

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
APLICADA E SUSTENTABILIDADE (PPGEAS)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE
TANQUE SÉPTICO POR SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO EM
ESCALA PILOTO

Autora: Marielle Vieira Felix
Orientador: Prof. Dr. Bruno Botelho Saleh

RIO VERDE – GOIÁS
Fevereiro - 2020

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
APLICADA E SUSTENTABILIDADE (PPGEAS)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE
TANQUE SÉPTICO POR SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO EM
ESCALA PILOTO

Autora: Marielle Vieira Felix

Orientador: Prof. Dr. Bruno Botelho Saleh

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE, do Programa de Pós-Graduação – *Stricto Sensu* em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração (Engenharia Aplicada e Sustentabilidade).

RIO VERDE – GOIÁS
Fevereiro – 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

FF316a Felix, Marielle Vieira
Análise da eficiência do tratamento do efluente de tanque séptico por sistema alagado construído em escala piloto / Marielle Vieira Felix; orientador Bruno Botelho Saleh. -- Rio Verde, 2020.
72 p.

Dissertação (em Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Esgoto doméstico. 2. wetlands construídas. 3. alagados construídos. I. Botelho Saleh, Bruno , orient. II. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Marielle Vieira Felix

Matrícula: 2018102331440063

Título do Trabalho: Análise da eficiência do tratamento do efluente de tanque séptico por sistema alagado construído em escala piloto

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 29/04/2020__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

____Rio Verde____, ____28____/____04____/____2020____.
Local Data

Marielle Vieira Felix

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Guilherme José da Silva

Assinatura do(a) orientador(a)

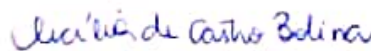
ATA DE DEFESA





SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS RIO VERDE - GO
DIRETORIA DE PÓS GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE

ATA Nº 20 (VINTE) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte e oito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte, às 14:00 (quatorze horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Bruno Botelho Saleh (orientador), Prof.ª Dr.ª Cecília de Castro Bolina (avaliadora externa), Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior (avaliador interno), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada na Sala Cinquenta e Dois do prédio da Diretoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação do IF Goiano - Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, da autoria de **Marielle Vieira Felix**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Bruno Botelho Saleh, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora da Dissertação para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**, na área de concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Renata Maria de Miranda Rios Resende, secretária do PPGEAS, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em duas vias de igual teor.


Prof.ª Dr.ª Cecília de Castro Bolina
Avaliadora externa
UFG / Jataí


Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior
Avaliador interno
IF Goiano / Rio Verde


Prof. Dr. Bruno Botelho Saleh
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

PÁGINA APROVAÇÃO


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE

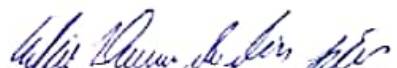
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DO EFLUENTE DE TANQUE SÉPTICO POR SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO EM ESCALA PILOTO

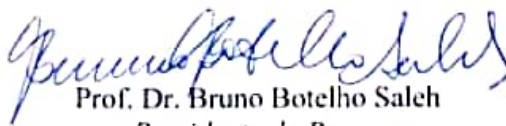
Autora: Marielle Vieira Felix
Orientador: Bruno Botelho Saleh

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade – Área
de concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2020.


Prof.ª Dr.ª Cecilia de Castro Bolina
Avaliadora externa
UFG / Jatai


Prof. Dr. Edio Damásio da Silva Júnior
Avaliador interno
IF Goiano / Rio Verde


Prof. Dr. Bruno Botelho Saleh
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”. Charles Chaplin

DEDICATÓRIA

Ao meu marido Pedro Augusto, pelo apoio de sempre e pela incansável compreensão e aos meus filhos Liz e Juca, por todo amor e sorrisos de sempre.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu a capacidade e a oportunidade de realizar este projeto.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram desde criança a seguir até o limite, agradeço por todo esforço dedicado para minha criação, pela paciência e compreensão em meus momentos de dificuldades.

Ao meu esposo por todo amor, dedicação e esforço com as idas e vindas a Rio Verde – GO, você foi essencial nessa minha conquista.

À minha família em geral, demonstrando carinho e orgulho, sempre me fazendo desejar ir mais longe;

Ao meu professor orientador, Bruno Botelho Saleh, que confiou e colaborou significativamente para a consecução deste trabalho.

Aos meus amigos, que me fortaleceram nessa caminhada com palavras de apoio e com momentos de descontração. Sempre agradeço a Deus pela oportunidade de permitir conhecer pessoas que me ensinam a ser uma pessoa melhor.

Aos meus companheiros de mestrado meus agradecimentos.

Aos alunos de Iniciação Científica, companheiros de coletas, sem os quais eu não teria conseguido: Laís Alves Soares, Luclécio Bastos e Aloisio.

