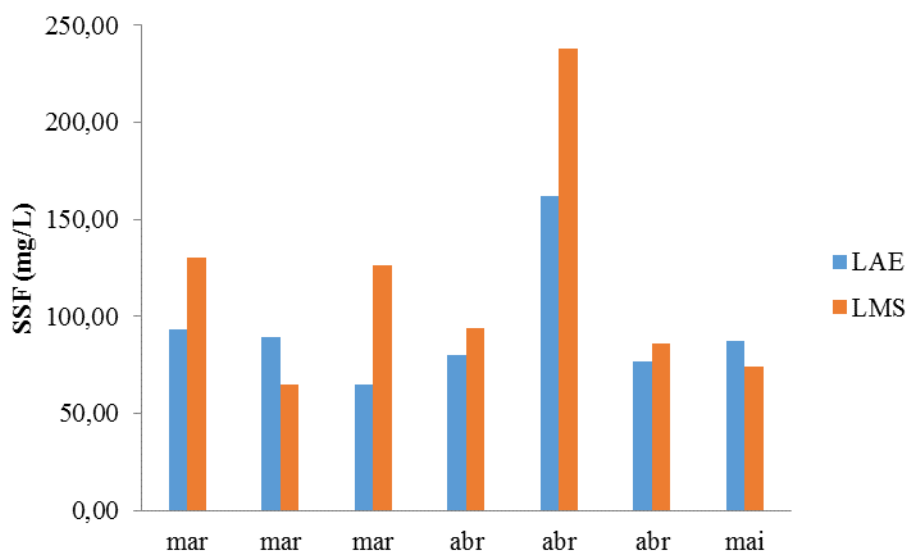


**Figura 4.7.** Valores de SSV de cada unidade operacional da ETE

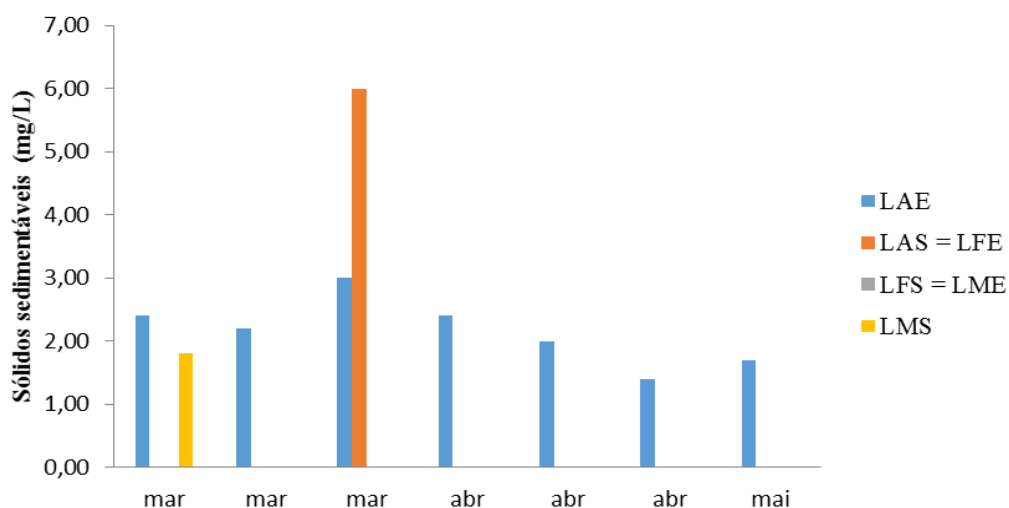


**Figura 4.8.** Valores de SSV do sistema completo da ETE**Figura 4.9.** Valores de SSF de cada unidade operacional da ETE

**Figura 4.10.** Valores de SSF do sistema completo da ETE da EMBRAPA Semiárido.



**Figura 4.11.** Valores de SSed. do sistema completo da ETE.



O afluente da lagoa anaeróbia apresentou a maior média dos valores de SST e SSV 246 e 152 mg/L respectivamente, como mostra a Tabela 4.2. Fato esse devido à elevada carga orgânica que chega nesta unidade de tratamento. Mesmo assim, os valores de SST e SSV foram inferiores a valor típico de referência para esgotos domésticos.

