



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**ARTHUR CÉSAR BATISTA SOARES**

**DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MODELO DE SISTEMAS ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUPERFICIAL COM MACRÓFITAS EMERGENTES E  
FLUTUANTES NO PÓS-TRATAMENTO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO**

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Ouro Preto, 2018**

**ARTHUR CÉSAR BATISTA SOARES**

**DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MODELO DE SISTEMAS ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUPERFICIAL COM MACRÓFITAS EMERGENTES E  
FLUTUANTES NO PÓS-TRATAMENTO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção de Grau em Engenharia Ambiental.

**Ouro Preto, dezembro 2018.**

S676d Soares, Arthur César Batista.  
Determinação da eficiência do modelo de sistemas alagados construídos de fluxo superficial com macrófitas emergentes e flutuantes no pós-tratamento de lagoa de estabilização [manuscrito] / Arthur César Batista Soares. - 2018.

80f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Falcão Barella..

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.

1. Sistemas alagados construídos. 2. Pós-tratamento. 3. Macrófitas flutuantes e emergentes. 4. Remoção de poluentes. 5. Eficiência de remoção. I. Barella., Cesar Falcão. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 504

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Arthur César Batista Soares

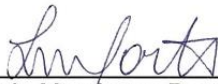
Título: DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MODELO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUPERFICIAL COM MACRÓFITAS EMERGENTES E FLUTUANTES NO PÓS-TRATAMENTO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendida e aprovada em 13/12/2018 pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



---

Cesar Falcão Barella (orientador)  
Departamento de Engenharia Ambiental – UFOP



---

Lia de Mendonça Porto  
Departamento de Engenharia Ambiental – UFOP



---

Paulo de Castro Vieira  
Departamento de Engenharia Urbana – UFOP

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Marcos e Rosana, pelo apoio incondicional, e incentivo a formação profissional.

Aos meus irmãos Caio e Guilherme, pelo suporte e referência de caráter e integridade.

À Professora Dra. Mônica Cristina Teixeira por fomentar a minha curiosidade a respeito de tratamentos biológicos de resíduos.

À Professora Dra. Lia de Mendonça Porto, pelos ensinamentos e incentivos, pela orientação durante toda a caminhada da graduação.

Ao Professor Cesar Falcão Barella, pela parceria, suporte e cobrança, principalmente pelos ensinamentos e por último por me ajudar a finalizar esta etapa na minha vida.

Agradeço ao Grupo Águas do Brasil - Águas de Juturnaíba, em especial ao técnico Maike e Caroline, pelos fornecimentos de dados para elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos

Meus agradecimentos aos amigos Ana, Nayara, Marina e Maria Luiza, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Aos amigos e companheiros da Republica Marakutaia, na qual tive grande prazer de conviver, em especial ao Cafu e Makelele.

**EPÍGRAFE**

*“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos. ”*

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

A Lei N° 11.445/07 estabeleceu a universalização do acesso ao saneamento básico, criando a necessidade do tratamento dos efluentes gerados pelos aglomerados urbanos. As estações de tratamentos convencionais contemplam essencialmente a remoção de matéria orgânica, restando muitas vezes fósforo, nitrogênio e patógenos, sendo necessária a adição de uma etapa complementar (pós-tratamento). Uma alternativa que vem ganhando espaço é a utilização dos sistemas alagados construídos. O objetivo dos sistemas alagados construídos é reproduzir os mecanismos de funcionamento dos sistemas alagados construídos naturais otimizando seus mecanismos de funcionamento na remoção de poluentes em águas poluídas. Logo, a partir de duas estações que possuem as mesmas etapas de tratamento e que utilizam o modelo de sistemas alagados construídos no pós-tratamento de lagoas aeróbicas, localizadas no mesmo estado brasileiro, diferenciando-se basicamente no volume de efluente tratado determinou-se a eficiência destes modelos para a atenuação dos poluentes: DQO, DBO, SST, N-TOTAL, P-TOTAL, pH, MBAS, óleos e graxas e *coli*, embora os parâmetros MBAS e óleos e graxas terem sido descartados das análises devido a sua inviabilidade estatística. As análises utilizadas foram baseadas na estatística descritiva, assim como a comparação realizada com outros modelos que utilizassem sistemas alagados construídos como pós tratamento de lagoas aeróbicas, a fim de determinar a eficiência das estações de tratamento. Os parâmetros DQO e DBO não demonstraram grande redução para este modelo de tratamento, fato este que era esperado, visto que a relação DQO/DBO do efluente é cerca de 70% nos efluentes indicando assim a pouca degradabilidade da matéria orgânica presente. Os parâmetros N-TOTAL e P-TOTAL apresentaram considerável redução em ambas estações, mesmo para os períodos em que se verificou oscilações na entrada dos sistemas alagados construídos, demonstrando que este modelo pode ser utilizado para remoção destes compostos. Os SST não apresentaram reduções consideráveis, embora fatores como períodos de seca, tempo de detenção hidráulica e alta carga de matéria orgânica no efluente possam ter prejudicado a remoção deste componente no efluente. O único parâmetro biológico monitorado o *E. coli* apresentou os piores resultados para remoção, em alguns casos verificando-se inclusive o seu aumento ao final do processo, mas é válido salientar que estes modelos não são indicados para a eliminação deste tipo de poluente, ainda em relação ao aumento da concentração, esta pode estar ligada ao fenômeno de evapotranspiração que concentra os poluentes devido à perda de volume de água. As estações de tratamento de esgoto apresentaram bons níveis de remoção para os parâmetros P-TOTAL

e N-TOTAL, assim como uma melhora na qualidade do parâmetro SST, comprovando sua potencialidade de atenuação destes parâmetros, o parâmetro E.coli apesar de não demonstrar bons resultados, não denota tamanha importância pois este não é o foco de atuação dos modelos de SACs, ainda a diversos medições discrepantes, sugere a incoerência dos dados para este parâmetro, sendo possível que o THD na etapa anterior as SACs tenha sido insuficiente para uma considerável redução, ainda para a remoção efetiva deste parâmetro é necessário a adição de uma etapa de desinfecção do efluente.

**Palavras-Chave:** Sistemas alagados construídos (*wetlands*), tratamento de efluentes, parâmetros físico-químicos e biológicos, pós-tratamento de lagoa aeróbica, eficiência de remoção, vazão.



## ABSTRACT

Law No. 11.445 / 07 established the universalization of access to basic sanitation, creating the need to treat effluents generated by urban agglomerations. Conventional treatment stations essentially include the removal of organic matter, often leaving phosphorus, nitrogen and pathogens, and the addition of a complementary (post-treatment) step is necessary. An alternative that is gaining space is the use of flooded systems built. The purpose of constructed flooded systems is to reproduce the functioning mechanisms of natural flooded systems optimizing their operation mechanisms in the removal of pollutants in polluted waters. Therefore, from two stations that have the same treatment stages and that use the model of flooded systems constructed in the post-treatment of aerobic lagoons, located in the same Brazilian state, differing basically in the volume of treated effluent was determined the efficiency of these models for the attenuation of pollutants: COD, BOD, SST, N-TOTAL, P-TOTAL, pH, MBAS, oils and greases and E. coli, although MBAS and oils and grease parameters were discarded from the analyzes due to its statistical unfeasibility. The analyzes used were based on descriptive statistics, as well as the comparison with other models using flooded systems constructed as post treatment of aerobic ponds, in order to determine the efficiency of the treatment plants. The COD and DBO parameters did not show a great reduction for this treatment model, a fact that was expected, since the COD / BOD ratio of the effluent is about 70% in the effluents, thus indicating the low degradability of the organic matter present. The N-TOTAL and P-TOTAL parameters presented a considerable reduction in both seasons, even for the periods in which there were oscillations in the entrance of the flooded systems, demonstrating that this model can be used to remove these compounds. The SST did not show significant reductions, although factors such as periods of drought, hydraulic detention time and high organic matter loading in the effluent could have hindered the removal of this component in the effluent. The only biological parameters monitored by E. coli presented the worst results for removal, in some cases even increasing at the end of the process, but it is worth noting that these models are not indicated for the elimination of this type of pollutant, yet in relation to the increase in concentration, this may be linked to the evapotranspiration phenomenon that concentrates the pollutants due to loss of water volume. The sewage treatment plants presented good levels of removal for the parameters P-TOTAL and N-TOTAL, as well as an improvement in the quality of the SST parameter, proving its potential attenuation of these parameters, the parameter E.coli, although it did not show good results, it does not indicate such

importance because this is not the focus of the SACs models, even to several discrepant measurements, suggests the incoherence of the data for this parameter, and it is possible that the THD in the previous stage the SACs was insufficient for a considerable reduction, even for the effective removal of this parameter it is necessary to add a disinfection step of the effluent.

**Key words:** Wetlands, effluent treatment, physical-chemical and biological parameters, aerobic pond post-treatment, removal efficiency, flow rate.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma com a divisão dos modelos dos SACs .....	7
Figura 2: Esquema típico de um sistema alagado construído de fluxo superficial.....	7
Figura 3: Espécies de macrófitas típicas dos SACs .....	8
Figura 4: Esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas flutuantes .....	9
Figura 5: Figuras ilustrativas do aguapé .....	9
Figura 6: Figuras ilustrativas da <i>Salvinia auriculata</i> .....	10
Figura 7: Esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas submersas .....	11
Figura 8: Figuras ilustrativas da <i>Elodea Canadensis</i> .....	11
Figura 9: Esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas emergentes .....	12
Figura 10: Figuras ilustrativas do papiro brasileiro .....	13
Figura 11: Figuras ilustrativas da sombrinha chinesa .....	13
Figura 12: Fluxograma etapas de tratamento ETE P.L. ....	19
Figura 13: ETE Ponte dos Leites, em Araruama .....	19
Figura 14: Tratamento preliminar .....	20
Figura 15: Lagoa Aerada.....	20
Figura 16: Lagoa de sedimentação .....	21
Figura 17: Pós-tratamento (SACs).....	22
Figura 18: Fluxograma etapas de tratamento ETE Caju. ....	23
Figura 19: ETE Caju, em Silva Jardim .....	23
Figura 20: Legendas dos box-plots .....	26
Figura 21: Esquema representativo da ETE Experimental de Tratamento e Reuso de Esgotos .....	30

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Constituintes e mecanismos de remoção do sistema dos SACs construídas .....	14
Tabela 2: Papel das macrófitas nos SACs .....	15
Tabela 3: Limites de concentração .....	27
Tabela 4: Limites de concentração de DBO e SST conforme a carga orgânica bruta.....	28
Tabela 5: Parâmetros nas etapas de tratamento .....	30
Tabela 6: Médias e DP da DQO .....	32
Tabela 7: Eficiência de remoção DQO entre a entrada do SAC e saída da ETE .....	33
Tabela 8: Média e DP da DBO .....	35
Tabela 9: Eficiência de remoção DBO entre a entrada e saída do SAC .....	36
Tabela 10: Relação DBO/DQO nas estações .....	37
Tabela 11: Média e DP dos SST .....	39
Tabela 12: Eficiência de remoção SST entre a entrada e saída do SAC .....	40
Tabela 13: Média e DP do N-TOTAL .....	41
Tabela 14: Eficiência de remoção Nitrogênio entre a entrada e saída do SAC .....	42
Tabela 15: Média e DP do P-TOTAL .....	44
Tabela 16: Eficiência de remoção Fósforo entre a entrada e saída do SAC .....	45
Tabela 17: Eficiência de remoção E. coli entre a entrada e saída do SAC .....	48
Tabela 18: Dados dos parâmetros de controle mensais na entrada dos SACs da ETE Ponte dos Leites	60
Tabela 19: Dados dos parâmetros de controle mensais na entrada e saída dos SACs da ETE Caju .....	61
Tabela 20: Estatísticas das concentrações dos parâmetros físico-químicos da ETE P.L. ....	62
Tabela 21: Estatísticas das concentrações dos parâmetros físico-químicos da ETE Caju .....	63

**LISTA DE SIGLAS**

ETA - Estação de tratamento de água

ETE - Estação de tratamento de efluentes

ETE P.L. - Estação de tratamento de esgoto Ponte dos Leites

FWS - *U. S. Fish and Wildlife Service*

H<sub>2</sub>O - Água

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MBAS - Substâncias tensoativas que reagem com corante azul de metileno

N - Nitrogênio

NH<sub>3</sub> - Amônia

NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl

N-TOTAL - Nitrogênio total

O<sub>2</sub> - Oxigênio

OMS - Organização Mundial da Saúde

P - Fósforo

P-TOTAL – Fósforo total

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

Q<sub>1</sub> - Primeiro quartil

Q<sub>3</sub> - Terceiro quartil

RNFT - Resíduos não filtráveis totais

SACFSE - Sistema alagado construído construída de fluxo superficial com macrófitas aquática emergentes

SACFSF - Sistema alagado construído construída de fluxo superficial com macrófitas aquática flutuantes

SACFSS - Sistema alagado construído construída de fluxo superficial com macrófitas aquática submersas

SACFSSP - Sistema alagado construído construída de fluxo subsuperficial

SACFSSV - Sistema alagado construído construída de fluxo subsuperficial vertical

SACs - Sistemas alagados construídos construídas

SST - Sólidos suspensos totais

TDH – Tempo de detenção hidráulica

UASB - Upflow anaerobic sludge blanket (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo)

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	3
2.1	OBJETIVO GERAL .....	3
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	3
<b>3.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	3
3.1	TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ESGOTOS .....	3
3.2	SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS.....	5
3.2.1	MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES EM FLUXO SUPERFICIAL (SACFSF) 8	
3.2.2	MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM FLUXO SUPERFICIAL (SACFSS) 10	
3.2.3	MACRÓFITAS AQUÁTICAS EMERGENTES EM FLUXO SUPERFICIAL (SACFSE) 12	
3.2.4	MÊCANISMOS DE REMOÇÃO .....	13
3.1	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS .....	15
3.2	ÁREA DE ESTUDO.....	18
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	24
4.1	LEVANTAMENTO DE ESTUDOS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS .....	24
4.2	COLETA DE DADOS.....	24
4.3	DEFINIÇÃO DOS PARAMETROS .....	25
4.4	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS .....	26
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	26
5.1	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DAS SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS ..	27
5.1.1	DQO.....	31
5.1.2	DBO .....	34
5.1.3	SST.....	37
5.1.4	N-TOTAL.....	40
5.1.5	P-TOTAL .....	43
5.1.6	pH.....	45
5.1.7	<i>Escherichia coli</i> .....	46
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	49
	ANEXO A - GRÁFICOS DA ETE PONTE DOS LEITES.....	60
	ANEXO B - GRÁFICOS DA ETE CAJU .....	61

ANEXO C - ESTADÍSTICAS DOS TRATAMENTOS..... 62



## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural extremamente importante para a existência da vida no nosso planeta, com valores sociais, culturais. Por isso, se faz necessário o seu manejo e proteção, já que atividades industriais ou agrícolas e urbanas cotidianas tem alto potencial de impacto na sua qualidade e disponibilidade no meio. A qualidade da água está relacionada também à saúde, na qual estabelece uma relação direta. Neste caso, o meio é utilizado por vetores em algum momento do seu ciclo de vida, sendo estes potenciais patógenos nocivos à saúde.

Para tanto se faz necessário planejar e gerenciar estes recursos hídricos, a fim de garantir às atuais e futuras gerações uma água com qualidade adequada, ou seja, visando a sustentabilidade. Sendo assim, fica evidente a necessidade de tratar os efluentes de esgoto gerados pelos aglomerados urbanos e rurais. A Organização Mundial da Saúde (OMS/2014) afirma que, para cada dólar investido em água e saneamento, são economizados 4,3 dólares em custos de saúde no mundo. Esta afirmação corrobora com a implantação de políticas públicas e infraestruturas com a finalidade de prevenção a prejuízos à saúde pública, visto que ações preventivas custam menos que ações corretivas.

Diante deste contexto, foram elaboradas diversas leis a fim de regulamentar o tratamento de efluentes de esgoto. Baseado na Lei 6.938/81, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) determina a criação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o qual apresenta um caráter consultivo e deliberativo e estabelece os padrões e normas federais que deverão ser observados pelos Estados e Municípios, sendo estes passíveis de elaborar normas mais restritivas em relação as normas federais (Brasil, 1981).

No que tange ao tratamento de efluentes domésticos, as Resoluções CONAMA n°430/2011 e CONAMA n° 357/2005 formulam o arcabouço para a operação deste tipo de tratamento, onde determinam padrões de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos relevantes ao processo, assim como padrões para o lançamento de efluentes posteriormente ao tratamento em corpos d'água receptores. De modo geral, as estações utilizam-se destas normas para estipular valores máximos a serem atingidos de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos típicos deste tipo de efluente, adequando o seu efluente final as normas estabelecidas para o descarte em um corpo receptor.

Como existem diversos tipos de tratamento, cada estação opta pelo método que mais se adequa a sua realidade. Conforme POÇAS (2015) coloca, as tecnologias convencionais de tratamento biológico

contemplam basicamente a remoção de matéria orgânica (MO), restando em efluentes com grandes concentrações de fósforo (P) e nitrogênio (N), sendo estes próximos as concentrações do esgoto bruto.

A Resolução CONAMA n ° 430/2011 não regulamenta padrões específicos para os parâmetros fósforo e nitrogênio totais, apesar de delimitar padrão de N-amoniaco em 20mg/L, contudo, tal isenção de restrições legais não configura uma “licença para poluir”, visto que nesta mesma resolução, mais especificamente no Art. 5º, é definido que “os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento”. Portanto, apesar de não delimitar padrões específicos, adverte sobre a alteração na qualidade do corpo receptor, ainda que leve em consideração a capacidade de autodepuração do sistema, bem como os efeitos de diluição, prevenindo sobre os possíveis malefícios das altas cargas em corpos d’água.

Como, muitas vezes, as técnicas de convencionais tratamento não são capazes de atender todos os requisitos das normas, a solução para a diminuição das concentrações de fósforo e nitrogênio nos efluentes domésticos é a incorporação de uma etapa complementar ao tratamento, que vise a remoção destes macronutrientes que não são removidos adequadamente nas outras etapas do tratamento. Os modelos de sistemas alagados construídos, apesar de terem surgido em meados da década de 70, têm ganhado espaço como tecnologias alternativas para o tratamento de efluentes (TAVARES, 2013), os quais utilizam macrófitas aquáticas para a remoção de diversos elementos, com destaque para a remoção de N e P.