Ao professor Dr. Edio Damásio, por nos conceder o espaço no seu projeto e por ajudar na revisão final dessa dissertação.

À professora Dra. Cecília de Castro Bolina que sempre me incentivou a entrar no mundo acadêmico e da pesquisa.

À FAPEG, pela oportunidade de bolsa;

Agradecimento especial ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, professores e coordenadores do PPGEAS. Obrigada pela oportunidade oferecida e por todos os ensinamentos.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Marielle Vieira Felix, nascida em 10 de outubro de 1983 na cidade de Goiânia, Goiás. Graduada em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica em 2016. Graduada em Sistemas de Informação pela FASAM - Faculdade Sul-Americana (2010), Pós-graduada em Projetos de Estruturas e Fundações pelo INCURSOS (2017). Ingressou no Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade (PPGEAS) em 2018/1, realizando a defesa de sua dissertação em fevereiro de 2020.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	14
ÍNDICE DE TABELAS	15
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	16
RESUMO	17
ABSTRACT.....	18
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Fossas sépticas	20
1.2 Pós-tratamentos de esgotos secundário/terciário de efluentes.....	22
1.2.1 Uso de Macrófitas Aquáticas para o tratamento de esgoto.....	22
1.3 Sistemas Alagados Construídos (SACs).....	25
1.3.1 Espécie a ser cultivada no sistema alagado construído de lagoa com planta aquática (SAC 1) - <i>Eichhornia crassipe</i> (Aguapés)	27
1.3.2 Espécie a ser cultivada no sistema alagado construído plantado com <i>Costus spicatus jacq.</i> , cana do brejo (SAC 2).....	30
2 OBJETIVOS.....	32
2.1 Geral.....	32
2.2 Específicos.....	32
3 CAPÍTULO I.....	33
RESUMO	33
ABSTRACT.....	34
3.1 INTRODUÇÃO.....	35
3.2 METODOLOGIA.....	36
3.3 CARACTERÍSTICAS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA	37
3.4 ESTAÇÃO PILOTO DE PÓS-TRATAMENTO.....	37
3.5 Plano amostral.....	45
3.6 Ensaios	Erro! Indicador não definido.
3.7 Análises estatísticas.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 Vazão.....	49
4.2 Análise dos dados	50
4.3 Considerações Finais	59
5 CONCLUSÕES.....	62
6 REFERÊNCIAS.....	63
7 TABELAS DE APÊNDICE	68
7.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS TANQUE SÉPTICO....	68

7.2	RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS SAC 1	69
7.3	RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS SAC 2	70
7.4	HISTÓRICO DE VAZÕES REGISTRADAS NO SISTEMA	71
7.5	REMOÇÕES REALIZADAS DAS PLANTAS (BIOMASSA) NO SISTEMA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Alternativas técnicas para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente.....	22
Figura 2 - Tipos de macrófitas aquáticas.....	23
Figura 3 - Tipos de Wetlands Construídas (SACs) propostos por Kadlec e Wallace	25
Figura 4 - Aspecto geral do aguapé (Eichhornia crassipes).....	27
Figura 5 - Cana-do-brejo (Costus spicatus Jacq.).....	31
Figura 6 - Esquema do funcionamento da estação piloto de tratamento de esgoto doméstico.	38
Figura 7 - Sistema existente. A - Tanque séptico; B - Tanque de reservação e bombeamento.	39
Figura 8 - Tratamento primário de tanque séptico seguida por tanque de bombeamento e de equalização.....	40
Figura 9 - Visão geral da estação piloto com tanque de aguapé, hidrômetro e registro de esfera destacados.....	40
Figura 10 - Sistema alagado construído fluxo superficial de lagoa de aguapés com vegetação flutuante seguido de Sistema alagado construído subsuperficial em fluxo vertical plantado com Cana do Brejo.....	41
Figura 11 – SAC 1 – Sistema alagado construído fluxo superficial de lagoa de aguapés.....	41
Figura 12 – SAC 2 subsuperficial em fluxo vertical plantado com cana-do-brejo.....	43
Figura 13 – Perfil longitudinal do SAC 2 plantado com cana-do-brejo.	44
Figura 14 – Planta baixa da distribuição do efluente via superficial no SAC.	44
Figura 15 - Pontos de coletas das amostras: Ponto 1 - Esgoto tratado pós-tanque séptico, Ponto 2 - Esgoto Tratado pelo SAC 1 e Ponto 3 - Esgoto Tratado pelo SAC 2.....	46
Figura 16 - Gráfico Boxplot comparando o A) DQO, B) Amônia, C) Nitrato e D) Nitrito entre os tratamentos.	53
Figura 17 - Resultado da análise da função discriminante dos parâmetros físico-químicos com os diferentes tratamentos.....	55
Figura 18 - Resultado da análise de componentes principais demonstrando a relação dos parâmetros físico-químicos distribuídos nos dois componentes.....	56
Figura 19 - Gráfico de erro comparando a eficiência dos parâmetros físico-químicos no SAC 1 com SAC 2.....	59
Figura 20 – Vista superior dos pontos de contribuição de esgoto, e medida aproximada do comprimento da tubulação de coleta do esgoto. Fonte: Google Earth.	60