A Figura 4.5 mostra que, no período de monitoramento houve um incremento de SST no efluente da lagoa anaeróbia. Tal fato, pode estar associado à presença de lodo no dispositivo de saída da lagoa anaeróbia como mostra a Figura 4.12. As frações SSV e SSF também apresentaram valores médios abaixo do apontado na literatura.

Os sólidos voláteis suspensos e dissolvidos, que estão relacionados com o material orgânico presente nos esgotos, serão metabolizados de acordo com cada processo de tratamento. Os sólidos dissolvidos inorgânicos ou fixos passam pelo processo sem qualquer alteração, saindo diretamente pelo efluente (VON SPERLING, 2005). Os sólidos suspensos fixos, por sua vez, serão incorporados na biomassa bacteriana, contribuindo para a formação dos lodos do processo.

Como esperado, a maior média de SSed foi para a lagoa anaeróbia 2,16 ml/L mostrado na tabela 4.2. A elevada concentração de sólidos SSed que ocorreu na lagoa facultativa em função da presença de lodo próxima ao dispositivo de saída da lagoa anaeróbia (Entrada da lagoa facultativa) como mostra a Figura 4.12.

**Figura 4.12.** Lagoa anaeróbia à esquerda e, dispositivo de saída da lagoa anaeróbia à direita.

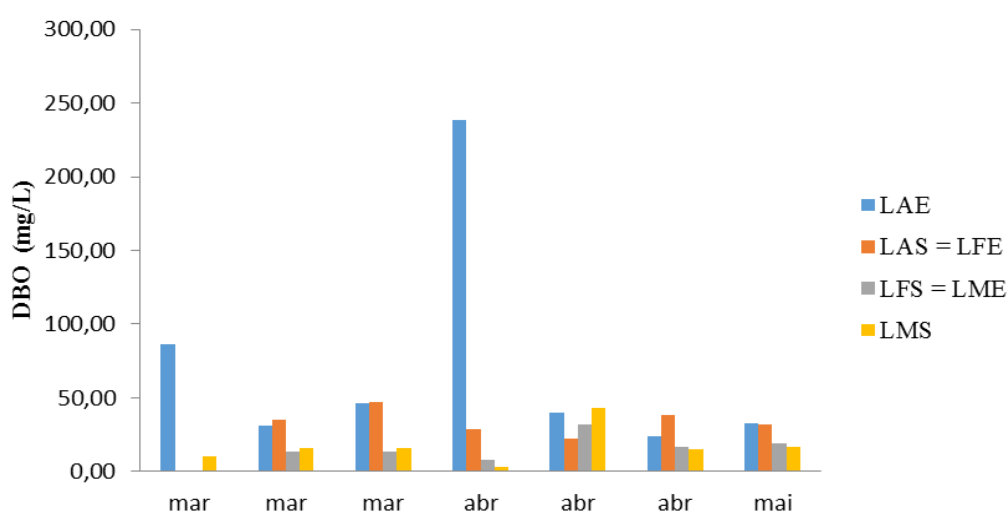


Fonte: Autor

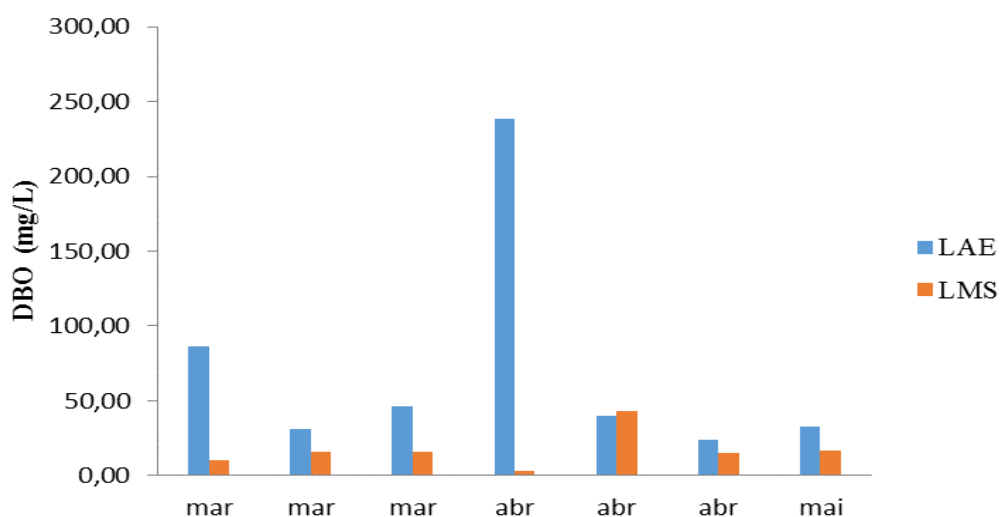
#### 4.2.5. Matéria Orgânica

A Tabela 4.2 fornece a análise estatística da DBO e DQO ao longo do período de análise, para o afluente e efluente das lagoas Anaeróbia, Facultativa e de Maturação. As Figuras 4.13 e 4.14 ilustram os valores de DBO e DQO de cada unidade operacional e do sistema como um todo, respectivamente, no período analisado de forma a facilitar a visualização e interpretação dos dados

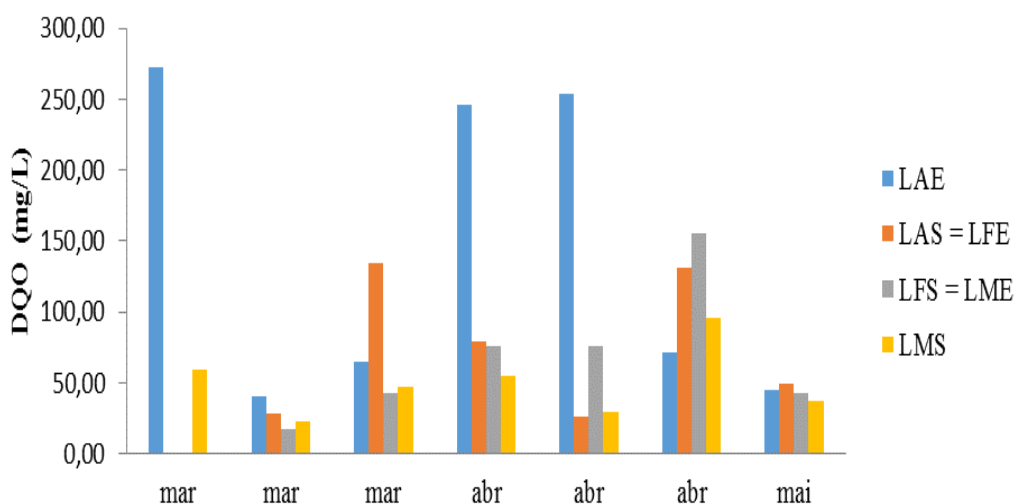
**Figura 4.13.** Valores de DBO de cada unidade operacional da ETE



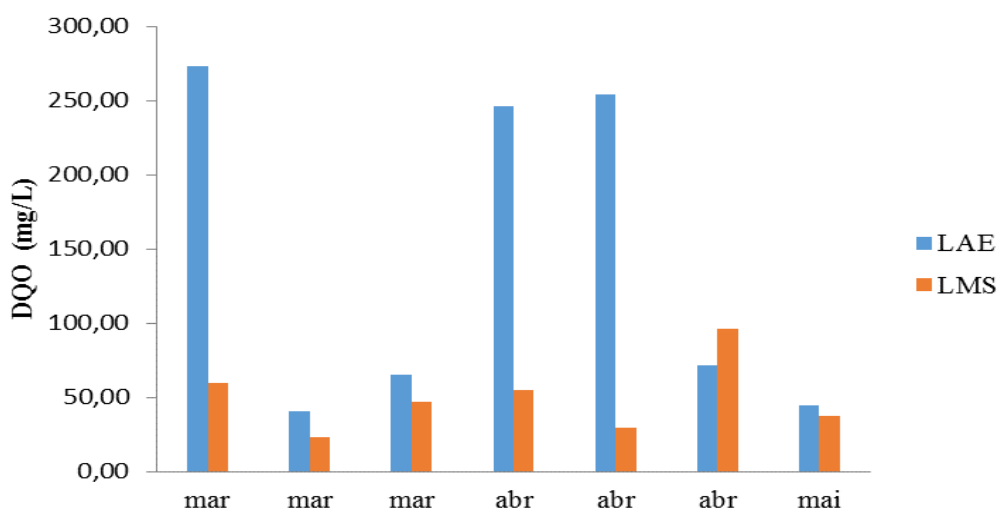
**Figura 4.14.** Valores de DBO do sistema completo da ETE.