Nesse sentido, é de extrema importância compreender o funcionamento e a eficiência desses sistemas de tratamento, de modo a complementar o tratamento de efluentes domésticos e promover uma remoção adequada de nutrientes, o quais estão associados, quando em elevadas concentrações, ao fenômeno da eutrofização, a qual se relaciona a deterioração a qualidade da água, geralmente este fenômeno depende também de águas estacionárias, como lagos, barragens, etc., os quais favorecem o desenvolvimento das algas, sendo incomum o seu desenvolvimento em ambientes onde a água é livre.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Investigar a eficiência do modelo de sistemas alagados construídos no tratamento de efluentes de esgoto em nível terciário, a partir de duas estações de tratamento que utilizaram deste método.

### **2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- a. Identificar os parâmetros relevantes em nível terciário para o tratamento de esgoto.
- b. Avaliar a eficiência de remoção dos parâmetros utilizando: estatística básica, legislação, modelos semelhantes e outros estudos.
- c. Comparar as relações obtidas com estudos técnicos e científicos que promovam a remoção de fósforo e nitrogênio, os quais foram o foco da remoção no tratamento em nível terciário utilizando os sistemas alagados construídos.
- d. Sugerir a eficiência do modelo de sistemas alagados construídos no polimento de efluentes de esgoto em nível terciário.

## **3. REVISÃO DA LITERATURA**

### **3.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ESGOTOS**

Devido às diversas formas de se tratar estes rejeitos não é incomum que duas estações de tratamento possuam diferenças ao longo do seu tratamento. No que tange ao tratamento convencional, este pode ser dividido em pré-tratamento, tratamento primário, secundário e terciário ou complementar.

De forma geral, o pré-tratamento é composto por mecanismos físicos que removem os sólidos em suspensão, onde o efluente passa por duas etapas, o gradeamento e o desarenador. Na primeira etapa o fluido percola por meio de grades metálicas com diferentes espaçamentos, as quais tem a finalidade de reter o material grosseiro que poderia danificar algum equipamento ou mesmo diminuir a eficiência dos processos subsequentes SPERLING (1996). Posteriormente, ocorre a utilização de desarenadores com a

função de remover os flocos de areia através da sedimentação. Esta etapa deverá promover a remoção de 95% em massa de partículas sólidas superiores a 0,2mm, segundo a NBR 12209 (ABNT, 1992).

O tratamento primário é constituído de processos físico-químicos que buscam a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes, graxas e óleos e, indiretamente, a matéria orgânica em suspensão. Através da adição de produtos químicos, promove-se a neutralização a coagulação e flotação, sendo que a neutralização é de suma importância para a otimização da etapa de coagulação culminando na flotação, que consiste na aglomeração das partículas, que devido ao aumento da sua densidade são facilmente decantáveis SPERLING (1996). Em boas condições de funcionamento é possível atingir uma eficiência de 60% no tratamento primário. Após a flotação, o efluente segue para um tanque de decantação primária, onde permanece até a sedimentação dos flocos formados.

A etapa de tratamento secundário consiste numa das fases mais importantes do tratamento, pois é nesta etapa onde ocorre a degradação bioquímica da matéria orgânica que permaneceu no efluente. Nesta fase pode-se optar por processos aeróbicos ou anaeróbios, visto que ambos têm a mesma finalidade, degradar a matéria orgânica suspensa e dissolvida remanescente. Os métodos mais comuns são: lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos, lagoas anaeróbias, reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB), etc.

Ao final do tratamento secundário, a maior parte da matéria orgânica foi removida, restando no efluente basicamente macronutrientes como P e N, além de potências patogênicos, sendo o tratamento terciário utilizado majoritariamente para a desinfecção do efluente.

Neste contexto, a falta de um tratamento complementar favorece o aumento da concentração de macronutrientes no corpo d'água receptor, podendo resultar no fenômeno da eutrofização. A eutrofização é um fenômeno natural, onde ocorre a proliferação de algas e outros vegetais devido à alta produtividade biológica no ecossistema impulsionada pelas altas concentrações de macronutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio. Esse crescimento exagerado das algas promove a formação de um "tapete verde" na superfície, da água, o que impede a passagem de luz solar, afetando, conseqüentemente, o processo fotossintético e ocasionando, juntamente com a proliferação de bactérias aeróbicas, a diminuição do oxigênio dissolvido nas partes mais profundas do corpo d'água, culminando, dessa forma, na morte de muitos organismos aquáticos. De acordo com (PROSAB, 2009, p. 34), "as principais fontes de nutrientes em corpos d'água usualmente estão associadas à drenagem pluvial urbana e, principalmente, ao

lançamento de esgoto”, ou seja, o fenômeno da eutrofização pode ser agravado pelo descarte de efluente provenientes de esgotos sanitários.

A fim de prevenir tais eventos, cria-se a necessidade da diminuição das concentrações dos macronutrientes no efluente a ser descartado. O modelo de sistemas alagados construídos construídas compõe uma possibilidade de tratamento complementar para a remoção de macronutrientes e sólidos suspensos, possuindo baixo custo de implantação, além de fácil operação e manutenção, o que tem feito com que essa técnica ganhe espaço entre as tecnologias de tratamento de efluentes de esgoto.

### 3.2 SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS

O sistema de sistemas alagados construídos, conhecido também como terras alagadas, existem naturalmente no meio ambiente e são sistemas transitórios entre sistemas terrestres e aquáticos, como os brejos, os pântanos, as várzeas ou os manguezais. Estes ambientes possuem propriedades únicas dentre os maiores grupos de ecossistemas terrestres e se adaptaram para tirar o maior proveito da abundância de água nesses ambientes, sendo considerados um dos ecossistemas mais produtivos do planeta.

Dentre as suas diversas peculiaridades, os métodos que possuem aproveitamento na área de tratamento de efluentes envolvem a capacidade dos sistemas alagados construídos em funcionar como filtros biológicos, por meio de microrganismo capazes de promover reações de depuração do efluente.

Os sistemas alagados construídos (SACs) constituem sistemas artificiais que diferem dos naturais principalmente quanto ao seu regime hidrológico, substrato e biodiversidade. As opções construídas são projetadas para controlar o regime hidrológico e aperfeiçoar a condutividade hidráulica. De acordo com POÇAS (2015), os sistemas alagados construídos reproduzem características dos sistemas alagados naturais, utilizando plantas aquáticas livres ou fixas em material suporte, como brita e areia, aprimorando os processos químicos, físicos ou biológicos que ocorrem naturalmente. O clima e o ambiente brasileiro são propícios a implantação destes modelos, que, quando somados a carência de tratamento de águas residuárias em pequenos e médios municípios, criam o cenário ideal para implantação destes modelos de tratamento.

Quando comparada aos sistemas complementares usualmente aplicados no tratamento de esgoto, os sistemas alagados construídos demandam baixo custo de implantação, facilidade de operação e manutenção, representando um grande potencial para países em desenvolvimento e também para

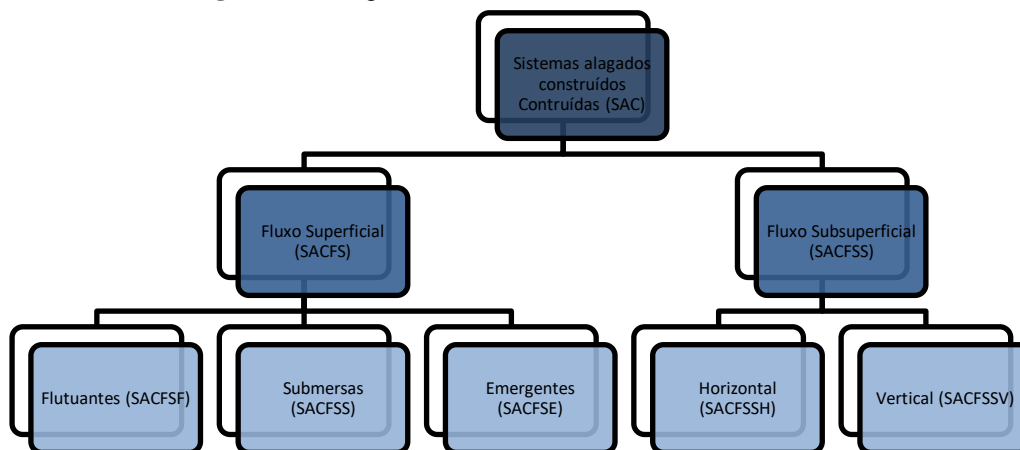
pequenas comunidades rurais, que geralmente dispõe de menos recursos. Conforme POÇAS (2015), o Brasil é um dos países que oferecem excelentes condições climáticas e ambientais para a implantação deste tipo de sistema, além de apresentar uma enorme carência de tratamento de águas residuárias, especialmente nos pequenos e médios municípios. Contudo, o fato desta tecnologia não estar muito difundida, de existir uma carência de conhecimentos técnicos sobre o assunto e de não haver peritos locais para seu desenvolvimento, muitos obstáculos a sua disseminação podem ser encontrados. (PAOLI, 2010).

Os modelos de sistemas alagados construídos podem ser divididos de diferentes formas, que podem variar conforme o regime de fluxo ou segundo à dependência de material suporte. Neste trabalho os modelos foram divididos em dois grupos com base no regime de fluxo superficial ou subsuperficial. No primeiro, o efluente flui através da superfície do tanque de tratamento, enquanto no segundo o fluido percola por meio do material suporte, tendo contato com as raízes das plantas.

O modelo de fluxo superficial pode ser subdividido em três tipos, baseados na região onde se desenvolvem as plantas, sendo estas divididas em flutuantes, submersas e emergentes. As flutuantes, como o próprio nome já diz, representam as espécies que se desenvolvem na parte superior da lâmina d'água, já as submersas crescem abaixo da lâmina d'água, sem nenhuma parte exposta para fora desta. Por último, as emergentes correspondem as plantas que crescem fixas em um material suporte e extrapolam a lâmina d'água.

No caso do fluxo subsuperficial, as espécies utilizadas são emergentes, contudo a variante aqui é por onde o fluido percola, o qual, diferentemente do fluxo superficial, promove o contato entre o fluido e as raízes, processo que é considerado o ponto chave deste modelo de tratamento. Divido em dois subgrupos, os horizontais e os verticais, os modelos subsuperficiais se diferem pela direção de propagação do fluido que percola o material suporte (horizontal e vertical), que obviamente deverá ser poroso para facilitar o contato entre as raízes e o fluido. A seguir é apresentado um fluxograma da classificação dos diferentes tipos de modelos de sistemas alagados construídos quanto ao regime de fluxo (Figura 1).

**Figura 1:** Fluxograma com a divisão dos modelos dos SACs

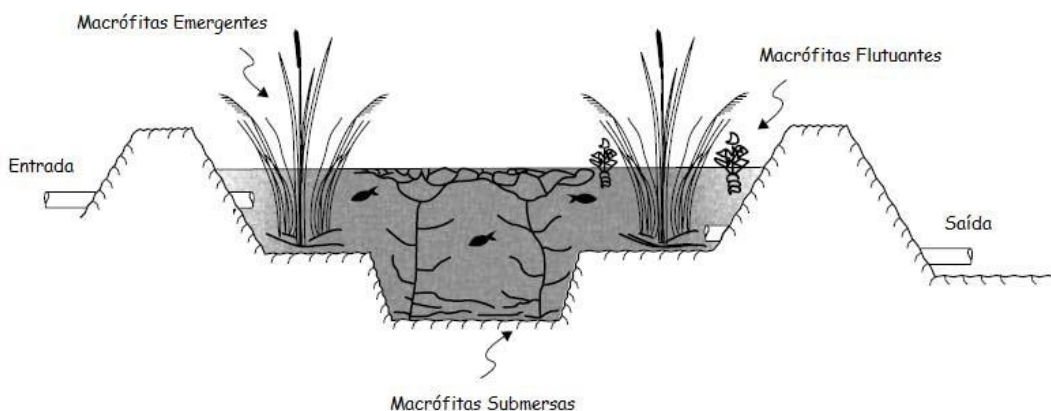


**Fonte:** Adaptado de KADLEC E WALLACE (2009).

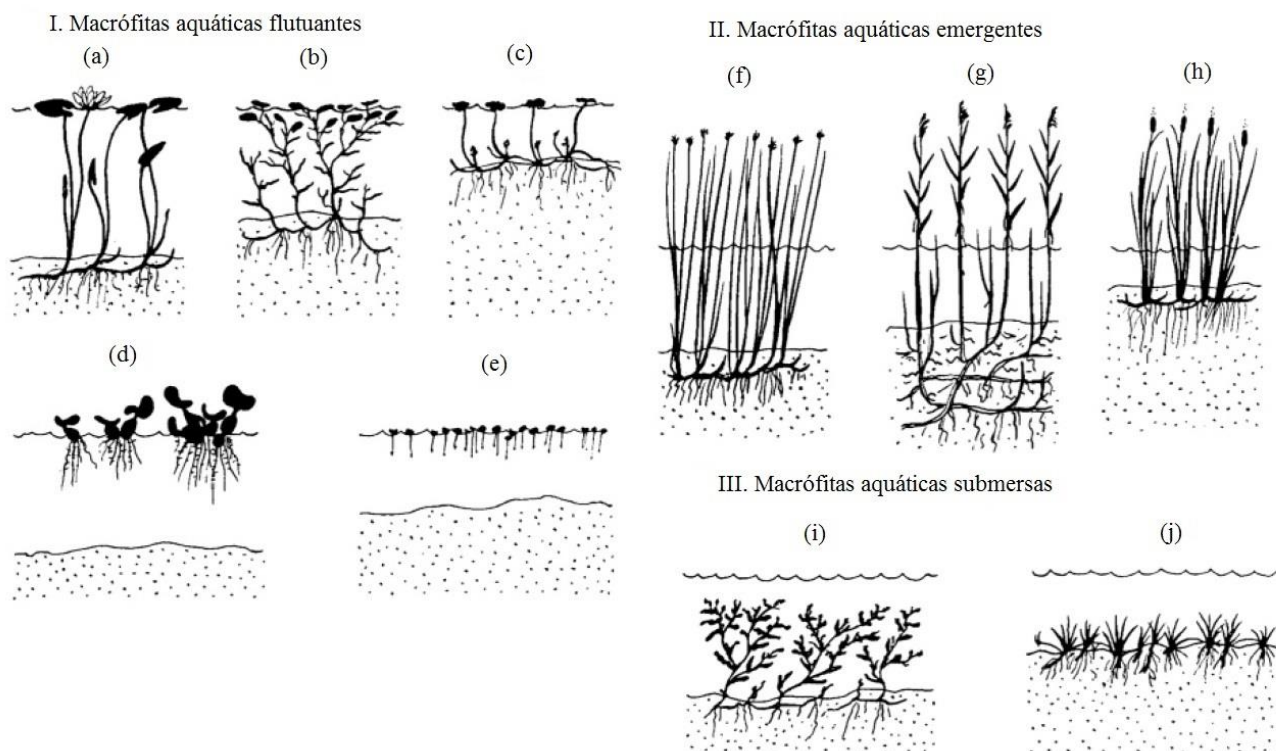
Neste trabalho será dado um enfoque ao grupo dos modelos de fluxo superficial, visto que o desenvolvimento deste estudo foi baseado em duas estações de tratamento de esgoto que utilizaram a referida tipologia de sistema alagado construído no tratamento terciário do efluente sanitário. Na figura 2 está esquematizado os modelos dos SACs de fluxo superficial em um canal artificial, contemplando as macrófitas emergentes, submersas e flutuantes. Ainda, na Figura 3 é possível observar uma lista com algumas espécies vegetais típicas do modelo de fluxo superficial e seus respectivos nomes científicos.

Kadlec e Wallace, (2009), listaram algumas espécies típicas do modelo de fluxo superficial, as quais foram divididas em grupo I flutuantes, grupo II emergentes e grupo III submersas, representadas a seguir na Figura 3, com seus respectivos nomes científicos.

**Figura 2:** Esquema típico de um sistema alagado construído de fluxo superficial



**Fonte:** PAOLI (2010).

**Figura 3:** Espécies de macrófitas típicas dos SACs

**Legenda:** (a) *Nymphaea alba*, (b) *Potamogeton gramineus*, (c) *Hydrocotyle vulgaris*, (d) *Eichhornia crassipes*, (e) *Lemna minor*, (f) *Scirpus (Schoenoplectus) lacustris*, (g) *Phragmites australis*, (h) *Typha latifolia*, (i) *Potamogeton crispus*, (j) *Littorella uniflora*.

**Fonte:** KADLEC E WALLACE (2009).

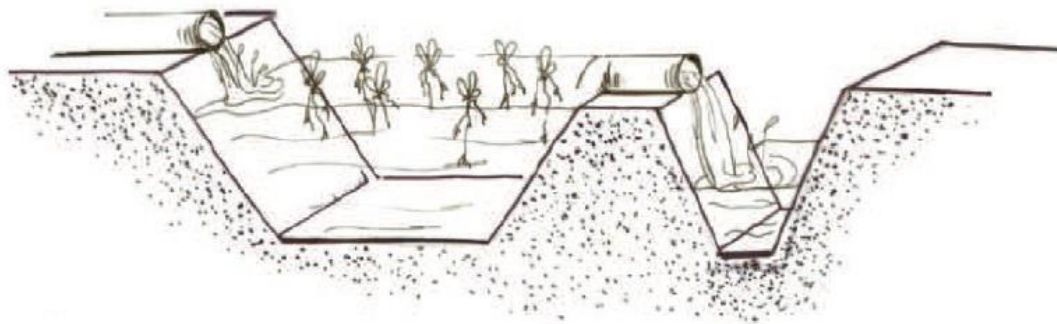
### 3.2.1 MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES EM FLUXO SUPERFICIAL (SACFSF)

Este modelo de SAC se baseia no fluxo superficial do efluente com macrófitas aquáticas flutuantes, utilizadas para a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos do efluente, geralmente utilizado em canais rasos. A espécie *Eichhornia crassipes*, da família das pontederiáceas, conhecida no Brasil também como aguapé, é muito utilizada nesses sistemas devido a sua grande capacidade de crescimento vegetativo. Além disso, esta espécie apresenta uma resistência maior em efluentes altamente poluídos, com grande carga de nutrientes (em geral P e N), substâncias tóxicas e metais pesados, além de suportar maiores faixas de pH e variações de temperatura.



Este modelo é utilizado para diferentes finalidades, as quais incluem sistemas de tratamento em nível terciário, ou seja, polimento do efluente. A fim de favorecer a eficiência do tratamento, a remoção de biomassa é recomendada frequentemente, de forma a manter as macrófitas majoritariamente jovens, onde se verifica um maior crescimento vegetativo das plantas. Os tempos de residência variam de 10 a 30 dias. A Figura 4 representa um esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas flutuantes.