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1: TDH – Tempo de detenção hidráulico para SACs de fluxo superficial livre	42
Equação 2: TDH – Tempo de detenção hidráulico para SACs subsuperficiais	43
Equação 3: Volume mínimo demandado.....	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos já realizados utilizando lagoas de aguapés e suas respectivas eficiências.	29
Tabela 2 - Parâmetros, valores adotados e calculados no dimensionamento do tanque séptico.	39
Tabela 3 - Dados Técnicos para dimensionamento SAC 1 – Lagoa de aguapés.* Dados obtidos entre agosto/2018 e julho/2019.	42
Tabela 4 - Dados Técnicos para dimensionamento SAC 2 plantado com cana-do-brejo. * Dados obtidos entre agosto/2018 e julho/2019.	45
Tabela 5 – Parâmetros e números de amostragem.	46
Tabela 6 – Vazão média antes e após a recirculação.	49
Tabela 7 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos.	50
Tabela 8 - Resultado da comparação dos parâmetros físico-químicos entre os tratamentos.	51
Tabela 9 - Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros físico-químicos.	54
Tabela 10 - Resultado da comparação da eficiência dos parâmetros físico-químicos entre o SAC 1 com SAC 2.	58

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de medida
%	Porcentagem	-
°C	Graus Celsius	-
Cm	Centímetros	-
cm ³	Centímetros Cúbicos	-
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mgL ⁻¹
DQO	Demanda Química de Oxigênio	mgL ⁻¹
G	Gramas	-
L	Litros	-
m ³	Metros Cúbicos	-
Mm	Milímetros	-
Mg	Miligramas	-
N ²	Nitrogênio	-
NH ₃	Amônia livre	-
NH ₄ ⁺	Amônia ionizada	-
NO ₂ ⁻	Nitrito	-
NO ₃ ⁻	Nitrato	-
pH	Potencial Hidrogeniônico	-
Q	Vazão	m ³ d ⁻¹
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico	Dias
Vol	Volume	m ³
O ₂	Oxigênio	-
ACP	Análise dos Componentes principais	-

RESUMO

FELIX, Marielle Vieira. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, fevereiro de 2020. **Análise da eficiência do tratamento do efluente de tanque séptico por sistema alagado construído em escala piloto.** Orientador: Bruno Botelho Saleh.

Partindo da preocupação com o destino das águas residuárias, e da falta de abrangência dos sistemas de tratamento eficientes no Brasil, viu-se na estação piloto de tratamento de esgoto doméstico composta por tanque séptico biodigestor seguido por sistema alagado construído formado por lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo, uma alternativa viável do ponto de vista técnico, reduzindo a quantidade de matéria orgânica e a poluição do solo através de tratamento biológico, principalmente em áreas rurais, ou em comunidades em que não há rede coletora. A proposta da pesquisa foi analisar a eficiência geral de remoção de alguns parâmetros e verificar se os efluentes finais atingem os padrões de lançamento das legislações federais, estaduais e municipais vigentes. Para isso, foi avaliada a associação de dois pós-tratamentos de tanque séptico, sendo o primeiro um sistema alagado construído formado por lagoa de aguapés - *Eichhornia crassipe* (SAC 1) seguido por um sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo - *Costus spicatus jacq.* (SAC 2). Realizaram-se coletas e análises laboratoriais do resíduo pós-tratado pelo tanque séptico e efluente tratado em ambos os SACs. Avaliou-se a eficiência percentual de remoção de poluentes de cada SAC. Além disso, fez-se a análise dos componentes principais (ACP) para se observar a relação entre os parâmetros físico-químicos no primeiro e segundo componente principal e a correlação dos parâmetros físico-químicos em cada tratamento. Houve forte correlação entre o nitrato e nitrito em todos os tratamentos. Para outras situações, as correlações foram moderadas, indicando pouca associação entre as variáveis estudadas. Não houve eficiência em remoção dos parâmetros nitrato e nitrito, em nenhum dos tratamentos. O SAC 2 apresentou melhores resultados na eficiência percentual de remoção de poluentes como a demanda química de oxigênio (DQO) tendo eficiência média de 50,86% entre SAC 1 e SAC 2, e a amônia teve eficiência média de 28,81% entre SAC 1 e SAC 2.

Palavras-chave: Esgoto doméstico; wetlands construídas; alagados construídos.