**Figura 4.15.** Concentrações de DQO de cada unidade operacional da ETE



**Figura 4.16.** Valores de DQO do sistema completo da ETE.



A concentração média dos valores de DQO do afluente e efluente das lagoa anaeróbia, facultativa e de maturação foram de 142, 113, 77 e 49 mg/L, respectivamente como mostra a Tabela 4.2.

A Figura 4.14 mostra que durante o monitoramento as concentrações de DQO variaram bastante no afluente da lagoa anaeróbia. Tal variação pode estar relacionado com a entrada de esgoto bruto na lagoa anaeróbia durante a coleta como descrito na metodologia.

De maneira geral a figura 4.16 mostra que durante o período de monitoramento a concentração de DQO foi maior no afluente da lagoa anaeróbia e menor no

efluente da lagoa de maturação o que prova que o sistema está estabilizando a matéria orgânica.

Para a DBO as concentrações média do afluente e efluente das lagoa anaeróbia, facultativa e de maturação foram de 71,29; 34,06; 18,28 e 17,11 mg/L , respectivamente como mostra a Tabela 4.2.

#### **4.2.6. Clorofila *a***

As concentrações médias de clorofila *a* para cada unidade operacional da ETE EMBRAPA estão apresentadas na Tabela 4.2. As maiores concentrações médias 692,42 µg/L e 742,94 µg/L ocorre na entrada e saída respectivamente, da lagoa facultativa.

A clorofila *a* é frequentemente utilizada como indicadora da biomassa fitoplanctônica, ou seja, um indicador do crescimento de algas e cianobactérias devido ao enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, fenômeno este denominado eutrofização (RIBEIRO, 2007). Para as lagoas de estabilização, principalmente na lagoa facultativa, a presença de algas é essencial devido a simbiose que ocorre entres esses organismos e as bactérias aeróbias.

Em relação ao efluente à ETE altas concentrações de clorofila *a* podem interferir no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, pois criam um biofilmes superficial que altera a transparência do meio, podendo conduzir à desoxigenação do corpo d'água. Além disso, representam um sério problema para as estações de água, pois podem causar perda de carga dos filtros e alteração no odor e no sabor da água tratada CARVALHO (2013).

A concentração médias de clorofila *a* para o efluente à ETE EMBRAPA foi de 312,48 µg/L. No entanto, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece padrões de qualidade para clorofila *a* para águas doces, classes especial, 1 (10 µg/L), 2 (30 µg/L) e 3 (60 µg/L), existindo, assim limites legais para a sua concentração nesses ambientes aquáticos (BRASIL, 2005).

#### 4.2.7. Nutrientes

As concentrações médias de nitrogênio (total e amoniacal) e de fósforo total para cada unidade de tratamento da ETE EMBRAPA estão apresentadas na Tabela 4.2.

A maior concentração média de N-total e N-amoniacal foram de 148 e 6,15 mg/L, respectivamente e ocorreu na saída da lagoa anaeróbia Tabela 4.2.

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento dos esgotos daí, a importância do monitoramento deste parâmetro nestas unidades.

Os principais mecanismos de remoção de nitrogênio em lagoas de estabilização compreendem a volatilização (da amônia); assimilação pelas algas (de amônia e nitratos); atividade bacteriana (nitrificação – desnitrificação) e sedimentação (do nitrogênio orgânico particulado).

Vale ressaltar que mesmo diante de toda a importância do nitrogênio como indicador de eutrofização quando lançados em elevadas concentrações em corpos d'água, mesmo assim, este parâmetro não é mais exigido pela legislação em vigor que dispõe sobre lançamento de efluentes de origem de ETES tratando esgotos domésticos CONAMA 430/11.