**Figura 4:** Esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas flutuantes



**Fonte:** ANDRADE *et al.* (2007).

Pode-se destacar nesta tipologia de tratamento duas espécies, a *Eichhornia crassipes*, conhecida popularmente como aguapé, e a *Salvinia auriculata* Aubl, conhecida como carrapatinho ou salvínia. Estas estão ilustradas nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

**Figura 5:** Figuras ilustrativas do aguapé



**Fonte:** Autor desconhecido

**Figura 6:** Figuras ilustrativas da *Salvinia auriculata*



**Fonte:** Autor desconhecido

O manejo incorreto do aguapé fez com que se estabelecesse um preconceito no Brasil, em relação à utilização desta macrófita, que geralmente está associado a efeitos maléficos, onde lagos e represas com alta carga de nutrientes favoreceram o crescimento de macrófitas levando a eutrofização do mesmo. Contudo, isto não ocorre nos modelos de SACs, pois eles são projetados para a otimização da absorção de poluentes e preveem um manejo constante, impedindo a proliferação desordenada. É válido salientar que as SACs seguem recomendações técnicas e normas, havendo um manejo da biomassa periodicamente (SALATI, 1998).

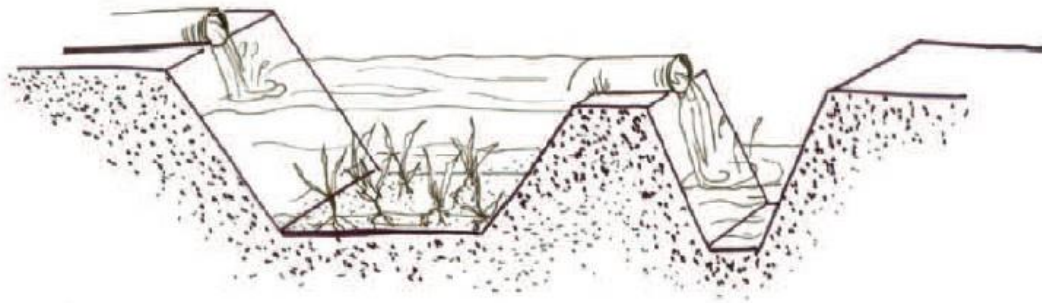
### 3.2.2 MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS EM FLUXO SUPERFICIAL (SACFSS)

Neste modelo de SAC as plantas ficam localizadas no fundo do canal, em geral estreitos e longos, para que os raios solares consigam atingir a região mais funda do canal. As espécies mais comumente utilizadas crescem somente, ou quase que exclusivamente, em águas oligotróficas, com baixo enriquecimento de nutrientes e desenvolvimento planctônico, onde as espécies *Isoetes Lacustris*, *Lobelia Dortmanna* e a *Egéria sp*, vem sendo utilizadas. Ainda, o uso da espécie *Elodea Canadensis*, que cresce em águas eutróficas, com elevado enriquecimento de nutrientes e desenvolvimento planctônico também pode ser utilizado (SALATI, 1998).

Estas macrófitas absorvem os nutrientes dos corpos hídricos, contudo, só se desenvolvem bem em águas com elevado teor de oxigênio dissolvido (OD), fato que tem contribuído para desencorajar o seu uso no tratamento de esgoto, embora alguns experimentos tenham tido êxito até no tratamento

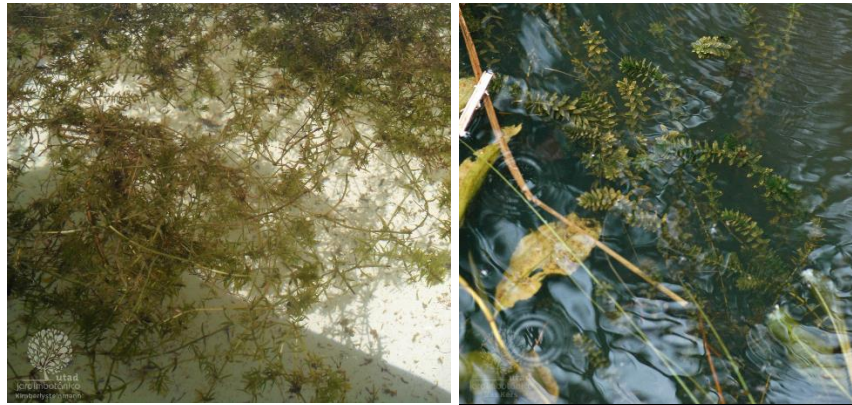
primário com *Elodea Nuttallii* (SALATI, 1998). Sua potencialidade é maior para o polimento de efluentes de esgoto após o tratamento secundário, onde se verifica um aumento do oxigênio dissolvido devido ao processo fotossintético no período diurno, gerando condições para mineralização da matéria orgânica. As macrófitas submersas são fixas ao fundo do canal e não afloram para fora da lâmina d'água, conforme esquematizado na Figura 7. A espécie *Elodea Canadensis* (Figura 8) é um exemplo de macrófita submersas utilizadas neste tipo de modelo.

**Figura 7:** Esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas submersas



Fonte: ANDRADE *et al.* (2007).

**Figura 8:** Figuras ilustrativas da *Elodea Canadensis*



Fonte: JARDIM BOTÂNICO (2018).

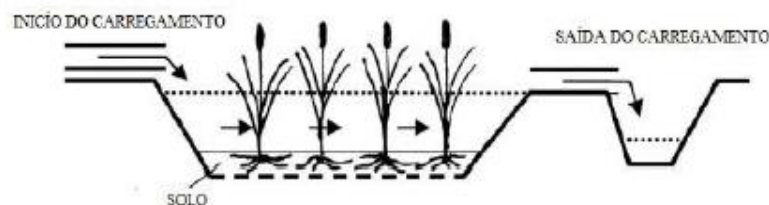


### 3.2.3 MACRÓFITAS AQUÁTICAS EMERGENTES EM FLUXO SUPERFICIAL (SACFSE)

Os sistemas de sistemas alagados construídos de fluxo superficial com macrófitas emergentes é o que mais se aproxima dos sistemas alagados construídos naturais, em que o sistema radicular é fixo no substrato. Estas macrófitas se desenvolvem em situações em que a lâmina d'água está 50 cm abaixo do nível do solo até 150 cm acima deste, cobrindo parte do tecido foliar e caule da planta. As espécies *Phragmites australis*, *Typha latifolia* ou *Scirpus lacustris* são tipicamente utilizadas nestes modelos, os quais criam uma região aeróbia próxima à superfície da água e uma região anaeróbia no fundo do canal, sendo que a região onde predominam condições anóxicas é de suma importância para a remoção do nitrogênio.

É válido notar que existe uma preocupação inerente às demais tecnologias de sistemas alagados construídos, já que nestes modelos existem riscos à saúde pública. Segundo PIO (2012), é comum nestas espécies à colonização por insetos moluscos, peixes anfíbios e répteis, além de pequenas aves e mamíferos. Contudo, como está previsto a constante manutenção e manejo nas SACs, estes riscos se tornam baixos. Encontra-se esquematizado na Figura 9 um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas emergentes, onde é possível observar que elas se encontram fixas ao fundo do canal com o afloramento de parte do caule para o exterior do espelho d'água.

**Figura 9:** Esquema de um canal de fluxo superficial com macrófitas aquáticas emergentes



**Fonte:** VYMAZAL (2007)

Pode se destacar nesta modalidade de SAC duas espécies, a *Cyperus giganteus* Vahl (Figura 10), conhecida popularmente como papiro brasileiro, e a *Cyperus alternifolius* L (Figura 11), conhecida como Sombrinha-chinesa.

**Figura 10:** Figuras ilustrativas do papiro brasileiro



**Fonte:** Autor desconhecido

**Figura 11:** Figuras ilustrativas da sombrinha chinesa



**Fonte:** Autor desconhecido

#### 3.2.4 MÊCANISMOS DE REMOÇÃO

As macrófitas realizam diversos processos para a remoção de poluentes no efluente, com destaque para a remoção de sólidos suspensos, metais, patógenos, fósforo e nitrogênio. POÇAS (2015) descreveu os principais mecanismos responsáveis pela remoção de cada componente, conforme listados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Constituintes e mecanismos de remoção do sistema dos SACs construídas

<b>Constituintes</b>	<b>Mecanismos de remoção</b>
<b>Sólidos Suspensos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentação e filtração</li> </ul>
<b>Metais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complexão, precipitação</li> <li>• Utilização pela planta</li> <li>• Oxidação redução (bioquímica)</li> <li>• Sedimentação</li> <li>• Filtração</li> </ul>
<b>Patógenos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predação, morte natural, irradiação UV e excreção de antibiótico proveniente das raízes das macrófitas</li> </ul>
<b>Fósforo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorção, utilização pela planta e troca de cátions</li> </ul>
<b>Nitrogênio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização pela planta</li> <li>• Volatilização de amônia</li> </ul>
<b>Material orgânico solúvel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Degradação aeróbia e anaeróbia</li> <li>• Amonificação, nitrificação e desnitrificação (biológica)</li> </ul>

Fonte: POÇAS (2015).

Ainda, segundo COSTA (2009), os principais mecanismos biológicos para a remoção de nitrogênio e fósforo no efluente são: absorção direta pela macrófita, mineralização microbiológica e transformações como desnitrificação e Amonificação. Já os mecanismos abióticos que desempenham esta função são: sedimentação, precipitação química e adsorção (COSTA, 2009). Como os diferentes fenômenos de atenuação ocorrem em partes específicas das macrófitas, CELIO (2013) descreveu a importância de cada componente dos vegetais no processo de tratamento do efluente (Tabela 2).

**Tabela 2:** Papel das macrófitas nos SACs

<b>Parte componente da macrófita</b>	<b>Ação de auxílio nos SACs</b>
Parte aérea (tecidos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atenuação da luminescência = redução do crescimento de fitoplâncton;</li> <li>• Potencial estético-embelezamento paisagístico;</li> <li>• Armazenamento de nutrientes.</li> </ul>
Tecidos da planta em contato com a água (efluente)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promoção da filtração;</li> <li>• Dispõem grande área para aderência de microrganismos;</li> <li>• Liberação de oxigênio devido à fotossíntese = aumento na taxa de degradação aeróbia da matéria orgânica;</li> <li>• Retirada de nutrientes (orgânicos e inorgânicos).</li> </ul>
Raízes e rizomas em contato com o solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevenção contra erosão;</li> <li>• Liberação de oxigênio = auxilia a degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação;</li> <li>• Retirada de nutriente.</li> </ul>

Fonte: CÉLIO (2013)

### 3.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Os parâmetros de monitoramento das estações de tratamento têm como objetivo garantir uma qualidade final ao efluente que não represente perigo à saúde humana e ao meio ambiente. É tamanha a relevância destes parâmetros no monitoramento que foram elaboradas normas e leis em âmbito federal, estadual e, em alguns casos, até municipal que restringem a concentração de vários parâmetros. As CONAMAS nº 357/05 (BRASIL, 2005) e CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) regulamentam estas concentrações no cenário federal. Além da necessidade de adequação às normas, o monitoramento se faz necessário para que o processo em si seja otimizado, dado que algumas etapas do processo de tratamento operam em situações controladas.

Os parâmetros físico-químicos e biológicos estão presentes em qualquer tipo de tratamento de efluente e estabelecem padrões para a análise da qualidade final do efluente a ser descartado, bem como

permitir a avaliação da eficiência do processo de tratamento. No que tange ao tratamento de efluentes sanitários, os principais parâmetros de avaliação são: oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (N-TOTAL), fósforo total (P-TOTAL), *Escherichia coli* (*E. coli*), óleos e graxas, substâncias tensoativas que reagem com o corante azul de metileno (MBAS) e sólidos suspensos totais (SST).

O oxigênio dissolvido constitui uns dos parâmetros de maior relevância no tratamento, já que indica o grau de arejamento do efluente. É de suma importância nos processos aeróbicos de estabilização da MO, onde ocorre o consumo do OD constantemente, sendo necessária muitas vezes a injeção de O<sub>2</sub> artificialmente.

O potencial hidrogeniônico representa a concentração de íons H<sup>+</sup> em escala antilogarítmica, variando na faixa de 0 a 14 e indicando condições de acidez (pH = 0 < 7), neutralidade (pH = 7) e alcalinidade (pH = 7 > 14). Segundo SPERLING (1996), valores afastados da neutralidade podem afetar a vida aquática (ex. peixes) e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico do esgoto. Logo, é necessário o controle do pH durante todo o tratamento do efluente com a finalidade de otimizar os processos de tratamentos, valores baixos ou altos de pH estão correlacionados a má formação de flocos, ocasionando na diminuição da eficiência do decantador. Ainda, no que tange o descarte do efluente final do tratamento, este deve seguir a resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011), que estabelece uma variação de 5 < pH < 9 para o descarte do efluente tratado no meio receptor.

A demanda bioquímica de oxigênio estabelece uma medida indireta da matéria orgânica biodegradável. Logo, valores altos de DBO indicam a presença considerável de matéria orgânica biodegradável, a qual está diretamente ligada ao consumo de OD durante o processo de estabilização. Segundo SPERLING (1996), a carga orgânica comum neste tipo de efluente gira em torno de 300mg/l e, com base na Resolução CONAMA430/11 (BRASIL, 2011), o nível máximo após o tratamento deve ser de 120 mg/L, exceto em casos que o efluente do sistema de tratamento tenha eficiência de remoção mínima de 60% de DBO<sub>5,20</sub> ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove o atendimento às metas de enquadramento do corpo receptor.

A demanda química de oxigênio determina o oxigênio consumido durante a oxidação química do material orgânico presente no efluente, quantificando a quantidade de um oxidante químico (dicromato de potássio ou permanganato de potássio) consumido. Na análise da DQO não é possível



separar a fração biodegradável da não biodegradável, sendo necessária à utilização de ambos os parâmetros para determinar a fração de cada parcela (biodegradável e não biodegradável) no efluente.

Os macronutrientes, tais como nitrogênio e fósforo, estão encontrados presentes na maior parte dos efluentes domésticos, mesmo após o tratamento convencional. Em excesso, o N e o P estão associados ao fenômeno da eutrofização, que consiste na proliferação desordenada de algas, sendo de suma importância à diminuição da sua concentração anteriormente ao despejo em um corpo receptor. Para ambos os parâmetros, tanto a Resolução CONAMA 430/2011 quanto a Resolução CONAMA 357/2015 não estabelecem concentrações máximas destes componentes no efluente previamente ao descarte em um corpo receptor, mas advertem sobre os potenciais impactos (Brasil, 2011; Brasil, 2005).

A bactéria *Escherichia coli* (*E. Coli*) é integrante do grupo dos coliformes fecais termotolerantes, um subgrupo do grupo dos coliformes. A *E. Coli* é um importante parâmetro de controle em estações de tratamento de esgoto, pois a sua presença garante uma contaminação exclusivamente fecal, embora não haja garantias de que a contaminação é exclusivamente humana, pois esta bactéria não habita unicamente o intestino humano e sim o intestino de animais homeotérmicos. Sendo assim, este parâmetro é extremamente importante para o tratamento de esgoto, pois a sua presença ao final do tratamento está ligada a possibilidade de potenciais patógenos presentes no meio, os quais devem ser eliminados previamente ao descarte. Logo, este parâmetro biológico fornece uma base, na qual processos que o eliminem no efluente irão remover outros patógenos provenientes da contaminação fecal, visto que o *E. coli* é resistente, para tanto organismos mais frágeis serão removidos caso os mais resistentes também sejam.

A presença de óleos e graxas no esgoto está geralmente associada à utilização de óleos e gorduras na cozinha e sua presença na estação interfere nos processos biológicos aeróbios e anaeróbios que ocorrem durante o tratamento, ainda devem ser virtualmente ausentes, segundo CONAMA 357/15 (BRASIL, 2015), complementada pela CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011): óleos minerais: até 20 mg/L; óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L.

Os Sólidos totais suspensos ou RNFT, como é conhecido no estado do Rio de Janeiro, região foco deste estudo, correspondem à parcela de sólidos suspensos e dissolvidos no efluente, responsáveis pelo aumento da turbidez, os quais devem ser retirados a fim de se obter um efluente clarificado, contudo a CONAMA 357/15 e 430/11 não especificam valores para a sua concentração, apenas exigindo eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

As MBAS correspondem a substâncias tensoativas que reagem com o corante azul de metileno geralmente se tratando de surfactantes aniônicos, o qual são moléculas anfipáticas constituídas de uma porção hidrofóbica e uma porção hidrofílica. A sua presença no efluente está ligada a formação de um filme molecular, de forma ordenada nas interfaces, o que reduz as tensões interfaciais e superficiais, a CONAMA 357/15, determinam a concentração de 0,5 mg/L LAS para águas doces Classe I.

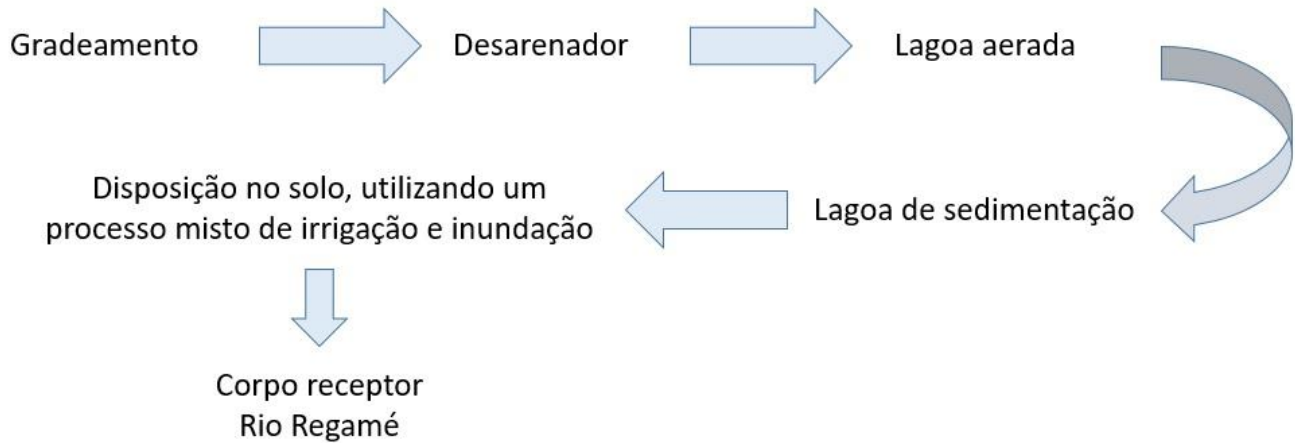
### 3.2 ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo foi limitada as estações de tratamento de esgoto que utilizavam os modelos SACs no tratamento terciário, e que disponibilizassem os dados referentes a suas análises mensais. Foram selecionadas duas estações ETE Ponte dos Leites (ETE P.L.) localizada no município de Araruama - RJ e ETE Caju localizada no município de Silva Jardim - RJ. A escolha destas duas estações se deu ao fato de ambas pertencerem ao Grupo Águas do Brasil, o qual disponibiliza os dados das análises de suas estações e ao fato de ambas utilizarem as mesmas espécies de macrófitas no tratamento terciário de seus efluentes. A diferença entre as duas estações se torna basicamente o volume de esgoto tratado, visto que a primeira possui uma vazão de 189 L/s e a segunda 15 L/s, vale salientar que devido à localização de ambas estações se situarem no mesmo estado brasileiro o clima da região é semelhante, não promovendo grandes influências no desenvolvimento das macrófitas.