ABSTRACT

FELIX, Marielle Vieira. Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, ebruary 2020. **Effluent treatment efficiency analysis of septic tank by flood system built in a pilot scale.** Adviser: Bruno Botelho Saleh.

Based on the concern with the wastewater destination, and the coverage lake of efficient treatment systems in Brazil, it was found in the pilot sewage treatment station composed of a biodigester septic tank followed by a flooded system formed by a water hyacinth pond and built flooded system planted with swamp cane, a viable alternative, both technically and economically, reducing the organic matter amount and soil pollution with a biological agent, especially in rural areas, or in communities where there is no network collector. The research proposal was to analyze the general efficiency of removing some parameters and check if the final effluents reach the effluent discharge standards of the current federal, state and municipal laws. For this purpose, the association of two septic tank after-treatments was evaluated, the first being a constructed flooded system formed by water hyacinth pond - *Eichhornia crassipe* (SAC 1) followed by a constructed flooded system planted with Cana do Brejo - *Costus spicatus* jacq. (SAC 2). Collections and laboratorial analyzes of the powders treated by the septic tank and effluent treated in both SACs were carried out. The pollutant removal percentage efficiency from each SAC was evaluated. In addition, the principal components analysis (PCA) was performed to observe the relationship between the physical-chemical parameters in the first and second main components and the physical chemical parameters correlations in each treatment. There was a strong correlation between nitrate and nitrite in all treatments. For other situations, the correlations were moderate, indicating little association between the studied variables. There was no efficiency in removing the parameters nitrite and nitrate, in any of the treatments. SAC 2 showed better results in the removing pollutants percentage efficiency such as chemical oxygen demand (COD) with an average efficiency of 50.86% between SAC 1 and SAC 2, and Ammonia which had an average efficiency of 28.81% between SAC 1 and SAC 2.

Keywords: Domestic sewage; built wetlands; wetlands built.

1 INTRODUÇÃO

Visando garantir a qualidade ambiental adequada aos efluentes líquidos domésticos ou industriais, faz-se necessário o emprego de mecanismos e ou tecnologias de tratamento, que removam as substâncias indesejadas e em excesso, que oferecem riscos à saúde humana (ARANTES, 2018).

Levando em conta os custos necessários nas obras e construções de saneamento, ainda é muito baixo no Brasil o número de municípios que possuem sistemas completos de esgotamento sanitário contemplando a rede coletora e tratamento, além do que muitos dos sistemas existentes atendem apenas a uma parcela destas cidades (FUNASA, 2015). Dessa forma, faz-se necessário o estudo e aplicação de novos sistemas com menores custos e altas eficiências de tratamento.

De acordo com Jordão e Pessoa (2011), uma opção de tratamento economicamente viável, é o sistema designado como tanque séptico, que consiste basicamente em um dispositivo de tratamento de esgotos destinado a receber a contribuição de um ou mais domicílios e com capacidade de dar aos esgotos um grau de tratamento compatível com sua simplicidade e custo.

Considerando as altas cargas poluidoras existentes nos efluentes domésticos, e sabendo-se o "tanque séptico" não possui eficiência superior a 30 - 40% na remoção de matéria orgânica, deve haver complementação do tratamento sendo necessário o emprego de outra tecnologia, complementar aos sistemas primários compostos por tanque ou tanque séptico. Segundo Quege (2013), uma alternativa como sistema complementar de tratamento, são os sistemas alagados construídos, que tratam o esgoto eficientemente e com custos mais baixos em sua instalação e operação.

Segundo Costa et al. (2018), os sistemas alagados construídos (SAC's) são tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos encontrados em ecossistemas das várzeas naturais, podendo ser classificados como sistema natural. E, quando combinados a sistemas de polimento com vegetação flutuante, como o águapé, possuem altas eficiência para remoção de nutrientes em excesso como o fósforo e nitrogênio, presentes no esgoto (CUNHA, 2006).

A utilização do tanque séptico biodigestor seguida por sistema alagado construído formado por lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo pode ser uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico como econômico, para o tratamento de esgoto doméstico, reduzindo a quantidade de matéria

orgânica e a poluição do solo com um agente biológico, principalmente em áreas rurais, ou em comunidades em que não há rede coletora.

De modo a preservar a saúde pública e ambiental, a higiene, o conforto e a segurança dos habitantes de áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto, a ABNT trouxe por meio das NBR 7229/97 e NBR 13969/97 as condições para instalação e operação de unidades de tanque séptico e sistemas como forma de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos, oferecendo assim o devido tratamento às águas residuárias.

As hipóteses da pesquisa são que o sistema de pós tanque séptico seguido por sistema alagado construído de lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo se constitui como método de tratamento biológico de baixo custo e eficiência satisfatória com esgotos domésticos (EMBRAPA, 2008).