Em relação ao fósforo total, a maior concentração média foi de 197,68 mg/L no afluente ao sistema valor bem superior ao típico para esgoto doméstico reportados na literatura 7 mg/L como mostra a Tabela 4.1.

#### 4.2. Avaliação do Desempenho do Sistema

A Tabela 4.3 apresenta as remoções médias de nutrientes, DBO, sólidos sedimentáveis e *E. coli* para a ETE EMBRAPA.

A eficiência de remoção de DBO na ETE foi de 54,44% (Tabela 4.3) e apresentou um efluente com concentração de 17,16 mg/L. A resolução CONAMA 430/2011 exige um valor máximo de 120 mg/L com uma remoção de 60% da DBO para lançamento direto de efluente oriundos de sistema de tratamento de esgoto sanitário. Portanto, a ETE EMBRAPA está de acordo com a resolução em vigor



ainda que, operando com eficiência abaixo daquela citada em literatura para este tipo de sistema.

A remoção de *E. coli* no sistema foi de 99,73% (Tabela 4.3) sendo que o esperado para este sistema é de 99,99%. Essa boa eficiência de remoção estar associada a um conjunto de fatores como temperatura, pH, escassez de alimento e a elevada concentração de O.D como destaca GONÇALVEZ (2003). Dessa forma, em termos de lançamento, o efluente com 267 UFC/100mL coliformes, está em conformidade com a resolução CONAMA 357/2005 que dispõe sobre o lançamento de efluentes em corpo d'água, com exceção os de classe 1.

Os sólidos sedimentáveis não foram detectáveis no efluente da lagoa de maturação (S.Sed. < 0,1 ml/L) nem na lagoa facultativa mostrando assim, a eficiência de remoção pelo processo de sedimentação, característico da lagoa anaeróbia. Portanto, corroborando com o que preconiza a resolução em vigor.

**Tabela 4.4.** Concentrações medias efluentes e eficiências típicas de remoção dos principais poluentes de interesses nos esgotos doméstico para um sistema tipo Australiano.

Sistema	Qualidade média do efluente			Eficiência média esperada		
	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	SSed (mg/L)	<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)	DBO <sub>5</sub> (%)	SSed (%)	<i>E.coli</i> (%)
Lagoa anaerobia + lagoa facultativa + lagoa maturação	40 - 70	50 - 80	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup>	80 – 85 %	73 – 83	99, 99

Fonte: Adaptado (Spergling, 2005)

**Tabela 4.3.** Eficiência média de remoção de algumas variáveis de qualidade de cada unidade operacional e sistema como um todo da ETE.

Parâmetros avaliados	Lagoa Anaeróbia		Lagoa Facultativa		Lagoa de Maturação		Sistema como um todo	
	Média	S*	Média	S*	Média	S*	Média	S*
<b>DBO (%)</b>	20,74	54,90	41,06	43,19	9,76	35,37	54,44	35,25
<b>SSed (%)</b>	60,71	76,18	-	-	-	-	89,29	28,35
<b>E. coli (%)</b>	74,48	34,00	84,64	22,87	73,06	42,30	99,73	0,69

\*Desvio padrão médio

## 5. CONCLUSÕES

Para maioria dos parâmetros avaliados, a concentração do afluente foi abaixo daqueles comumente citadas na literatura para esgotos domésticos, ou seja, trata-se de um esgoto diluído.

A estação de tratamento de esgoto da EMBRAPA atendeu satisfatoriamente a legislação em vigor para os parâmetros pH, temperatura, sólidos sedimentáveis e DBO.

O sistema de tratamento de esgoto da EMBRAPA apresentou eficiência de remoção de DBO e SSed abaixo do esperado para este tipo de sistema. A melhor eficiência foi em relação a remoção de *E. coli*.

### 5.1. Sugestões

Sugere-se a adequação do tratamento preliminar tendo em vista que:

- Como foi descrito no item 4.1.1 será necessário um ajuste no conjunto motorbomba para que este opere de acordo com o projeto inicial da ETE (04 partidas por hora);
- Limpeza e manutenção das grades, caixa de areia e calha Parshall;
- Capacitação de um operador para monitoramento constante de parâmetros operacionais e de qualidade visando manter o bom desempenho da ETE.