A escala de tratamento das duas estações se deve ao fato da magnitude das populações atendidas, uma vez que a população de Araruama era de 112.008 habitantes e com uma população estimada de 130.439 pessoas segundo IBGE, 2010 e 2018 respectivamente, enquanto a Cidade de Silva Jardim possuía em 2010 21.349 habitantes, com uma estimativa de 21.773 pessoas para 2018, também segundo o IBGE.

Foi inaugurada em 2005 a ETE P.L., que teve uma ampliação em 2009, com a finalidade de atender a demanda local, período este que corresponde a implantação do modelo de sistemas alagados construídos, que tinha como objetivo inserir ao tratamento que já era realizado a remoção de macronutrientes. O modelo utilizado na estação foi o de macrófitas com fluxo superficial, utilizando simultaneamente macrófitas flutuantes e emergentes. Está representado na Figura 12 um fluxograma das etapas de tratamento da ETE Ponte dos Leites.

**Figura 12:** Fluxograma etapas de tratamento ETE P.L.



Fonte: PMA/PMSB 2013.

A ETE Ponte dos Leites é composta por (i) **gradeamento**, (ii) **desarenador**, (iii) **lagoa aerada** e (iv) **lagoa de sedimentação**, seguidas de pós-tratamento com (v) **disposição no solo, utilizando um processo misto de irrigação e inundação (SACs)**. Na figura 13, encontra-se ilustrado a visão panorâmica da ETE Ponte dos leites.

**Figura 13:** ETE Ponte dos Leites, em Araruama



Fonte: ÁGUAS (2018).

A ETE Ponte dos Leites utiliza como tratamento preliminar o gradeamento e a caixa de areia, que separam os sólidos mais grosseiros do efluente, impedindo que eles sigam para a próxima etapa do tratamento, Figura 14.

**Figura 14:** Tratamento preliminar



**Fonte:** PMA/PMSB 2013.

Em seguida o efluente segue para a lagoa de aeração (tratamento secundário), onde é realizada a injeção de oxigênio no meio aquoso. Essas lagoas possuem profundidade de 1,70 m e volume disponível de 30.550 m<sup>3</sup>, com área superficial de 21.889 m<sup>2</sup> e um tempo de detenção de 2,4 dias. Ainda foram instalados 22 aeradores mecânicos de superfície, a Figura 15, representa a lagoa aerada.

**Figura 15:** Lagoa Aerada



**Fonte:** PMA/PMSB 2013.

Posteriormente, o efluente é direcionado as lagoas de sedimentação (Figura 16), que promovem a decantação dos sólidos aglomerados na fase anterior. São profundas, com 4,4 m de profundidade e tempo de detenção de 1,17 dias. É feita aplicação de plantas aquáticas em toda a superfície da lagoa de sedimentação para remover nutrientes.

**Figura 16:** Lagoa de sedimentação



**Fonte:** PMA/PMSB 2013.

O esgoto tratado das lagoas é encaminhado para disposição no solo (Figura 17), numa fase inicial em três células de processo misto de irrigação de terraços e canais de inundação com plantas aquáticas, e numa segunda fase, com célula de inundação e plantas aquáticas. No total a área de pós-tratamento abrange 6,8 hectares. O tratamento terciário utiliza o sistema alagado construído como forma de polimento do efluente, eliminando as cargas elevadas de nitrogênio e fósforo existentes. A ETE Ponte dos Leites utiliza dois grupos de macrófitas em seus sistemas: emergentes e flutuantes. No caso das emergentes existe a necessidade de uma camada suporte (areia, brita e argila) para fixação desenvolvimento das raízes. O efluente é direcionado para inundar um lago cultivado com macrófitas emergentes, sendo que uma parte infiltra e outra parte percola sobre a zona de raízes ocorrendo a filtração e a remoção dos nutrientes. Duas espécies diferentes de macrófitas emergentes são utilizadas, todas da família *Cyperaceae*: *Cyperus giganteus* Vahl (papiro brasileiro), e as *Cyperus alternifolius* L (sombrinhas chinesa).

As macrófitas flutuantes dispensam a necessidade de uma camada suporte e são responsáveis pela purificação e filtração do efluente. Estas espécies criam um perfil vertical de tratamento, onde nas primeiras profundidades ocorre a penetração de luz e a troca de oxigênio com o meio, proporcionando a

oxidação do  $H_2S$ , a eliminação do mau cheiro e o controle de vetores. Em seguida, uma zona com pouco oxigênio é produzida, o que reduz o número de algas, sendo que no fundo da lagoa uma zona anóxica é criada, onde prevalece o processo de digestão anaeróbio da carga orgânica. As macrófitas flutuantes utilizadas neste sistema são: *Eichhornia crassipes* (aguapé) e a *Salvinia auriculata* Aubl (salvínia).

**Figura 17:** Pós-tratamento (SACs)

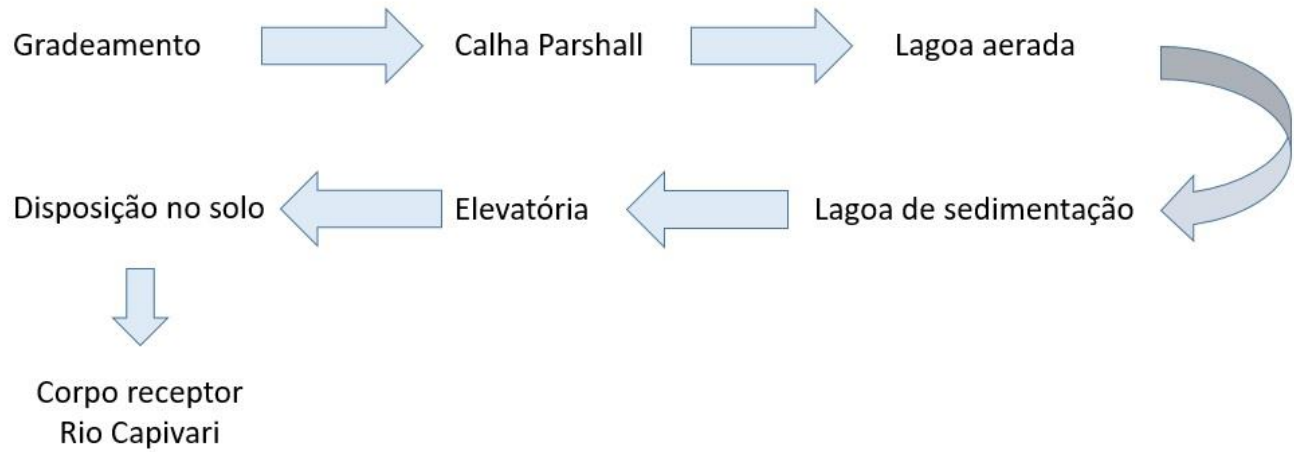


Fonte: PMA/PMSB 2013.

A biomassa proveniente das plantas aquáticas utilizadas neste sistema alagado construído tem dois destinos, sendo um deles destinada ao Projeto ECOFIBRAS, que através da Cooperativa Nós da Trama recicla esse material a partir da tecelagem artesanal em teares manuais. Os participantes do projeto são crianças entre 11 a 15 anos em defasagem escolar, o que oferece uma alternativa de renda para famílias em situação de risco e vulnerabilidade social, uma vez que os artesanatos produzidos são vendidos pelas próprias cooperativas. O projeto ECOFIBRAS juntamente com a iniciativa da implantação de uma etapa biológica para remoção de macronutrientes ao invés de tratamentos químicos, somado a ainda a economia de espaço no aterro sanitário que seria reservado para os resíduos sólidos (biomassa) da ETE, que são tratados na própria estação através da compostagem, recebeu o Prêmio de Ação Ambiental 2016 do sistema Firjan a partir do tema Produção e consumo sustentáveis, economia circular e logística reversa, na categoria Gestão de resíduos Sólidos (SISTEMA FIRJAN, 2016).

A ETE Caju tem o porte inferior a ETE Ponte dos Leites, o que é esperado devido à diferença entre as vazões apresentadas. Contudo, no que tange ao tratamento do efluente, ambas utilizam basicamente as mesmas etapas de tratamento, o fluxograma da Figura 18, apresenta as etapas de tratamento para esta estação:

**Figura 18:** Fluxograma etapas de tratamento ETE Caju.



Fonte: PMSJ/PMSB 2013.

Divididas em: (i) **gradeamento** (diferentemente da ETE Ponte dos leites a ETE Caju não possui caixa de areia), (ii) **lagoa aerada** para degradação biológica da matéria orgânica, (iii) **lagoa de sedimentação** e (iv) disposição no solo (SACs). A Figura 19 esquematiza a ETE Caju.

**Figura 19:** ETE Caju, em Silva Jardim



Fonte: ÁGUAS (2017).



## 4. METODOLOGIA

A elaboração deste trabalho foi feita em 3 etapas, sendo estas: (i) Levantamento de estudos técnicos e científicos, (ii) Coleta de dados de estações que empregam sistemas alagados construídos no tratamento, (iii) Análise comparativa entre a eficiência de sistemas alagados construídos e sistemas convencionais.

### 4.1 LEVANTAMENTO DE ESTUDOS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS

Para a elaboração desta pesquisa, foi feito um estudo teórico sobre os modelos de sistemas alagados construídos para o tratamento terciário de efluentes de esgoto. Os levantamentos teóricos fizeram referências aos dados de projeto para a construção de sistemas alagados construídos, aos dados de controle durante o tratamento e a eficiência de remoção de poluentes. As pesquisas foram feitas pelos sites de busca: Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online - Scielo e Web of Science, sendo que as palavras-chave utilizadas foram: sistemas alagados construídos, wetlands construídas, tratamento complementar, tratamento terciário, pós-tratamento de efluentes de esgoto.

### 4.2 COLETA DE DADOS

A partir dos dados levantados, determinaram-se as variáveis e os parâmetros relevantes no processo, estabelecendo um estudo de caso entre duas estações de tratamento que utilizam modelos de sistema alagado construído em nível terciário, ETE Araruama (vazão de 189 L/s) e ETE Silva Jardim (vazão de 15 L/s). Estas ETEs utilizam o modelo de sistema alagado construído de regime superficial com macrófitas flutuantes e emergentes simultaneamente. O grupo Águas do Brasil - Águas de Juturnaíba disponibilizou os dados das análises físico-químicas referentes à suas estações no website: (<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-juturnaiba>), de onde foram obtidos os dados do estudo de caso. Estes dados são referentes ao período de outubro a dezembro de 2015 e foram complementados com o período de janeiro a dezembro de 2016, disponibilizado pela empresa via e-mail.



### 4.3 DEFINIÇÃO DOS PARAMETROS

A determinação dos parâmetros relevantes para este trabalho envolveu os parâmetros de monitoramento ambiental pertinentes ao tratamento de efluentes de esgoto disponibilizados pelas estações mencionadas anteriormente. O Grupo Águas de Juturnaíba, disponibilizou em seus relatórios os seguintes parâmetros:

- Demanda Química de Oxigênio - DQO;
- Demanda Biológica de Oxigênio - DBO;
- Sólidos suspensos totais - SST;
- Óleos e graxas;
- Nitrogênio Total - N-TOTAL;
- Fósforo Total - P-TOTAL;
- pH;
- *Escherichia coli*;
- Substâncias tensoativas que reagem com corante azul de metileno - MBAS.

A partir dos dados compilados das duas estações de tratamento, foi feita uma análise da relação entre os parâmetros físico-químicos e biológicos disponibilizados e a vazão de entrada do pós-tratamento (SACs) das duas estações de tratamento consideradas no estudo. Acrescido ao mencionado, foi realizada uma análise comparativa entre a eficiência dos modelos que empregam sistemas alagados construídos como pós-tratamento de lagoas aeróbicas com os modelos tradicionais de tratamento de esgoto.

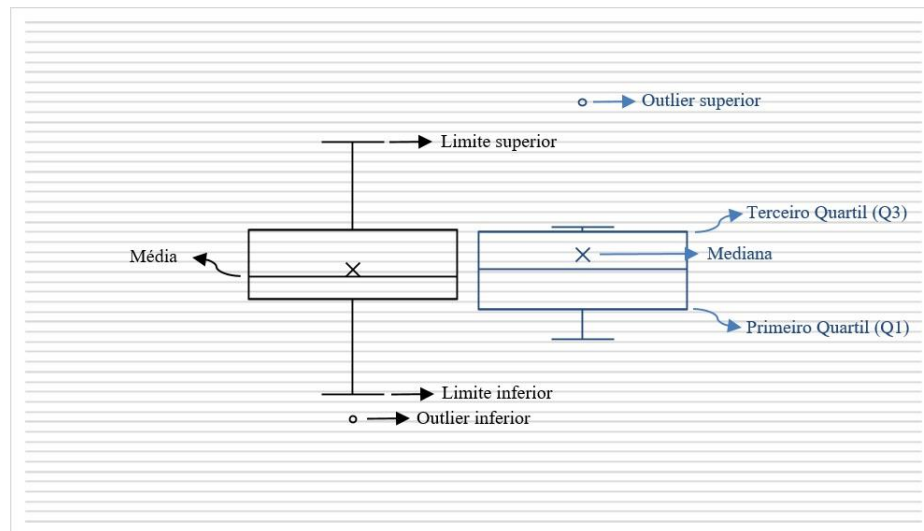
A análise dos parâmetros derivados das substâncias ativas ao azul de metileno (MBAS) e dos óleos e graxas, apesar de terem sido disponibilizados pelo grupo Águas do Brasil - Águas de Juturnaíba, não foram considerados relevantes para o estudo, visto que em ambas as ETEs tais valores se encontraram majoritariamente abaixo do limite de detecção, fato este que pode ser constatado nas Tabelas do Anexo A e B. Sendo assim, a avaliação destes parâmetros foi considerada inviável e nenhum processamento estatístico foi conduzido.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os SACs foram avaliados conforme sua eficiência na remoção de cada parâmetro do efluente, comparando os dados das series nas duas estações.

Cada parâmetro analisado possui uma série de dados com 15 elementos para cada estação, que dizem respeito a 15 valores de concentrações, referentes a coleta mensal executadas durante o período de outubro de 2015 a dezembro de 2016. As coletas foram realizadas na entrada dos sistemas alagados construídos e após o tratamento previamente ao descarte no corpo receptor, totalizando 30 coletas para cada parâmetro, sendo 15 valores de concentrações na entrada do sistema alagado construído e 15 valores na saída da ETE. A partir de cada série de dados referentes a saída do sistema alagado construído foi elaborado um Box-plot contendo as seguintes análises estatísticas, a seguir na Figura 20, explicita quais os elementos gráficos e estatísticos podem ser inferidos a partir dos box-plots utilizados:

**Figura 20:** Legendas dos box-plots



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a elaboração deste trabalho tomou-se como base duas ETEs do Grupo Águas de Juturnaíba. Estas foram selecionadas devido as similaridades operacionais, assim como as etapas de tratamento utilizadas. Embora a ETE Caju não utilize o gradeamento em seu tratamento preliminar, as duas estações

utilizam os sistemas alagados construídos, utilizando simultaneamente 2 espécies de macrófitas flutuantes e 2 emergentes, para o pós-tratamento de lagoas aeróbicas. Ainda, a proximidade entre as duas estações, a qual confere a estas susceptibilidades a efeitos climáticos similares, estabelece semelhanças para que estas sejam comparadas. O diferencial entre as estações se encontra na escala da vazão, onde a ETE P.L. possui 189 L/s e a ETE Caju 15 L/s, permitindo determinar o grau de influência da variável vazão nos parâmetros de monitoramento.

Os dados analisados neste trabalho são referentes a etapa do pós-tratamento (SAC) à lagoa de sedimentação, comparando os valores na entrada dos sistemas alagados construídos e posteriormente ao tratamento, fornecendo assim a eficiência de tratamento desta etapa, ou seja, sua capacidade de atenuação dos diversos parâmetros.

### 5.1 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DAS SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS

No estado do Rio de Janeiro cabe a norma NT-202.R-10 (1986) determinar os padrões para lançamento de efluentes líquidos (Tabela 4) e a norma DZ-215.R-4 (2007) limitar as concentrações de DBO e SST de origem sanitária a serem descartados em corpo receptor (Tabela 3), as quais foram deliberadas pela Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA). Dentre os parâmetros utilizados no monitoramento das duas estações localizadas no Rio de Janeiro, o parâmetro DQO e *E. coli* não possuem um valor limite na legislação.

**Tabela 3:** Limites de concentração

PARÂMETROS	Limite
DQO (mg/L)	-
DBO (mg/L)	40 mg/L
SST (mg/L)	40 mg/L
ÓLEOS E GRAXAS (mg/L)	20
N-TOTAL (mg/L)	10,00
P-TOTAL (mg/L)	1,00
pH	5 - 9
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-
MBAS	2

Fonte: NT-202 (1986).

As concentrações máximas definidas pela DZ-215/2007 dependem da variável carga orgânica bruta, a qual considera a concentração medida e a vazão média diária do efluente. Determinada a carga orgânica bruta, esta correlaciona-se a uma concentração máxima de DBO e SST, sendo expressa pela equação:  $Carga (kg O_2/dia) = DBO (mg O_2/L) \times vazão (m^3/dia) / 1000$

Devido a ambas estações receberem uma carga orgânica bruta superior a 80 Kg DBO/dia, os valores toleráveis para os parâmetros DBO e SST (também denominado RNFT no estado do Rio de Janeiro) são de 40 mg/L.

**Tabela 4:** Limites de concentração de DBO e SST conforme a carga orgânica bruta

CARGA ORGÂNICA BRUTA (C) (kg DBO/dia)	CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS EM DBO E RNFT (ou SST) (mg/L)
$C \leq 5$	180
$5 < C \leq 25$	100
$25 < C \leq 80$	60
$C > 80$	40

Fonte: DZ-2015 (2007).

A fim de avaliar as concentrações reais dos efluentes deve-se levar em consideração a perda de água por evapotranspiração, a qual reduz o volume d'água, aumentando a concentração do poluente, apesar de não estabelecer um aumento da carga de poluente no efluente (RIBEIRO, 2007). Existe uma equação que corrige o valor da concentração em função desta perda de água para o meio, sendo esta:  $[concentração\ corrigida] = [concentração\ média] \times (1 - taxa\ de\ avapotranspiração)$  (RIBEIRO, 2007)

Suponhamos que a concentração média fosse igual a 10 mg/L e a taxa de evapotranspiração fosse de 20%,  $[10] \times (1 - 0,2) = [8]$ , logo, a concentração real seria de 8mg/L e não de 10 mg/L.