Com uma estação piloto de tratamento de esgoto doméstico, pós tanque séptico seguido por sistema alagado construído de lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com Cana-do-brejo, seria eficiente para atender os padrões de lançamento de efluentes das legislações federais, estaduais e municipais vigentes?

1.1 Fossas sépticas

A fossa séptica é considerada uma alternativa viável para o tratamento primário de águas residuárias provenientes de despejos domésticos de cozinhas, lavatórios, vasos sanitários, lavanderias, banheiros e ralos de propriedades rurais ou ainda de localidades não servidas por redes de coleta pública de esgotos, que são instalações que necessitam de sistema local de tratamento de esgotos eficiente para a readequação dos parâmetros físico-químicos e biológicos dos efluentes que possuem alta taxa de matéria orgânica e nutrientes, a fim de alcançar o padrão de lançamento dos corpos receptores. (Von Sperling, 2014).

Segundo Von Sperling (2014, p.261) “o tratamento preliminar objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica”. Os sistemas de tratamento primário de efluentes denominados “fossa séptica ou tanque séptico”, conforme Jordão e Pessoa (2014), objetivam a remoção dos poluentes através de processos físico-químicos e biológicos, para evitar a contaminação do solo e da água, encontrada nos lençóis freáticos. A faixa provável de eficiência de remoção dos parâmetros físicos, químicos e

biológicos, do tanque séptico segundo Von Sperling (2014) são de 30 a 40% para DQO, 35 a 60% para DBO, 60 a 70% de sólidos em suspensão e de 30 a 40% para coliformes termotolerantes, não removendo óleos e graxas e sólidos sedimentáveis. Logo o tratamento do esgoto é apenas parcialmente eficiente para a remoção da matéria orgânica, não atendo os padrões estabelecidos pela Resolução 430/2011 do CONAMA, a Resolução 355/2017 do CONSEMA, e lei estadual de controle de poluição (decreto estadual nº 1.745), que retrata a necessidade da adição de um pós-tratamento.

Quando se tem grande densidade de fossas sépticas, as concentrações de nitrato podem atingir níveis muito acima daqueles recomendados pela OMS e disciplinados pelo Ministério da Saúde para águas potáveis. O nitrato é formado por uma reação sequencial, através da oxidação da amônia em nitrito e, do nitrito em nitrato. Concentrações de nitrato superiores a 10 mgL^{-1} podem causar a metemoglobinemia, podendo trazer graves consequências para a saúde — inclusive morte, principalmente em lactentes. Utilizando se fossas com infiltração dos efluentes no solo, há sempre o risco de contaminação dos aquíferos sob o terreno, qualquer que seja o nível de tratamento e a qualidade da obra ou da operação. O processo anaeróbio não remove o nitrogênio do esgoto e não há diferença significativa quanto à remoção do nitrogênio entre uma fossa rudimentar ou um tanque séptico. (PROSAB, 2009).

Levando em conta o índice de atendimento de água tratada por regiões e considerando a lentidão da implantação dos serviços públicos de tratamento de efluente versus o grande crescimento populacional, os sistemas de tratamento por tanque séptico são uma solução viável.

Desta forma, a NBR 7.229/1997 fixa as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de fossas sépticas, incluindo tratamento e disposição de efluentes e lodo sedimentado. De acordo com a NBR 7.229 (ABNT, 1997) ainda, tanque séptico é uma unidade preliminar, de característica prismática retangular ou cilíndrica, pré-moldada ou construída em alvenaria, com o objetivo de atingir o tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão. No entanto, viu-se a necessidade de elaboração de outra norma, a NBR 13.969/91997, que dispõe sobre alternativas técnicas consideradas viáveis para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente.

1.2 Pós-tratamentos de esgotos secundário/terciário de efluentes

Além dos benefícios já citados, os sistemas de pós-tratamento são fundamentais para a adequação da disposição dos efluentes segundo a legislação ambiental aplicável. Existem vários sistemas que se adaptam aos mais diversos graus de pós-tratamento.

A norma brasileira NBR 13.969 (ABNT, 1997) foi elaborada com o intuito de oferecer alternativas técnicas consideradas viáveis para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente, sugerindo algumas alternativas de pós-tratamentos de esgotos e disposição conforme ilustra a Figura 1.