### 5.2. Sugestões para trabalhos futuros

- Determinação do TDH da Lagoa de Maturação;

- Monitoramento frequente da eficiência da ETE, da vazão e do TDH da ETE;
- Avaliação da atividade metanôgenica do lodo da lagoa anaeróbia;

## 6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. M.; SILVA, S. R.; MENDONÇA, A. S. F. **Eficiência na remoção de coliformes fecais em lagoas de estabilização na grande Vitória - ES.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL: ABES, 1997.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA: **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** – method 2540B, C D e E. Washington, 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de afluentes, e dá providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 23 de Abril. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 430 de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 23 de Abril. 2015.

CARVALHO, M. C., AGUIAR, L. F., PIRES, D. A., & PICOLI, C. (2013). **Manual de Cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais.** 47 p. CETESB, São Paulo, 2013.

CARVALHO, M. E. **Tratamento de Águas Residuárias Combinadas (Despejos Domésticos e Efluentes Industriais) utilizando Lagoas de Estabilização em Escala Real.** In: Congresso de engenharia sanitária e ambiental. 1999.241-246p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias. Vol. 5: Reatores Anaeróbios.** 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007. 379 p.

DA SILVA, P. A. F. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização.** 2007.169 p: Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia, Natal, 2007.

DE OLIVEIRA, L. F. et al. **Eficiências de remoção de carga orgânica por lagoas de estabilização.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E

AMBIENTAL. 1-10 p. Rio de Janeiro. ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

DESTRO, C. A. M., AMORIM, R. **Avaliação do desempenho do sistema de lagoas de estabilização do bairro CPA III em Cuiabá/MT, a partir de variáveis físico-químicas e biológicas.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 2007.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Disponível em: < [www.embrapa.br/quem-somos](http://www.embrapa.br/quem-somos) > Acesso em: 09 de março. 2015

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). **Manual de saneamento: orientações técnica.** Brasília: FUNASA, 2004. 407 p

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia.** ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, RiMa, 2003, 438p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** Cetesb, 1975.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. **Lagoas de estabilização: Projeto e operação.** 244P. Rio de Janeiro: ABES, 1998.

LÉON S., G.; MOSCOSO CAVALLINI, Julio. **Tratamento e uso de águas residuárias.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 109 p.

MARA, D. D.; ALABASTER, G. P.; PEARSON, H. W.; MILLS, S. W. **Waste stabilization ponds: a design manual for Eastern Africa.** Leeds: Lagoon Technology International, 1992. 121 p.

MASCARENHAS, L. C. A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB.** 45 – 54 p. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

MONTEGGIA, L. O. **Remoção físico-química de algas e fósforo de efluentes de lagoas de alta taxa. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** 10 p. Coletânea de trabalhos técnicos, v. 2, 2001.

NOGUEIRA, V. L. M. **Caracterização de um sistema de lagoas de estabilização numa estação de tratamento de esgotos domésticos em escala real, em Fortaleza, Ceará.** 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

OLIVEIRA, S. M. A. C. **Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos**. 214 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. 2005a. **Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias**. 347 – 357 p. Parte 1 – Análise de desempenho. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 4, 2005.

PASSOS, R. G. **Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização por meio de dados de monitoramento e modelagem em fluidodinâmica computacional (cfd)**. 2012. 152 p: Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)- Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

RIBEIRO, P. C. A. **Análise de fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em lagoas de estabilização**. 2007. 106 p: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2007.

SILVA, S. A.; MARA, D.D. **Tratamento biológico de águas residuárias: Lagoas de estabilização**. 140p. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

SILVA, J. L. **Levantamento da situação da estação de tratamento de esgoto de cajazeiras no bairro cajazeiras na cidade de Mossoró-RN**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2011.

SILVA FILHO, P. A. **Disgnóstico operacional de lagoas de estabilização**. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

STEIL, L. **Avaliação da Atividade Microbiana Anaeróbia Metanogênica na Lagoa de Estabilização Anaeróbia da Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários do Município de Cajati**. Vale do Ribeira de Iguape, Estado de São Paulo. 2007. 291 p: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 452 p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de aguas residuárias**. 211 p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização**. 2. ed., ampl. atual. Belo Horizonte: UFMG - Editora, 2002. 196 p.