Os dados de evapotranspiração não foram obtidos para determinação da concentração corrigida, para tanto as concentrações deste trabalho não estão levando em consideração a evapotranspiração.

Para fins de comparação foi utilizado o trabalho de SEZERINO (2006), devido a utilização de sistemas alagados construídos de fluxo superficial horizontal (SACFH), o mesmo utilizado nas ETEs,

apesar da diferença de macrófita emergente utilizada (diferentemente das ETEs foi utilizado uma única espécie).

Está esquematizado na Figura 21 a configuração do sistema em escala piloto utilizado no tratamento de SEZERINO, (2006), onde o efluente proveniente de lagoas anaeróbias (em escala real) passa pelas lagoas facultativas, seguido de filtros de pedra, e posteriormente ocorre o pós-tratamento com sistemas alagados de fluxo horizontal utilizando a espécie *Typha latifolia* (taboa).

As dimensões das lagoas facultativas possuíam área de 15,20 m<sup>2</sup>, sendo 9,50m de comprimento por 1,60m de largura, com profundidade de 1,15m, seguidas pelos filtros com área de 2,57m<sup>2</sup> e profundidade útil de 0,80m. Imediatamente após aos filtros o efluente é encaminhado para a unidade plantada, a qual dispões de 2 tanques paralelos, sendo que, é prevista a utilização somente de um deles, o sobressalente foi incorporado devido surgisse a necessidade de alterar o tanque por este ter atingido seu grau máximo de saturação. Embora apenas uma das unidades tenha sido empregada no polimento dos efluentes da lagoa facultativa em escala piloto, a unidade dois permaneceu em repouso sem alimentação contínua de esgoto, com dimensões de área superficial de 10m<sup>2</sup>, com 5m de comprimento e 2m de largura. As macrófitas utilizadas no experimento foram obtidas de ambientes naturais localizado no campus da UFSC. As análises foram divididas em fase 1 (janeiro/2004 a junho/2005) e fase 2 (julho/2005 a novembro/2005).

A fase 1 utilizou duas taxas de detenção hidráulicas, sendo TDH de 20 dias para períodos com temperaturas mais frias (outono e inverno) no ano de 2004 e TDH de 10 dias para períodos com temperaturas mais elevadas (verão e primavera) no ano de 2004 e para todos meses subsequentes de 2005, com vazão de 83 L/m<sup>2</sup>d (vazão aplicada em uma área de 10m<sup>2</sup>). Visto que a literatura recomenda a interrupção da alimentação nas SACs sob condições de colmatção e redirecionamento a outra unidade com as mesmas características em repouso, na Fase 2 houve redução na vazão aplicada para o valor de 62 L/m<sup>2</sup>d (vazão aplicada em uma área de 10m<sup>2</sup>) e retenção física a fim de evitar o escoamento superficial utilizando-se uma prancha de madeira de 2m de comprimento por 30cm de altura e 3 cm de espessura, a qual gerou um aumento 41% na área de infiltração, através do aumento da seção transversal de 1,20 m<sup>2</sup> de área para 2,90m<sup>2</sup>. Ainda que, previa-se a utilização da unidade sobressalente caso o primeiro sofresse colmatção, entretanto a unidade 2 foi utilizada macrófitas com fluxo vertical atuando como sistemas híbridos filtros plantados de fluxo vertical seguido de unidades de fluxo horizontal.

**Figura 21:** Esquema representativo da ETE Experimental de Tratamento e Reuso de Esgotos

Fonte: SEZERINO (2006).

A Tabela 5 explicita os resultados obtidos de médias e DP para os parâmetros de monitoramento coletados em 3 pontos, na lagoa facultativa, nos sistemas alagados construídos de fluxo horizontal e posteriormente ao tratamento.

**Tabela 5:** Parâmetros nas etapas de tratamento

Parâmetro	Lagoa Facultativa			SACs			Esgoto tratado		
	Média	DP	N	Média	DP	N	Média	DP	N
pH	7,72	0,49	60	8,16	0,44	60	7,06	0,36	60
DQO (mg/L)	219,79	49,41	55	182,6	39,41	55	55,76	30,97	55
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	151,13	50,62	53	109,44	60,17	53	42,29	24,01	53
NH <sup>4+</sup> -N (mg/L)	34,91	11,31	61	20,69	9,52	61	17,14	8,43	61
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L)	7,68	3,48	59	3,13	1,7	59	5,47	2,53	59
SS (mg/L)	54,93	18,08	60	74,76	30,35	60	12,13	7,01	60
Coli Total	7,94E+06	2,14E+00	15	3,16E+05	2,95E+00	15	6,31E+03	6,76E+00	15
<i>E.coli</i>	1,45E+06	1,95E+00	15	3,31E+04	5,50E+00	15	4,57E+02	7,24E+00	15

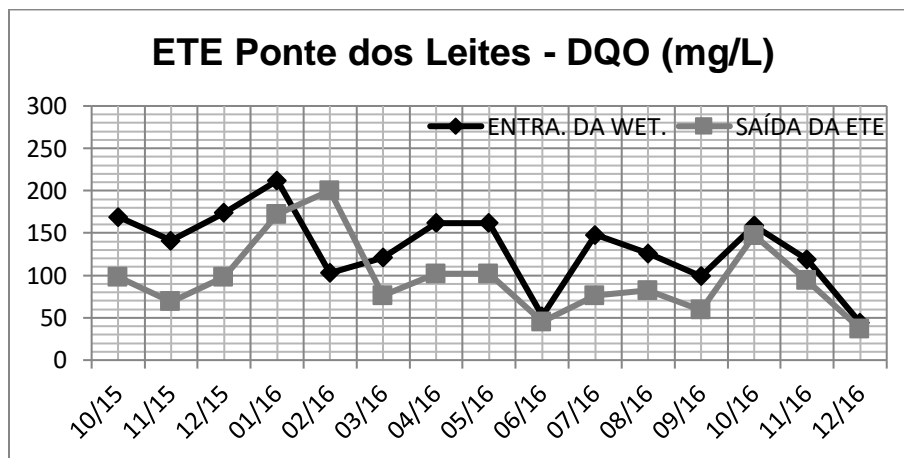
Fonte: SEZERINO (2006).

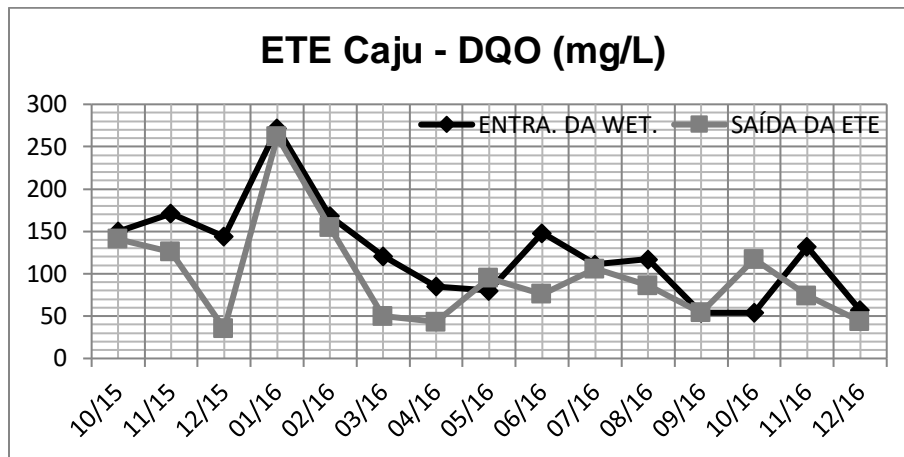
### 5.1.1 DQO

A partir da Tabela 6 é possível observar que os valores das concentrações médias e desvio padrão (DP) de 132,73 e 45,35 mg/L da ETE P.L. e 113,71 e 41,47 mg/L na entrada da ETE Caju, assim como as médias e DP nas saídas das SACs de 83,46 e 28,60 mg/L da ETE P.L. e 85,96 e 38,83 da ETE Caju são similares, fato evidenciado também a partir do Gráfico 1. Foi verificado alguns pontos onde o valor da concentração na saída supera o valor da entrada, referentes ao período de fev/16 para ETE P.L. e mai/16 e out/16 para ETE Caju.

Os valores de DQO relatados por SEZERINO (2006) da saída da SAC, relatam concentrações médias de 55,76 e DP de 30,97 mg/L foram inferiores aos encontrados nas ETES, contudo é importante salientar que os efluentes do trabalho de SEZERINO (2006) são provenientes de lagoas facultativas e não de lagoas aeradas. As lagoas facultativas promovem a depuração da matéria orgânica na superfície da lâmina d'água, criando zonas de sedimentação ao fundo do tanque, estas propícias a reações anaeróbias. A lagoa de sedimentação posterior a lagoa aeróbica nas estações funcionaria como a região anaeróbica das lagoas facultativas, contudo devido ao menor tempo de TDH nas estações pode ter interferido para a otimização nos processos de sedimentação.

**Gráfico 1:** Concentrações de DQO nas entradas dos SACs e nas saídas das ETES





Fonte: Autoria própria.

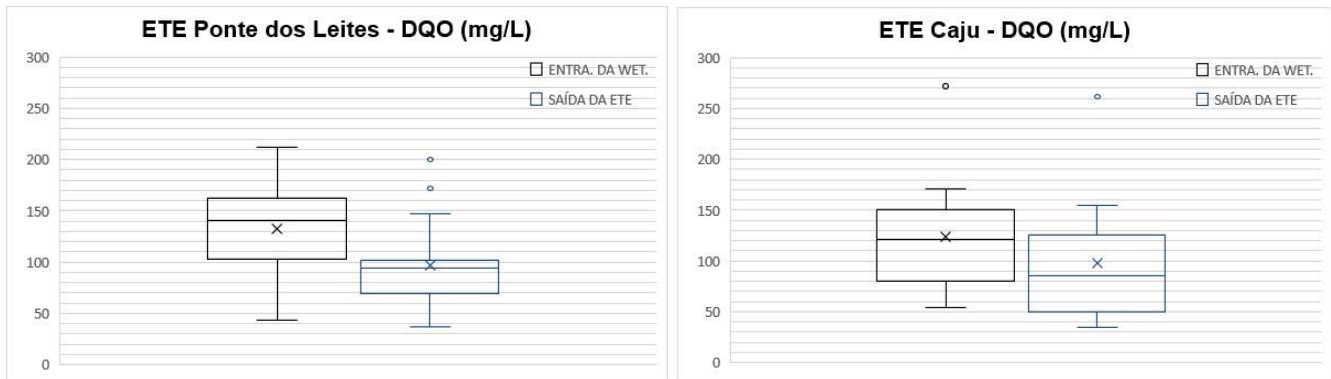
**Tabela 6:** Médias e DP da DQO

		ETE P.L.	ETE Caju
Entrada	Média (mg/L)	132,73	113,71
	DP (mg/L)	45,35	41,47
Saída	Média (mg/L)	83,46	85,86
	DP (mg/L)	28,60	38,83

Fonte: Autoria própria.

Com base na estatística descritiva os box-plots do Gráfico 2, pode-se perceber 4 pontos considerados outliers, devido à sua discrepância dos demais valores da amostra. A partir destes gráficos é possível inferir também que os intervalos de variância das concentrações são próximos na relação entrada e saída na ETE Caju, assim como os valores de máxima e mínima. Ainda, para a mesma ETE, o intervalo entre  $Q_1$  e  $Q_3$ , que concentram 50% da amostra, demonstram magnitudes semelhantes (apesar de deslocados), com uma diferença relativa entre a entrada e saída de 70 e 80mg/L respectivamente, enquanto na ETE P.L esta diferença é de 60 e 30mg/L. Isso se deve a maior distribuição dos valores na ETE P.L., o que acaba por alongar os extremos e deslocar o bloco para cima.



**Gráfico 2:** Box-plots das concentrações de QDO nas entradas dos SACs e saídas das ETEs

**Fonte:** Autoria própria.

No que diz respeito a eficiência do tratamento, ou seja, da relação entre a concentração na entrada dividida pela concentração na saída do SAC, foi possível observar que, das 30 medições realizadas (15 para cada ETE na entrada e 15 na saída), apenas 3 medições, ou seja 10% dos valores, obtiveram um aumento no valor da concentração para esta relação, inferindo que em 90% das medições ocorreu algum nível de atenuação do poluente. Ainda, em relação a eficiência dos sistemas alagados construídos na remoção de DQO foi observada médias de remoção de 33,03% e 16,77% relativas às ETEs P.L. e Caju, com máximas de 51,06% e 75,69%, respectivamente. No que tange aos valores mínimos de eficiência foi constatado um valor negativo para a ETE Caju, o que remete ao aumento de 116,67% na concentração da saída em relação à entrada. É válido salientar que os valores considerados outliers pelo modelo estatístico descritivo box-plot não foram utilizados para a elaboração das taxas de eficiência, visto que estes representam valores discrepantes dos demais (Anexo A e B).

**Tabela 7:** Eficiência de remoção DQO entre a entrada do SAC e saída da ETE

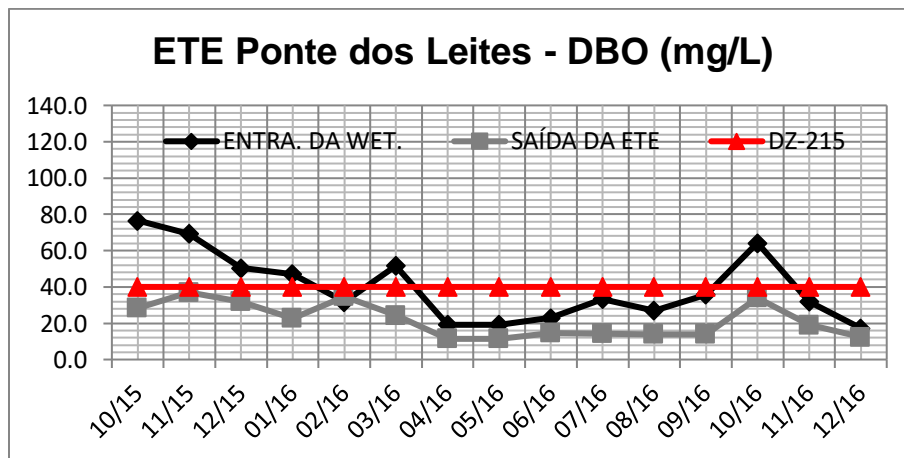
ETEs	DQO	
	Ponte dos Leites	Caju
Mínima	7,55%	-116,67%
Média	33,07%	16,77%
Máxima	51,06%	75,69%

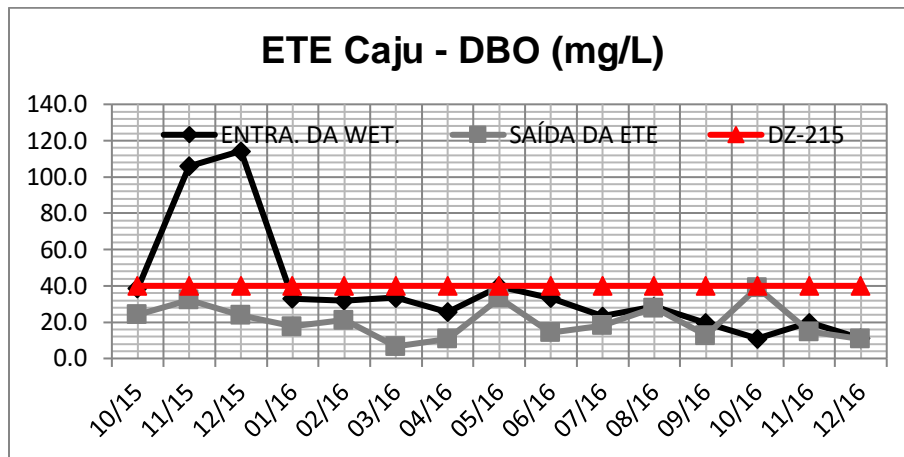
**Fonte:** Autoria própria.

### 5.1.2 DBO

Encontram-se representado no Gráfico 3 as concentrações de DBO na entrada e saída do SAC para ambas estações. Diferentemente do parâmetro DQO, foi observado que a distribuição temporal da DBO é mais desordenada, o que inclui picos mais acentuados na ETE Caju referentes aos períodos de nov/15 e dez/15. Embora existam oscilações nas concentrações da entrada do SAC, fica evidente que em 100% das medições para ambas estações, os valores das concentrações se encontram abaixo dos 40 mg/L determinados pela norma, valores estes inferiores aos relatados por SEZERINO (2006) com médias de concentração de DBO de 42,29 e DP de 24,01 mg/L, que superam o estipulado pela normativa no estado do Rio de Janeiro. Para os períodos de fev/16 na ETE P.L. e out/16 na ETE Caju os valores das concentrações na saída superaram os valores na entrada, embora fatores como a precipitação e períodos de secas podem desencadear alterações no perfil temporal das concentrações, como também a queda de folhas das macrófitas que aumentam a matéria orgânica disponível.

**Gráfico 3:** Concentrações de DBO nas entradas dos SACs e nas saídas das ETEs





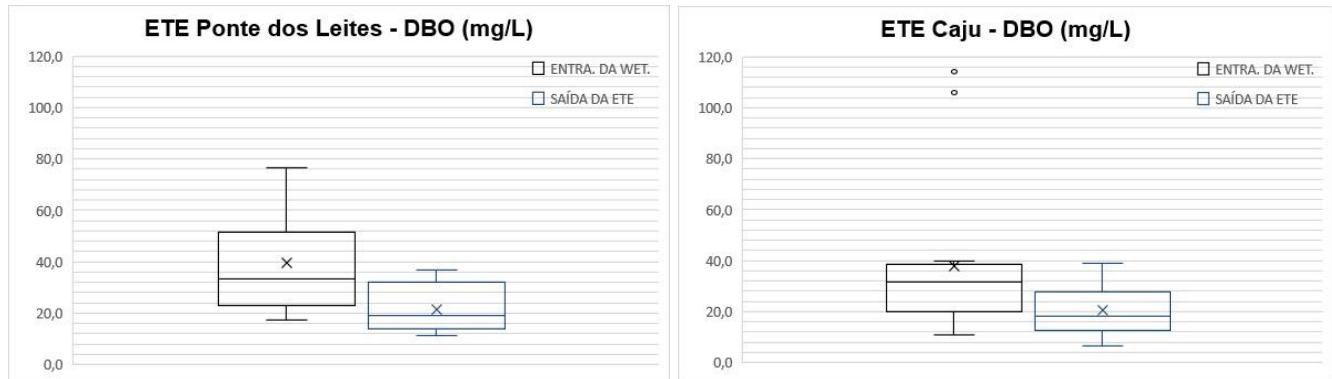
Fonte: Autoria própria.