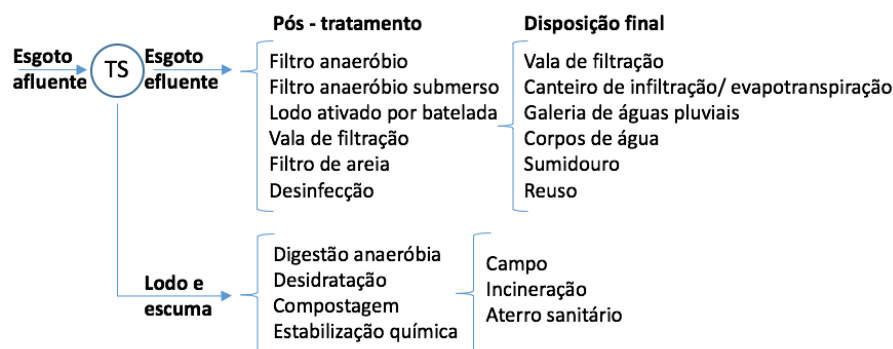


Figura 1 - Alternativas técnicas para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente.

Fonte: O autor - baseada na NBR 13969 (ABNT, 1997).

Dentre as alternativas citadas pela NBR 13969/1997 que resultam, ainda, na emissão do efluente tratado que deve ser disposto em algum corpo receptor a NBR também cita o uso de "Lagoas com plantas" como pós-tratamento de esgoto de tanque séptico, apesar de não estar destacado na figura, a norma compara a eficiência de remoção dos poluentes entre os tipos de tratamentos alternativos, em que é apresentada uma eficiência média de remoção na lagoa com plantas de 70 a 85% de DQO e 50 a 80% de Nitrito.

1.2.1 Uso de Macrófitas Aquáticas para o tratamento de esgoto

Para algumas propriedades rurais e residências que ainda não são munidas de sistema de esgotamento doméstico (rede, coleta, tratamento e disposição final adequada), o uso de macrófitas aquáticas como forma de tratamento do esgoto doméstico já é uma realidade alcançável e com inúmeras vantagens como: plantas acessíveis de serem encontradas em lagos, represas e rios; fácil adaptação ao ambiente poluído; baixo custo; alta produtividade da biomassa, dentre outras. No entanto, são imprescindíveis pesquisas contínuas referentes às espécies utilizadas no tratamento dos diversos efluentes.

Martin et al. (2008) em seu estudo retrata as características das macrófitas aquáticas utilizadas no tratamento do esgoto sanitário, podendo destacar as macrófitas aquáticas emersas, que são enraizadas, porém com as folhas fora d'água; as macrófitas aquáticas emersas, que são enraizadas, porém com as folhas fora d'água; as macrófitas aquáticas com folhas flutuantes, enraizadas e com folhas flutuando na superfície da água; as macrófitas aquáticas submersas enraizadas, crescendo totalmente submersas na água; as macrófitas aquáticas submersas livres, que permanecem flutuando submergidas na água; e as macrófitas aquáticas flutuantes na superfície da água. Nesse sentido, a Figura 2 descreve os tipos de macrófitas existentes.

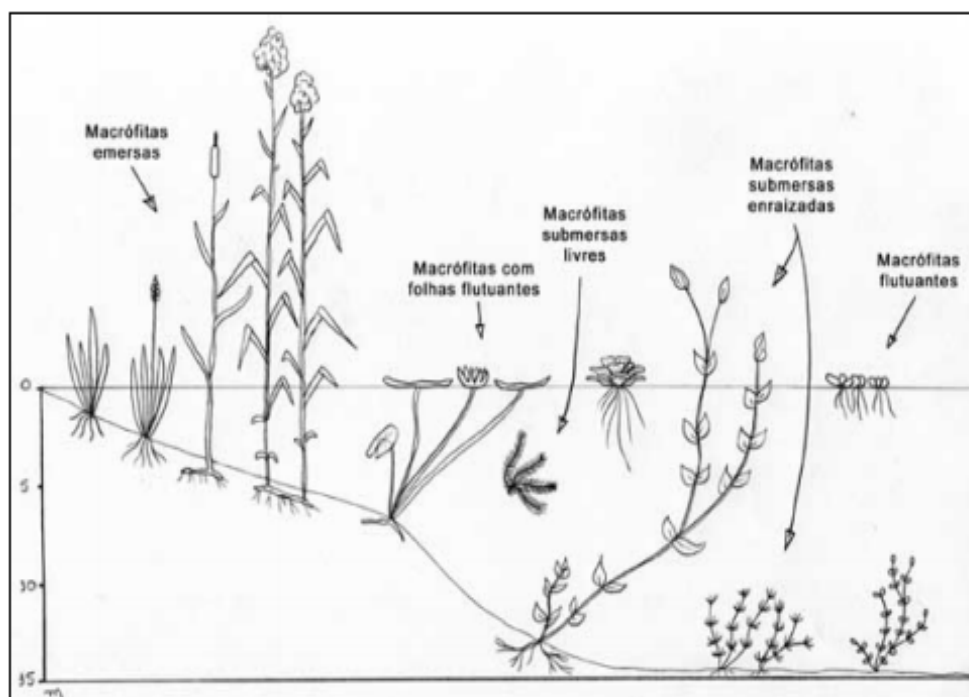


Figura 2 - Tipos de macrófitas aquáticas
Fonte: LEWIS, 1995

Inúmeros parâmetros físico-químicos e biológicos são reduzidos por meio de agentes fitorremediadores (espécies de plantas aquáticas), tais como: sólidos em suspensão, turbidez, bactérias, metais pesados, nutrientes e variadas substâncias inorgânicas e orgânicas tóxicas (como por exemplo, agrotóxicos, pesticidas, hormônios e antibióticos) que geralmente são encontrados em efluentes (LEWIS, 1995).

Matos (2017), atribui às plantas parcela importante de remoção de nutrientes/poluentes, simplesmente pelo fato de que, para crescerem nos sistemas alagados construídos (SACs), terão de absorver esses elementos ou suas formas químicas. Citadas e discutidas a seguir:

- Aumento da retenção de sólidos da água residuária do sistema – raízes ou rizomas proporcionam melhor distribuição e redução na velocidade do escoamento da água residuária.
- Facilitação das trocas gasosas no meio – As macrófitas podem facilitar a entrada de O₂, via aerênquima (córtex da raiz), e a saída de CH₄ (gás metano), CO₂ (dióxido de carbono), N₂O (óxido nitroso) e H₂S (ácido sulfídrico) do sistema, proporcionando a decomposição aeróbia do sistema, bem como desenvolvimento de bactérias nitrificantes.
- Absorção de nutrientes – A absorção de nutrientes e poluentes presentes nas águas residuárias em tratamento pelas plantas proporciona depuração da água residuária e evita ou reduz o acúmulo de nutrientes/poluentes no meio.
- Meio suporte para o desenvolvimento de microrganismos – Raízes, rizomas e colmos também constituem meio suporte para o desenvolvimento do biofilme, constituído por bactérias aeróbias, anaeróbias, facultativas, protozoários e outros microrganismos, e quanto maior for a disponibilidade de meio suporte para aderência do biofilme melhor será o tratamento da água residuária.
- Diversificação da microbiota no meio – Plantas liberam compostos orgânicos (exsudatos: açúcares, aminoácidos, vitaminas, etc) que favorecem o desenvolvimento de diversificado grupo de microrganismos.
- Remoção de patógenos – É decorrente do estímulo proporcionado pelas plantas à ação de bacteriófagos (protozoários), de vírus que parasitam as bactérias e pela exsudação de alguns compostos orgânicos, com poder bactericida.
- Suprimento de carbono biodegradável para que ocorra o processo de desnitrificação – O material disponibilizado na decomposição e os exsudatos liberados pelas raízes são fontes de carbono orgânico biodegradável para microrganismos desnitrificantes.
- Melhoria nas condições hidrodinâmicas do sistema – As plantas podem promover a desobstrução dos poros do substrato em decorrência do efeito “braço de alavanca” efetuado pelos ventos.
- Habitat para vida selvagem e agradável aspecto estético ao sistema de tratamento – A presença de plantas por razões óbvias, proporciona valorização estética, visualmente mais agradável, evitando exposição da água residuária aplicada, além disso cria um ambiente atrativo para pássaros e outros pequenos animais.

1.3 Sistemas Alagados Construídos (SACs)

Crites et al. (2014) citam que wetlands (SACs), ou áreas alagadas, compõem uma das três categorias (além da terrestre e da aquática) de sistemas naturais de tratamento de águas residuárias. E definem nas como “áreas onde o lençol freático está no nível ou acima da superfície do solo, por tempo suficiente a manter, tanto as condições de solo saturado, como o crescimento de vegetação própria desses ambientes”. Tais autores citam que a capacidade de purificação de águas residuárias desses sistemas já foi verificada em diversas configurações geográficas, incluindo “sistemas especialmente construídos para tratamento de águas residuárias”, aos quais se denomina Sistemas Alagados Construídos.

Kadlec e Wallace, 2009, classificam de maneira mais simples os SACs (Sistemas Alagados Construídos), que combinam os tipos (superficial e subsuperficial) e direção (horizontal e vertical) de fluxo, aos tipos de plantas utilizadas (flutuantes, submersas e emergentes), conforme a Figura 4. Os autores também citam o tipo híbrido, embora não esteja explicitado no esquema contido na Figura 3, os quais combinam diferentes tipos de sistemas alagados construídos entre si, originando os SACs híbridos, a fim de se utilizar as vantagens específicas que surgem de tais combinações.