Assim, como foi dito anteriormente, o modelo box-plot reforça a ideia de que a distribuição dos valores de DBO ocorre numa faixa de valores menor na ETE Caju, fato reforçado pelos valores de médias e DP. Devido a ETE P.L possuir valores que oscilam num intervalo de concentrações maior quando comparado a ETE Caju, o bloco para esta estação se torna mais prolongado para valores de DBO na entrada. Dessa forma, após a retira dos outliers, os valores das concentrações na ETE Caju não mais possuem picos acentuados, conferindo ao box-plot da ETE P.L maior prolongamento no eixo superior, fato este que ocorre devido a retirada das máximas na ETE Caju (Gráfico 4).

**Tabela 8:** Média e DP da DBO

		ETE P.L.	ETE Caju
Entrada	Média (mg/L)	39,85	26,86
	DP (mg/L)	19,11	9,46
Saída	Média (mg/L)	21,61	20,53
	DP (mg/L)	9,43	9,45

Fonte: Autoria própria.

**Gráfico 4:** Box-plots das concentrações de DBO entradas dos SACs e saídas das ETES

**Fonte:** Autoria própria.

Os valores da taxa de eficiência na remoção de DBO foram, em geral, melhores em relação ao parâmetro DQO na ETE P.L., onde foi observada uma eficiência média de 42,74% e máxima de 62,92%, valores estes superiores a correspondente DQO, contudo, houve uma piora na eficiência da mínima, que atingiu um aumento da concentração na saída do SAC em 9,27% (Tabela 9). No caso da ETE Caju somente o valor da máxima obteve uma melhora em relação a DQO, atingindo 80,21% de remoção, enquanto a mínima foi de -255,18%, referente ao período de out/16, com média de 12,29% (Tabela 9). Os índices de remoção diferentes entre as estações podem estar ligados ao maior tempo de operação da ETE P.L., já que, segundo Costa (2013), verifica-se maior ativação e aceleração dos processos microbianos heterotróficos em estações com maior tempo de funcionamento.

De forma análoga a DQO, a DBO obteve eficiência de 93,33% de redução na amostra de 30 medições, sendo 15 medições na entrada e 15 na saída do SAC por estação, observando-se um aumento na concentração da saída superior a entrada apenas para os períodos de fev/16 na ETE P.L. e out/16 na ETE Caju, sendo este último correspondente a mínima encontrada na ETE Caju.

**Tabela 9:** Eficiência de remoção DBO entre a entrada e saída do SAC

ETEs	DBO	
	Ponte dos Leites	Caju
Mínima	-9,27%	-255,18%
Média	42,74%	12,29%
Máxima	62,92%	80,21%

**Fonte:** Autoria própria.

A relação  $DBO/DQO$ , que varia de 0 - 1 e indica a taxa de biodegradabilidade do efluente (SPERLING, 1996) também foi analisada. Esta relação foi calculada a partir das médias encontradas na entrada e na saída do SAC de cada estação, como demonstrado na Tabela 10. Este resultado evidencia que a maior parte da matéria orgânica presente no efluente é inerte, ou seja, não biodegradável. Isso se deve a degradação da parcela orgânica no efluente na etapa anterior de tratamento (lagoas aeradas. Este fato se torna evidente ao analisarmos a distribuição das concentrações no Gráfico 3, no qual percebe-se que ao longa da distribuição temporal este parâmetro não sofre grandes alterações, justamente devido a pequena parcela de matéria orgânica biodegradável.

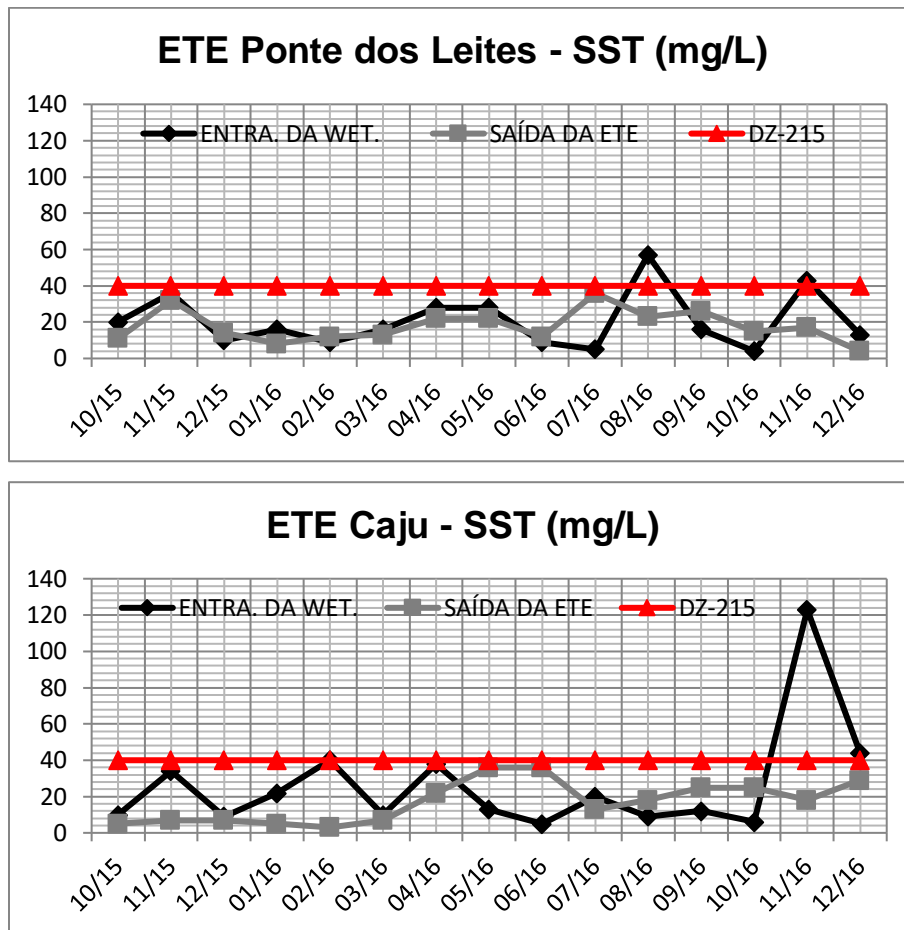
**Tabela 10:** Relação DBO/DQO nas estações

DBO/DQO		
ETEs	Ponte dos Leites	Caju
Entrada SAC	30,02%	23,62%
Saída ETE	25,90%	23,91%

**Fonte:** Autoria própria.

### 5.1.3 SST

Os resíduos não filtráveis totais demonstraram oscilações diferentes entre as duas estações, A ETE Caju atingiu o maior pico entre as duas, referente ao período de nov/16, sendo que nos demais períodos esta oscilou entre as concentrações de 0 e 40mg/L (Gráfico 5). A ETE P.L. também oscilou majoritariamente entre o intervalo de 0 e 40mg/L, ultrapassando este limite em duas ocasiões, no período de ago/16 e nov/16, onde a magnitude destas oscilações foi inferior a observada na ETE Caju (Gráfico 5). Contudo os valores nas saídas da SACs foram suficientes para o cumprimento da norma que exige máximas de 40 mg/L. Ainda, os valores médios das concentrações nas ETE P.L. e ETE Caju, 17,80 e 17,07 mg/L, assim como o DP de 8,90 e 11,40, respectivamente, foram superiores aos relatados por SEZERINO (2006), que obteve média de 12,13 e DP de 7,07 mg/L. Este fato pode estar ligado ao maior período de detenção hidráulico presente nas SACs do trabalho de SEZERINO (2006), bem como ao fato de se tratar de um modelo em escala piloto.

**Gráfico 5:** Concentrações de SST nas entradas dos SACs e nas saídas das ETEs

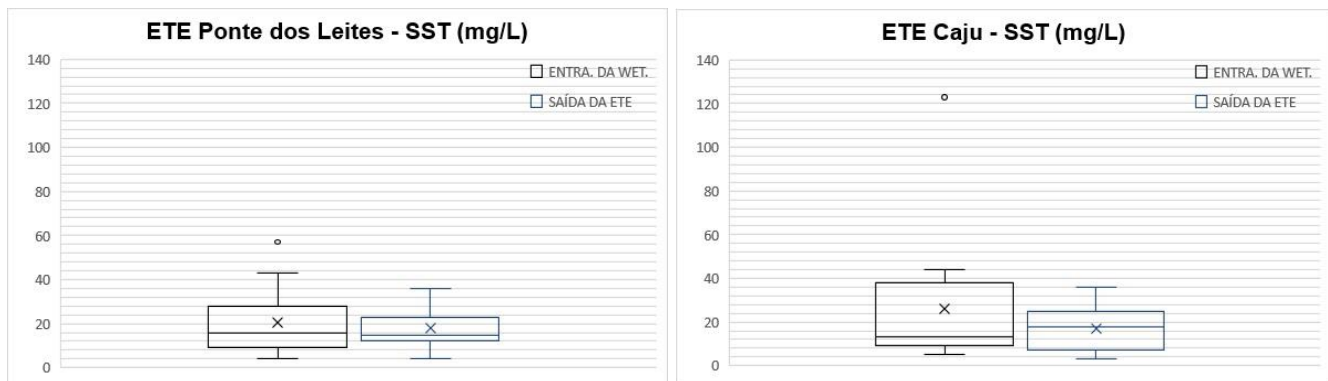
Fonte: Autoria própria.

Com base nos modelos de box-plot, duas concentrações mostram-se incoerentes com as demais (outliers), ambos referentes a entrada do sistema alagado construído no período de ago/16 para a ETE P.L. e nov/16 para a ETE Caju, sendo que esta última concentração apresenta um valor mais acentuado (Gráfico 5). A remoção de SST se dá devido a mecanismos internos, a qual é influenciada pela velocidade de percolação da água, pela granulometria do meio e pela presença das macrófitas (COSTA, 2013). Portanto, o tempo de detenção hidráulica, tanto na etapa anterior na lagoa de sedimentação quanto na própria SAC, pode estar sendo insuficiente para promoção da remoção de SST.

**Tabela 11:** Média e DP dos SST

		ETE P.L.	ETE Caju
<b>Entrada</b>	<b>Média (mg/L)</b>	18,07	19,43
	<b>DP (mg/L)</b>	11,70	13,79
<b>Saída</b>	<b>Média (mg/L)</b>	17,80	17,07
	<b>DP (mg/L)</b>	8,90	11,40

Fonte: Autoria própria.

**Gráfico 6:** Box-plots das concentrações de SST entradas dos SACs e saídas das ETES

Fonte: Autoria própria.

Os patamares de eficiência para este parâmetro não se demonstraram muito promissores, alcançando mínimas com um aumento de 620% nas concentrações de RNFT da saída em relação à entrada, referentes a jul/16 e jun/16 para ETE P.L. e ETE Caju (Tabela 11). Apesar das ETES P.L. e Caju atingirem máximas de 69,23% e 92,5%, as eficiências médias foram negativas, ou seja, houve um aumento médio de 54,77% e 61,38% nos valores das concentrações para as ETES P.L. e Caju, respectivamente.

Em relação as médias das concentrações na saída do sistema alagado construído, o parâmetro SST se encontra dentro da máxima estipulada pela NT-202/1986, com média de 17,80mg/L referente a ETE P.L. e 17,07mg/L ETE Caju (Tabela 12), que se encontram abaixo da máxima de 40mg/L. Ainda, em ambas estações as concentrações na saída do SAC foram inferiores o valor estipulado para norma em 100% dos casos.

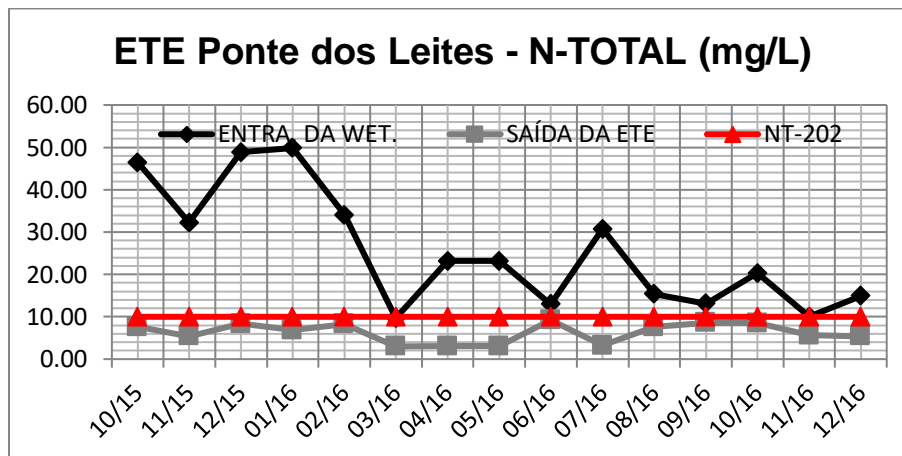
**Tabela 12:** Eficiência de remoção SST entre a entrada e saída do SAC

SST		
ETEs	Ponte dos Leites	Caju
Mínima	-620,00%	-620,00%
Média	-54,77%	-61,38%
Máxima	69,23%	92,50%

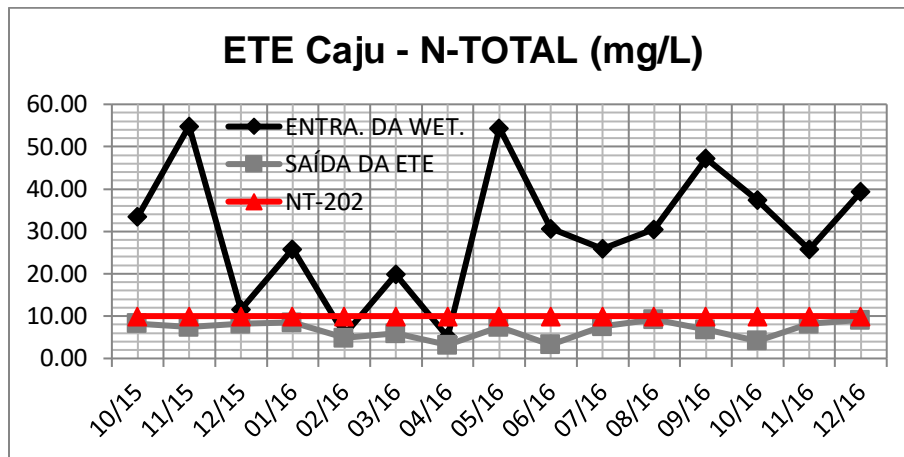
Fonte: Autoria própria.

#### 5.1.4 N-TOTAL

O parâmetro nitrogênio não apresentou, em nenhuma das ETEs concentrações superiores na saída em relação à entrada, ou seja, todas as 30 amostras analisadas apresentaram algum grau de remoção (Gráfico 7). No geral, analisando o Gráfico 7, pode-se perceber que algumas concentrações na entrada de ambas as estações foram superiores em até seis vezes as concentrações na saída. Em 100% das medições os valores na saída dos SACs estavam abaixo dos 10 mg/L estipulados pela norma.

**Gráfico 7:** Concentrações de N-TOTAL nas entradas dos SACs e nas saídas das ETEs





Fonte: Autoria própria.

Fica evidente ao analisar os box-plots a semelhança entre o agrupamento das concentrações na entrada e da saída, sendo observado também a inexistência de outliers (Gráfico 8). Logo, é nítida a similaridade entre o desvio padrão (Anexo C) na entrada e na saída da ETE P.L. (25,66mg/L e 6,25mg/L) e, de maneira análoga, da ETE Caju (29,85mg/L e 6,81mg/L), demonstrando que os valores das concentrações nas saídas se encontram mais agrupados que na entrada e apresentam magnitudes menores em ambas estações.

Tabela 13: Média e DP do N-TOTAL

		ETE P.L.	ETE Caju
Entrada	Média (mg/L)	25,66	29,85
	DP (mg/L)	14,08	15,52
Saída	Média (mg/L)	6,25	6,81
	DP (mg/L)	2,28	2,04

Fonte: Autoria própria.

**Gráfico 8:** Box-plots das concentrações de N-TOTAL entradas dos SACs e saídas das ETes

**Fonte:** Autoria própria.

Em termos de eficiência o parâmetro nitrogênio obteve algum tipo de redução em todas as amostras coletadas, com valores médios de 68,25% e 67,69% referentes a ETE P.L. e a ETE Caju, com valores mínimos de 29,23% e 13,65% e máximos de 89,45%. Tal fato corrobora para que a norma NT-202/1986 seja atendida, visto que as médias de 6,25mg/L e 6,81mg/L (Anexo C) apresentaram valores abaixo dos 10mg/L exigidos.

**Tabela 14:** Eficiência de remoção Nitrogênio entre a entrada e saída do SAC

ETEs	N-TOTAL	
	Ponte dos Leites	Caju
Mínima	29,23%	13,65%
Média	68,25%	67,69%
Máxima	89,45%	89,45%

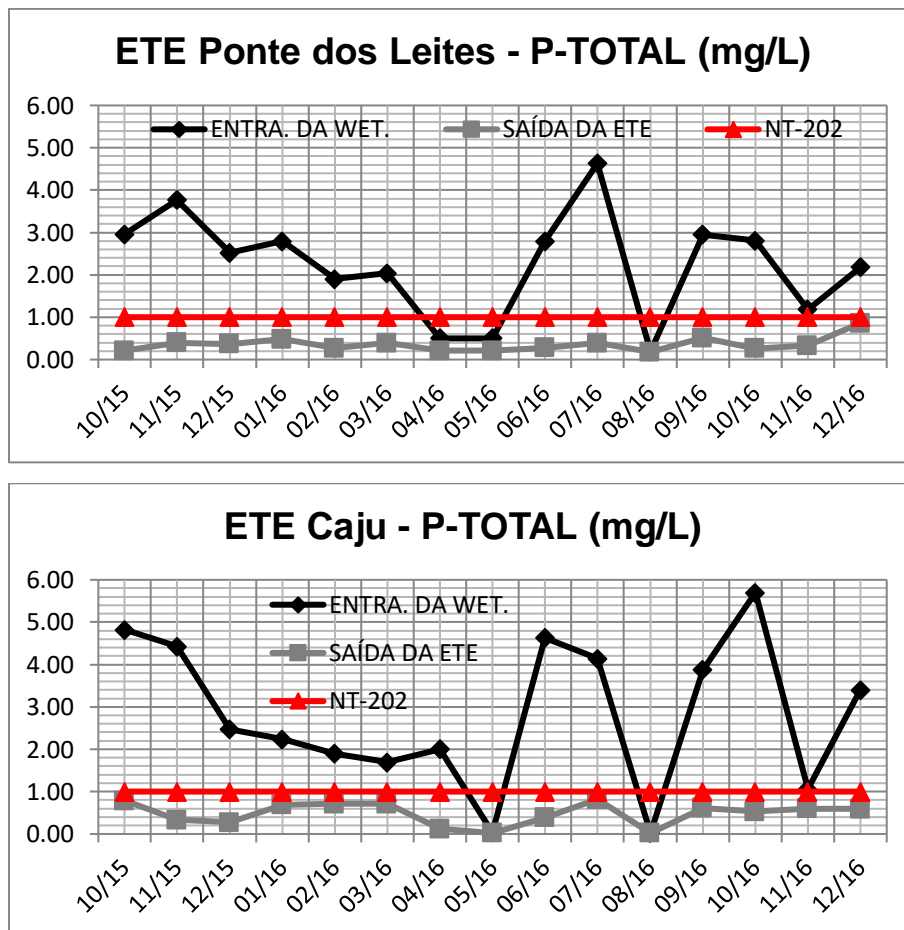
**Fonte:** Autoria própria.

A remoção de nitrogênio está ligada também ao ciclo vegetativo das macrófitas, ou seja, o período de maior crescimento vegetativo está ligado a maior absorção de nitrogênio, visto que o crescimento vegetativo das plantas é maior quando elas são jovens. Portanto, a poda regular é de extrema importância nos sistemas alagados construídos.

### 5.1.5 P-TOTAL

O parâmetro fósforo, assim como o nitrogênio, obteve uma redução na sua concentração na relação entrada e saída em 100% da amostra analisada. De maneira análoga ao parâmetro nitrogênio, observa-se uma oscilação mais acentuada nas concentrações da entrada, contudo, esta não se propaga de maneira a causar grandes distúrbios nas concentrações da saída em ambas as estações (Gráfico 9). O período de agosto de 2016, tanto na entrada quanto na saída do SAC na ETE Caju obteve uma concentração compatível com o limite de detecção do aparelho.

**Gráfico 9:** Concentrações de P-TOTAL nas entradas dos SACs e nas saídas das ETEs



Fonte: Autoria própria.

Dentre os box-plots representados no Gráfico 10, estes exemplificam muito bem a diferença existente entre os intervalos das concentrações na entrada e na saída das estações, onde observa-se médias de 2,25mg/L na entrada da ETE P.L. e de 0,32mg/l na saída, assim como médias de 2,83mg/L na entrada da ETE Caju e de 0,48mg/L na saída (Tabela 15), evidenciando, assim como na análise do nitrogênio, a eficiência da capacidade depurativa dos SACs. Embora ocorra uma flutuação das concentrações na entrada das estações em suas respectivas saídas, os valores se encontram, 100% das vezes, abaixo dos 1 mg/L exigidos pela norma.

**Tabela 15:**Média e DP do P-TOTAL

		ETE P.L.	ETE Caju
Entrada	Média (mg/L)	2,25	2,83
	DP (mg/L)	1,24	1,76
Saída	Média (mg/L)	0,32	0,48
	DP (mg/L)	0,11	0,27

Fonte: Autoria própria.

**Gráfico 10:** Box-plots das concentrações de P-TOTAL entradas dos SACs e saídas das ETEs



Fonte: Autoria própria.

Os valores das eficiências mínimas atingiram patamares inferiores ao parâmetro nitrogênio, da ordem de 5,26% para ETE P.L. e 0% para ETE Caju. O valor de 0% da ETE Caju refere-se ao período de ago/16, no qual as concentrações na entrada e na saída foram definidas pelo limite de detecção do aparelho, conferindo, assim, o valor de 0%. Nota-se ainda um aumento no que tange às taxas de eficiência médias e máximas em relação ao parâmetro nitrogênio, com médias de 76,1% e 71,46% e máximas de

92,91% e 94% para a ETE P.L. e para a ETE Caju, respectivamente. Assim como o parâmetro N-TOTAL, que obteve boas taxas de remoção, as médias de 0,36mg/L na ETE P.L. e 0,48mg/L (Anexo C) na ETE Caju foram suficientes segundo o limite determinado pela NT-202/1986.

**Tabela 16:** Eficiência de remoção Fósforo entre a entrada e saída do SAC

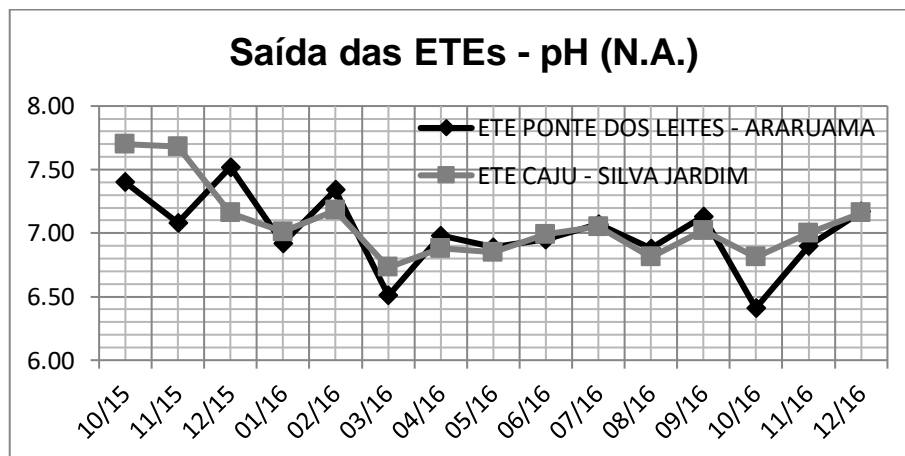
P-TOTAL		
ETEs	Ponte dos Leites	Caju
Mínima	5,26%	0,00%
Média	76,10%	71,46%
Máxima	92,91%	94,00%

Fonte: Autoria própria.

### 5.1.6 pH

O parâmetro pH somente foi medido na saída da estação, com média de 7,01 e desvio padrão de 0,3 na ETE P.L., e 7,07 e 0,29 (Anexo C) na ETE Caju, demonstram que as oscilações do parâmetro pH foram bem sutis, como verificado no Gráfico 11. Esta faixa de pH corresponde a faixa neutra. Os processos realizados ao longo das estações dependem de uma faixa de pH determinada para otimização do processo, interferindo, por exemplo, na remoção do nitrogênio do sistema, já que uma faixa de 6,5 - 8 promove intensa nitrificação e desnitrificação, enquanto valores de pH superiores a 8,5 intensificam a volatilização da amônia.

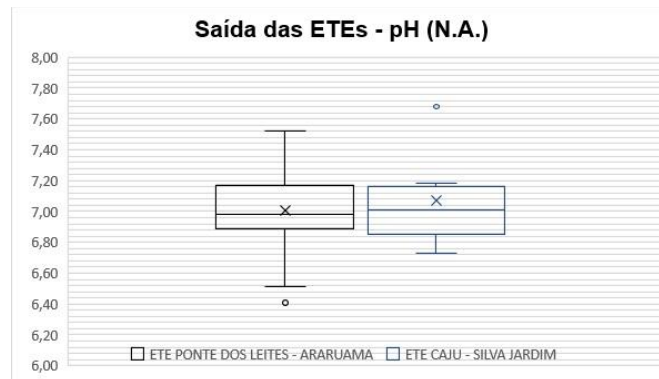
**Gráfico 11:** Concentrações de pH nas saídas das ETEs



Fonte: Autoria própria.

Devido as medidas de pH possuírem valores muito próximos, o desvio padrão se torna também muito baixo, sendo que os valores de pH se encontram dentro da norma NT-202/1986, que estipula uma faixa de pH entre 5 e 9.

**Gráfico 12:** Box-plots das concentrações de pH nas saídas das ETEs



**Fonte:** Autoria própria.

### 5.1.7 *Escherichia coli*

Segundo Costa (2013), a quantidade de *Escherichia coli* (*E. coli*) pode se relacionar com a pluviosidade, aonde se verifica maior contribuição de contaminação de origem difusa, ou seja, contribuições externas carregadas pela pluviosidade.

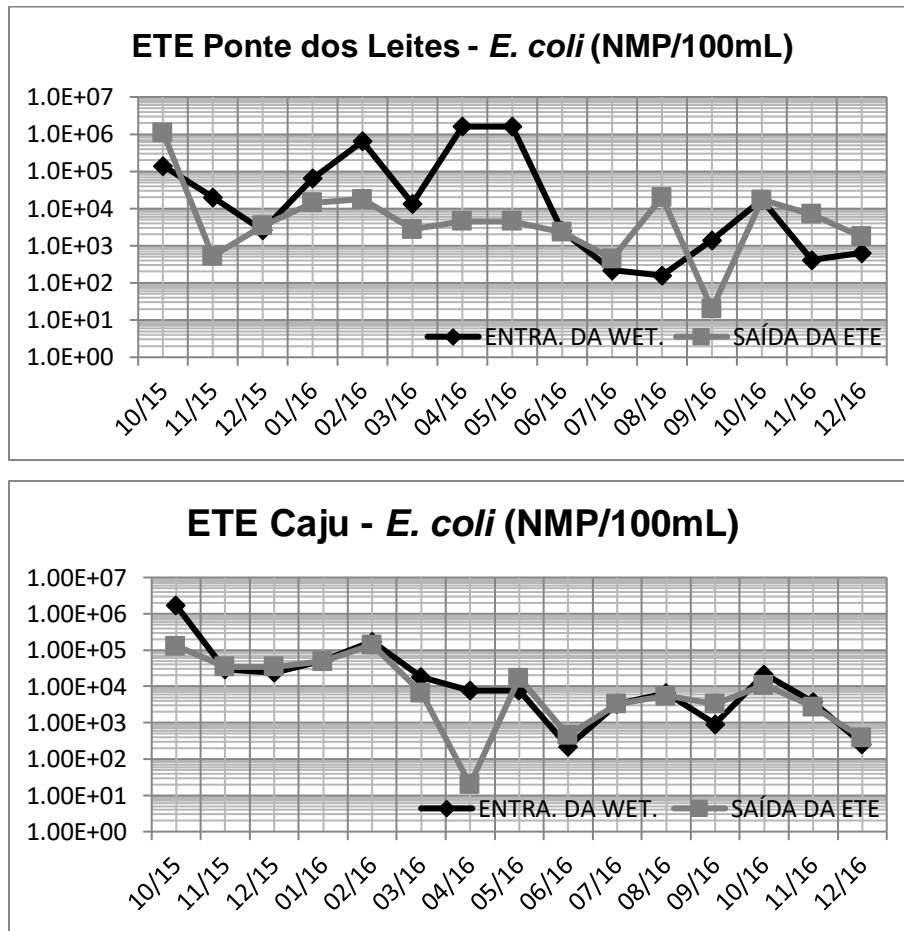
O parâmetro *Escherichia coli* (*E. coli*) obteve índices ruins, no qual os valores das concentrações na saída das SACs ultrapassaram as concentrações da entrada, atingindo um total de 10 outliers, sendo estes referentes aos períodos de:

- Entrada ETE P.L.: out/16, jan/16, fev/16, abr/16, mai/16;
- Saída ETE P.L.: out/16;
- Entrada ETE Caju: out/16, fev/16;
- Saída ETE Caju: out/16, fev/16.

Mesmo após a retirada dos outliers verificou-se em 11 ocasiões concentrações nas saídas das SACs superiores aos valores nas entradas dos sistemas alagados construídos, estes referentes aos períodos de dez/15, jul/16, ago/16, nov/16 e dez/16 para a ETE P.L. e nov/15, dez/15, 05/16, jun/16 out/16 e dez/16 para a ETE Caju, representados no Anexo A e B.

Contudo não era esperado que houvesse remoção deste parâmetro nas SACs, visto que estas não preveem a atenuação deste tipo de poluente.

**Gráfico 13:** Concentrações de *E. coli* nas entradas dos SACs e nas saídas das ETEs



Fonte: Autoria própria.

SEZERINO (2006) relatou médias de  $1,00E+02$  NMP/100mL, ao passo que as SACs das estações investigadas obtiveram médias de  $1,00E+03$  NMP/100mL, representando uma diferença de 1 Log. Contudo é importante salientar que a presença de picos acentuados nas medições provocou o aumento nos valores médios obtidos para as estações, com médias na entrada e saída das estações de 5861,40 NMP/ml e 6887,21 NMP/ml para a ETE P.L., bem como das médias de 13597,00 NMP/ml e 12981,46 NMP/ml para a ETE Caju, respectivamente (Anexo C). Acrescido ao mencionado, verifica-se

que os picos acentuados nas saídas das estações conferem uma média superior ao valor médio na entrada das SACs para ETE P.L.

**Gráfico 14:** Box-plots das concentrações de *E. coli* entradas dos SACs e saídas das ETES



**Fonte:** Autoria própria.

Devido a tantos outliers, somados aos diversos períodos onde os valores de concentração na saída superaram as concentrações na entrada em ambas ETES, coube ao parâmetro *E. coli* os piores índices de eficiência, com valores mínimos e médios de eficiência da ordem de -12471,52% e -1410,81% para a ETE P.L. e -254,84% e -24,98% para ETE Caju (Tabela 17). Os valores obtidos para as máximas não são muito representativos, pois exemplificam períodos praticamente únicos, já que em 50% dos casos ouve um incremento na concentração do *E. coli* na saída das ETES (Anexo A e B).

**Tabela 17:** Eficiência de remoção *E. coli* entre a entrada e saída do SAC

<i>E. coli</i>		
ETEs	Ponte dos Leites	Caju
Mínima	-12471,52%	-254,84%
Média	-1410,81%	-24,98%
Máxima	98,57%	99,74%

**Fonte:** Autoria própria.



## 6. CONCLUSÕES

A distribuição temporal dos dados envolveu quase que exclusivamente um único ciclo de estações, sendo assim insuficientes para apontar efeitos sazonais no tratamento. Para realizar tal afirmação seria necessária à coleta de dados em vários ciclos de estações. A falta de parâmetros técnicos e operacionais, como dimensões dos processos, TDH, população de macrófitas, número de espécies por m<sup>2</sup>, dentre outros, dificultou a determinação dos fatores determinantes para a remoção dos poluentes nas estações. Da mesma forma, a falta de trabalhos específicos que utilizassem os modelos SACs como pós-tratamento de lagoas aeradas de efluentes de esgoto sanitário contribuíram para a obtenção de dados comparativos, a fim de determinar o grau de eficiência das ETEs.

Apesar dos SACs investigados apresentarem de 15-35 % de remoção de DQO e 10-45% de remoção de DBO, a fração orgânica era predominantemente inerte. Logo, não era esperado um alto grau de remoção para estes parâmetros. Paralelamente a este fato, a presença de matéria orgânica inerte no efluente influencia a concentração de SST, que tende a aumentar com a presença de MO.

Os sistemas alagados construídos mostraram-se promissores para a remoção dos parâmetros N-TOTAL e P-TOTAL. Como as macrófitas utilizam destes compostos e da matéria orgânica para o seu crescimento vegetativo, já era esperado que houvesse algum grau de remoção destes poluentes. Com máximas de quase 90% de remoção para o parâmetro N-TOTAL e 94% para o parâmetro P-TOTAL, este modelo se torna uma alternativa para a remoção destes macronutrientes, os quais não se encontram no foco do tratamento convencional de efluentes de esgoto.

Foi verificado o aumento de 1 log de *E. coli* em vez de redução, fato este inesperado já que a estação conta com uma lagoa de sedimentação anterior aos sistemas alagados construídos, responsável pela redução deste parâmetro devido a sua sedimentação. Mesmo que para o modelo de SACs não seja previsto a remoção deste parâmetro biológico, era esperado que este não sofresse alteração. O aumento da sua concentração no efluente final pode estar ligado ao fenômeno da evapotranspiração, o qual é responsável por concentrar os poluentes, isso ocorre, pois, a carga de poluente presente no meio se mantém enquanto parte da água evapora, em outras palavras caso fosse mantido o volume inicial de água a concentração dos poluentes seriam menores ao final do tratamento.

Cabe ressaltar que a condução de estudos complementares é um fato importante para esclarecer alguns pontos aqui levantados, sendo sugerido:

- Elaborar testes com períodos de TDH maiores para a remoção de SST, matéria orgânica e *E. coli*;
- Realizar estudos e testes hidrodinâmicos com diferentes macrófitas simultaneamente, como também com diferentes regimes de fluxo (subsuperficiais horizontais ou verticais), utilizando materiais suporte diversos, a fim de melhorar a eficiência na remoção de diversos parâmetros;
- Estudar a variação das concentrações dos parâmetros analisados por um período mais prolongado a fim de estimar a influência do ciclo hidrológico e das estações do ano nos resultados encontrados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.209**: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1992. 12 p. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.209-Projeto-de-Estações-de-Tratamento-de-Esgoto-Sanitários.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

AGROLINK. **Alface d'água**. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

ÁGUAS DE JUTURNAÍBA. **Ecofibras**. (Documento interno).

ÁGUAS DE JUTURNAÍBA. **Sistema de captação e afastamento de esgotos de Arauama (RJ)**. (Documento interno) a.

ÁGUAS DE JUTURNAÍBA. **Sistema de tratamento de esgotos ETE Ponte dos Leites**. (Documento interno) b.

ÁGUAS DO BRASIL. **Água e esgoto**. Disponível em: <<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br>>. Acesso em: 08 ago. 2017a.

ÁGUAS DO BRASIL. **Fauna e Flora da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Araruama - RJ**. Araruama - RJ, 2010. 60 p. Disponível em: <[http://www.ipefan.com.br/Fauna e Flora.pdf](http://www.ipefan.com.br/Fauna%20e%20Flora.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2017b.

ALMEIDA, Paulo Gustavo Sertório de. **Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação**. 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/286M.PDF>> Acesso em: 02 dez. 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas.** Portal da Qualidade da Água. 2009, 1 p. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/IET.pdf>>. Acessado em: 08 ago. 2017.

ANDRADE, Júlio Cesar de Matta; TAVARES, Silvio Roberto de Lucena, 1962; MAHLER, Cláudio Fernando, 1949. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 176 p.

ANJOS, José Ângelo Sebastião Araujo dos. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA.** 2003. 327 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Politécnic da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://jangello.unifacs.br/downloads/tese\\_doutorado.pdf](http://jangello.unifacs.br/downloads/tese_doutorado.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

AVELAR, Janine Cabral. **Avaliação da escória de aciaria (LD) como leito cultivado e leito filtrante no pós-tratamento de efluentes de reator UASB compartimentado.** 2008. 153 p. Dissertação (Mestrado) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. Disponível em: <[http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3867/1/tese\\_2609\\_Vers%C3%A3o%20Final1.pdf](http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/3867/1/tese_2609_Vers%C3%A3o%20Final1.pdf)> Acesso em: 02 dez. 2018.

BEGOSSO, Larissa. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de sistemas wetlands construídos para tratamento de água cinza.** 2009. 53 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Campo Grande, 2009. Disponível em: <[http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1498/1/Larissa\\_Begosso.pdf](http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1498/1/Larissa_Begosso.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

BEYRUTH, Zuleika. **Macrófitas aquáticas de um lago marginal ao rio Embu-mirim, São Paulo, Brasil**. 1992, 11 p. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/rsp/v26n4/10.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 2007. **Esta Lei Estabelece As Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico e Para A Política Federal de Saneamento Básico**. 2007, 18 p. Disponível em: <[www.agu.gov.br/page/download/index/id/10725320](http://www.agu.gov.br/page/download/index/id/10725320)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

BRASIL. **Esgotamento sanitário: amostragem, preservação e caracterização físico-química e microbiológica de esgoto: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). - Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 91 p. Disponível em: <<http://nucase.desa.ufmg.br/wp-content/uploads/2013/07/ES-APCF.2.pdf>>. 02 dez. 2018.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA N° 357**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília - DF, 2005. 27 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA N° 430**: 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 Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília - DF, 2011. 8 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

COSTA, Jocilene Ferreira da. **Desempenho de sistemas wetlands construídas (Banhados construídos) no tratamento de manipeira**. 2009. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009, 54 p. Disponível em:

<[http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1492/1/Jocilene Ferreira da Costa.pdf](http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/bitstream/123456789/1492/1/Jocilene%20Ferreira%20da%20Costa.pdf)>.

Acesso em: 02 dez. 2018.

COSTA, Jocilene Ferreira da. **Remoção de poluentes em um sistema de alagados construídos atuando como Pós-Tratamento de efluentes de reator UASB e de Filtro biológico percolador.** Tese (Doutorado) - Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 193 p. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/983D.PDF>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

FABRETI, Aline Akabochi. **Pós-Tratamento de efluentes de lagoa de estabilização através de processos físico-químicos.** 2006. 179 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09032007-163934/publico/dissertacaoalinefabreti.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2018.

FIRJAN. **Vencedores Prêmio FIRJAN de Ação Ambiental 2016.** Categoria: Logística reversa aplicada a Resíduos de ETE com processo de zona de raízes (Constructed wetlands). 2016. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/seminario-acao-ambiental-2016/premio.htm>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (Rio de Janeiro - RJ). **Controle de qualidade de água através de sistemas de sistemas alagados construídos.** 1998. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Controle-de-qualidade-de-%C3%A1gua-atrav%C3%A9s-de-sistemas-Wetlands-constru%C3%ADdos.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

FLORASBS. **Salvinia auriculata - carrapatinho.** Disponível em: <<https://sites.google.com/site/florasbs/>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de desenvolvimento sustentável. Dimensão ambiental - saneamento. Acesso ao esgotamento sanitário.**

2015, 384 p. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Araruama**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rj/araruama/panorama>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Silva Jardim**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rj/silva-jardim/panorama>>. Acesso em: 02 dez. 2018..

JARDIM BOTÂNICO. *Elodea canadensis*. Disponível em: <[https://jb.utad.pt/especie/Elodea\\_canadensis](https://jb.utad.pt/especie/Elodea_canadensis)>. 02 dez. 2018.

JARDIM DE CALATÉIA. **Cyperus giganteus, papiro brasileiro**. Disponível em: <<http://jardimdecateia.com.br/acervo-botanico>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

JARDINEIRO.NET. **Aguapé - eichhornia crassipes**. Disponível em: <<http://www.jardineiro.net/plantas>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

JARDINEIRO.NET. **Sombrinha-chinesa - cyperus alternifolius**. Disponível em: <<http://www.jardineiro.net/plantas>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

KADLEC, ROBERT H.; WALLACE, SCOTT D. **Treatment wetlands**. 2 ed. Broken Sound Parkway NW: CRC Press, 2009. 366 p.

LAUTENSCHLAGER, Sandro Rogério. **Modelagem do desempenho de sistemas alagados construídos construídas**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001, 106 p. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002.../dissertacaosrl.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002.../dissertacaosrl.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

O BOTÂNICO APRENDIZ NA TERRA DOS ESPANTOS. **Plantas: beleza e diversidade**. Disponível em: <<http://obotanicoaprendiznaterradosespantos.blogspot.com.br/2010/12>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

PAOLI, André Cordeiro. **Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010, 165 p. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ENGD-88QP8H/disserta\\_o\\_n\\_404\\_andre\\_cordeiro\\_de\\_paoli.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ENGD-88QP8H/disserta_o_n_404_andre_cordeiro_de_paoli.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

PIO, Mauro Célio da Silveira. **Estudo da viabilidade da remoção de metais potencialmente tóxicos de um igarapé da região do polo industrial de Manaus (PIM) utilizando um sistema piloto de tanque com macrófita e wetland**. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Manaus, 2012, 105 p. Disponível em: <[http://gsantana2005.com/wp-content/uploads/2017/04/Pio\\_doutorado.pdf](http://gsantana2005.com/wp-content/uploads/2017/04/Pio_doutorado.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

PMA/PMSB - PREFEITURA MUNICIPAL DE ARARUAMA. **Estudos e projetos para consecução do Plano Municipal de Saneamento Básico de Araruama - RJ**. 2013, 339 p.

PMSJ/PMSB – PREFEITURA MUNICIPAL DE SILVA JARDIM. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Silva Jardim - RJ**. 2013, 113 p.

POÇAS, Cristiane Dias. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: Controle de nutrientes**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. 109 p. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015.../CristianeDiasPocas.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015.../CristianeDiasPocas.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

RIBEIRO, João Paulo Lopes. **Modelação do comportamento hidráulico de leitos de macrófitas**. 2007. 104 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia do Ambiente - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137462215/dissertacao.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2018.



RIO DE JANEIRO. **DZ-215.R-4** - DIRETRIZ DE CONTROLE DE CARGA ORGÂNICA BIODEGRADÁVEL EM EFLUENTES LÍQUIDOS DE ORIGEM SANITÁRIA. Estabelecer exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP. Rio de Janeiro - RJ, 2007. 17p. Disponível em: <[http://www.tesalab.com.br/site/downloads/INEA\\_DZ-215.pdf](http://www.tesalab.com.br/site/downloads/INEA_DZ-215.pdf)> Acesso em: 08 dez. 2018.

RIO DE JANEIRO. **NT-202.R-10** - CRITÉRIOS E PADRÕES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS. Estabelecer critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras - SLAP. Rio de Janeiro - RJ, 1986. 3p. Disponível em: <<https://www.baktron.com.br/img/ManagerImages/NT202%20R10.pdf>> Acesso em: 08 dez. 2018.

RODRIGUES, Marcos Vinicius Costa. **Wetlands construídos de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto de um restaurante universitário**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016. 88 p. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6191/1/LD\\_COEAM\\_2016\\_1\\_13.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6191/1/LD_COEAM_2016_1_13.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

SALATI, Eneas; SALATI FILHO, Eneas; SALATI, Eneida. **Utilização de wetlands construídas para tratamento de águas**. Piracicaba - SP. 2009. 12 p. Disponível em: <[http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-sistemas alagados construídos.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-sistemas%20alagados%20construidos.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

SISTEMA FIRJAN. **Seminário ação ambiental 2016**. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios de tratamento biológico de águas residuárias**. 2 ed. Belo Horizonte: SEGRAC, 1996. 243 p.

SAKAGAMI, Cinthia Ruriko. **Pteridófitas do parque ecológico da Klabin, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Botânica do Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. 212 p. Disponível em: <[http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/15461/Dissertacao\\_Cin?sequence=1](http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/15461/Dissertacao_Cin?sequence=1)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Potencialidade de filtros plantados com macrófitas (Constructed Wetlands) no Pós-Tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103142/225786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 02 dez. 2018.

SEZERINO, Pablo Heleno. **Utilização de biofiltros com macrófitas (Vertical Constructed Wetlands) como Pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos suínos.** 2002. 123 p. TCC (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/83545>> Acesso em: 02 dez. 2018.

TAMURA, Mauro Massanari. **Wetland construído tipo lagoa de macrófita flutuante empregado na remoção de nitrogênio.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. 48 p. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5268/1/LD\\_COEAM\\_2014\\_1\\_18.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5268/1/LD_COEAM_2014_1_18.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2018.

TAVARES, Sílvio Roberto De Lucena. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: Conceitos Básicos & Fundamentos.** 1 ed. Rio de Janeiro: 2013. 147 p.

VITORINO, Felipe Andrade; GONTIJO, Carlos Alberto Vieira; LERMONTOV, André. **Wetlands - Processos naturais para remoção de nutrientes em estações de tratamento de esgotos.** Disponível

em: < <https://docplayer.com.br/14273655-Wetlands-processos-naturais-para-remocao-de-nutrientes-em-estacoes-de-tratamento-de-esgotos.html> >. Acesso em: 02 dez. 2018.

VYMAZAL, J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review, *Hydrobiologia*, 674:133-156, 2011.

## ANEXO A - GRÁFICOS DA ETE PONTE DOS LEITES

Tabela 18: Dados dos parâmetros de controle mensais na entrada dos SACs da ETE Ponte dos Leites

ETE PONTE DOS LEITES - ARARUAMA															
PARÂMETROS	10/15	11/15	12/15	01/16	02/16	03/16	04/16	05/16	06/16	07/16	08/16	09/16	10/16	11/16	12/16
	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.
DQO (mg/L)	169	141	174	212	103	121	162	162	52	148	126	99	159	119	44
DBO (mg/L)	76,6	69,33	50,4	47	31,73	51,7	19,2	19,2	22,92	33,40	27,07	35,73	64,2	32	17,25
SST (mg/L)	20	36	10	16	9	16	28	28	9	5	57	16	4	43	13
ÓLEOS E GRAXAS (mg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
N-TOTAL (mg/L)	46,44	32,22	48,89	49,84	34,08	9,70	23,20	23,2	13	30,7	15,4	13,1	20,3	10	14,9
P-TOTAL (mg/L)	2,96	3,77	2,52	2,79	1,9	2,04	0,50	0,50	2,79	4,6	0,19	2,95	2,81	1,18	2,18
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	140000	20140	2613	64050	648880	13540	1600000	1600000	2500	220	158	1400	17000	410	633
MBAS	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

ETE PONTE DOS LEITES - ARARUAMA															
PARÂMETROS	10/15	11/15	12/15	01/16	02/16	03/16	04/16	05/16	06/16	07/16	08/16	09/16	10/16	11/16	12/16
	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE
DQO (mg/L)	98	69	98	172	200	76	102	102	45	76	82	59	147	94	37
DBO (mg/L)	28,40	37	32	22,8	34,67	24	11	11,4	14,67	14,33	13,92	13,87	34	19,07	12,35
SST (mg/L)	11	32	14	8	12	13	22	22	12	36	23	26	15	17	4
ÓLEOS E GRAXAS (mg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
N-TOTAL (mg/L)	7,58	5,42	8,36	6,81	8,25	3,00	3,10	3,1	9,2	3,2	7,6	8,6	8,5	5,6	5,4
P-TOTAL (mg/L)	0,21	0,4	0,37	0,48	0,27	0,39	0,21	0,21	0,28	0,39	0,18	0,51	0,26	0,33	0,86
pH (N.A.)	7,40	7,08	7,52	6,92	7,34	6,51	6,98	6,89	6,95	7,07	6,88	7,13	6,41	6,90	7,17
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	1100000	520	3448	14390	17930	2750	4500	4500	2300	450	19863	20	17000	7000	1750
MBAS	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fonte: Autoria própria

### LEGENDA:

- Os parâmetros com tarja vermelha foram descartados, pois se encontram abaixo do limite de detecção, portando foram eliminados devido a inviabilidade de análise.
- Os parâmetros com tarja cinza representam os pares de valores onde o valor da concentração na saída é superior ao valor da entrada.
- Os parâmetros escritos em vermelho foram desconsiderados nas análise por representarem outliers.

## ANEXO B - GRÁFICOS DA ETE CAJU

**Tabela 19:** Dados dos parâmetros de controle mensais na entrada e saída dos SACs da ETE Caju

ETE CAJU - SILVA JARDIM															
PARÂMETROS	10/15	11/15	12/15	01/16	02/16	03/16	04/16	05/16	06/16	07/16	08/16	09/16	10/16	11/16	12/16
	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.	ENTRA. DA WET.
DQO (mg/L)	150	171	144	272	168	121	85	80	148	111	117	54	54	132	57
DBO (mg/L)	38,6	106	144,33	33,07	31,85	33,6	25,6	39,67	33,4	23,33	28,6	19,6	11	19,8	11,05
SST (mg/L)	10	34	9	22	40	10	38	13	5	20	9	12	6	123	44
ÓLEOS E GRAXAS (mg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
N-TOTAL (mg/L)	33,45	54,87	11,60	25,87	5,64	19,90	5,10	54,40	30,70	25,90	30,50	47,20	37,40	25,80	39,40
P-TOTAL (mg/L)	4,82	4,43	2,47	2,24	1,90	1,69	2,00	0,04	4,63	4,14	0,02	3,88	5,70	1,06	3,40
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	1700000	29870	24196	51720	173290	18350	7800	7800	220	3300	6586	930	22000	3730	259
MBAS	<0,1	0,2	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

ETE CAJU - SILVA JARDIM															
PARÂMETROS	10/15	11/15	12/15	01/16	02/16	03/16	04/16	05/16	06/16	07/16	08/16	09/16	10/16	11/16	12/16
	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE	SAÍDA DA ETE
DQO (mg/L)	141	126	35	262	155	50	43	95	76	106	86	54	117	74	44
DBO (mg/L)	24,2	32,33	23,87	17,73	21,2	6,65	10,83	33,33	14,33	18,13	27,87	12,8	39,07	14,78	10,83
SST (mg/L)	5	7	7	5	3	7	22	36	36	13	18	25	25	18	29
ÓLEOS E GRAXAS (mg/L)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
N-TOTAL (mg/L)	8,28	7,43	8,20	8,47	4,87	5,90	3,20	7,40	3,24	7,60	9,20	6,80	4,20	8,20	9,10
P-TOTAL (mg/L)	0,79	0,33	0,27	0,69	0,71	0,71	0,12	0,02	0,39	0,82	0,02	0,61	0,53	0,60	0,59
pH (N.A.)	7,70	7,68	7,16	7,01	7,18	6,73	6,88	6,85	6,99	7,05	6,81	7,02	6,81	7,00	7,16
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	130000	34480	35000	48840	141360	6730	20	17000	450	3300	5475	3300	11000	2780	384
MBAS	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fonte: Autoria própria

### LEGENDA:

- Os parâmetros com tarja vermelha foram descartados, pois se encontram abaixo do limite de detecção, portando foram eliminados devido a inviabilidade de análise.
- Os parâmetros com tarja cinza representam os pares de valores onde o valor da concentração na saída é superior ao valor da entrada.
- Os parâmetros escritos em vermelho foram desconsiderados nas análise por representarem outliers.

## ANEXO C - ESTATÍSTICAS DOS TRATAMENTOS

**Tabela 20:** Estatísticas das concentrações dos parâmetros físico-químicos da ETE P.L.

Entrada SAC						
	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N-TOTAL (mg/L)	P-TOTAL (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
<b>Média</b>	132,73	39,85	18,07	25,66	2,25	5861,40
<b>1Q</b>	111,00	25,00	9,25	14,00	1,54	465,75
<b>Máximo</b>	212,00	76,60	43,00	49,84	4,63	20140,00
<b>Mínimo</b>	44,00	17,25	4,00	9,70	0,19	158,00
<b>3Q</b>	162,00	51,04	26,00	33,15	2,88	10808,25
<b>Q90%</b>	172,00	67,28	33,60	47,91	3,45	17314,00
<b>DP</b>	45,35	19,11	11,70	14,08	1,24	7817,86

Fonte: Autoria própria.

Saída SAC							
	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N-TOTAL (mg/L)	P-TOTAL (mg/L)	pH (N.A.)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
<b>Média</b>	83,46	21,61	17,80	6,25	0,32	7,05	6887,21
<b>1Q</b>	69,00	13,90	12,00	4,32	0,22	6,91	1887,50
<b>Máximo</b>	147,00	37,00	36,00	9,20	0,51	7,52	19863,00
<b>Mínimo</b>	37,00	11,40	4,00	3,00	0,18	6,51	20,00
<b>3Q</b>	98,00	30,20	22,50	8,31	0,39	7,16	12542,50
<b>Q90%</b>	102,00	34,40	29,60	8,56	0,46	7,38	17651,00
<b>DP</b>	28,60	9,43	8,90	2,28	0,11	0,26	7156,50

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 21:** Estatísticas das concentrações dos parâmetros físico-químicos da ETE Caju

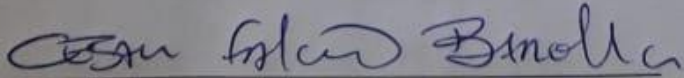
<i>Entrada Sistema alagado construído</i>						
	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N-TOTAL (mg/L)	P-TOTAL (mg/L)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
<b>Média</b>	113,71	26,86	19,43	29,85	2,83	13597,00
<b>1Q</b>	81,25	19,80	9,25	22,85	1,80	3300,00
<b>Máximo</b>	171,00	39,67	44,00	54,87	5,70	51720,00
<b>Mínimo</b>	54,00	11,00	5,00	5,10	0,02	220,00
<b>3Q</b>	147,00	33,40	31,00	38,40	4,29	22000,00
<b>Q90%</b>	162,60	37,60	39,40	51,52	4,74	28735,20
<b>DP</b>	41,47	9,46	13,79	15,52	1,76	15167,85

Fonte: Autoria própria.

<i>Saída Sistema alagado construído</i>							
	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N-TOTAL (mg/L)	P-TOTAL (mg/L)	pH (N.A.)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
<b>Média</b>	85,86	20,53	17,07	6,81	0,48	6,97	12981,46
<b>1Q</b>	51,00	13,57	7,00	5,39	0,30	6,85	2780,00
<b>Máximo</b>	155,00	39,07	36,00	9,20	0,82	7,18	48840,00
<b>Mínimo</b>	35,00	6,65	3,00	3,20	0,02	6,73	20,00
<b>3Q</b>	114,25	26,04	25,00	8,24	0,70	7,05	17000,00
<b>Q90%</b>	136,50	32,93	33,20	8,85	0,76	7,16	34896,00
<b>DP</b>	38,83	9,45	11,40	2,04	0,27	0,15	16133,83

Fonte: Autoria própria.

Certifico que o aluno **Arthur César Batista Soares**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado **“Determinação da eficiência do modelo de sistemas alagados construídos de fluxo superficial com macrófitas emergentes e flutuantes no pós-tratamento de lagoa de estabilização”**, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



Cesar Falcão Barella

Orientador

Ouro Preto, 07 de março de 2019.