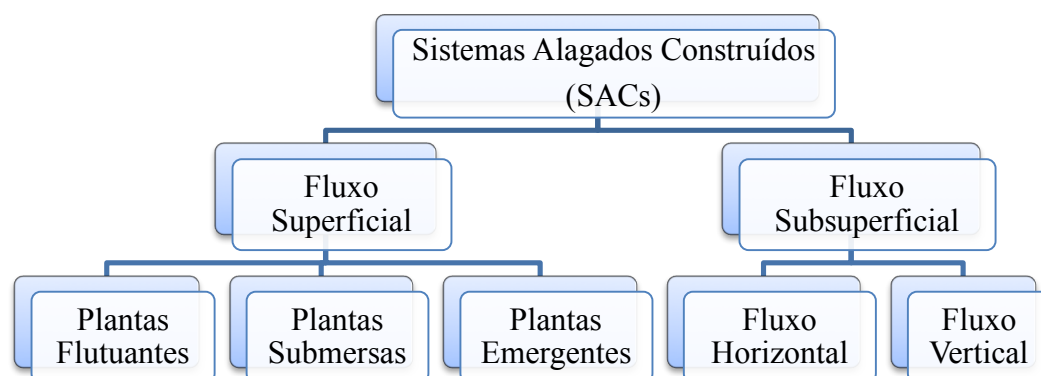


Figura 3 - Tipos de Wetlands Construídas (SACs) propostos por Kadlec e Wallace (2009).
Fonte: Própria autora.

O tipo “híbrido” pode ser exemplificado no caso da remoção de nitrogênio estudada por Vymazal (2007). Os processos responsáveis pela remoção diferem, em magnitude, em cada tipo de SAC isolado. Os SACs de estágio único não conseguem alcançar altas remoções de N-total pela sua inabilidade para prover condições aeróbias e anaeróbias ao mesmo tempo. Enquanto os SACs de fluxo vertical removem com sucesso o N-amoniacal, a desnitrificação se torna muito limitada. Já as de fluxo horizontal provêm

boas condições para desnitrificação, mas ocorre o contrário com a nitrificação. Daí a necessidade do tipo “híbrido”.

Recentemente, Fonder e Headley (2013) propuseram uma nova forma de classificação dos SACs (sistemas alagados construídos), baseados não somente nas características hidráulicas do meio filtrante (direção de fluxo e grau de saturação), mas também nas características vegetativas. Os autores verificaram a ocorrência de sete tipos principais de sistemas, sendo três de escoamento superficial e quatro de escoamento subsuperficial.

Para SACs de fluxo horizontal subsuperficial, Vymazal (2009) cita que, até então, a modalidade vinha sendo utilizada principalmente para tratamento de esgoto doméstico ou sanitário e que já abrangia remoção de fármacos, hormônios e detergentes.

A respeito do tipo de vegetação utilizado nos sistemas alagados construídos, Moraes (2012) e Silveira (2015) classificam as espécies da seguinte forma:

- 1) macrófitas emergentes: crescem fixadas ao substrato e a folhagem principal fica em contato com o ar (*Phragmites australis*, *Typha domingensis*, *Typha latifolia*, *Schoenoplectus lacustris*, *Carex rostrata*, *Cyperus papyrus*, entre outras);
- 2) macrófitas flutuantes: crescem fixadas (macrófitas de folhas flutuantes) ou não (macrófitas livres flutuantes) ao substrato e a folhagem principal flutua na superfície da água (*Eichornia crassipes*, *Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia* spp., *Nymphaea odorata*, entre outras), e;
- 3) macrófitas submersas: ocorrem em diferentes profundidades da zona fótica, sendo fixas ou não ao substrato (*Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, entre outras).

Para Matos (2017) esses sistemas são geralmente arranjos na sequência do tratamento primário ou primário/secundário da água residuária, que podem ser decantodigestores tipo tanque séptico, reatores anaeróbicos compartimentados e lagoas anaeróbicas. O autor cita exemplos encontrados na França, onde os SAC's do tipo EV (escoamento vertical) têm sido utilizados com sucesso, no tratamento de esgoto sanitário bruto e como sistemas de estabilização e desaguamento de lodo biológico.

O dimensionamento deve ser diferenciado entre o SAC de fluxo horizontal que continuamente é alimentado com esgoto e o SAC de fluxo vertical, que deve ser alimentado em intervalos, normalmente realizado com uma bomba. A distribuição de esgoto, assim como o uso de volume de filtro são muito mais eficientes no fluxo vertical, resultando em necessidade de área muito menor. A alimentação em intervalos possibilita a entrada de certas quantidades de ar (oxigênio) e entre os intervalos, ocorre certa secagem da área de entrada, fatores esses que também aumentam a eficiência de processos biológicos e diminuem o perigo de colmatção. Por essas importantes vantagens se recomenda a implantação de SAC de fluxo vertical sempre que possível. (HOFFMANN et. al, 2005).

As plantas crescem no meio suporte e absorvem nutrientes ao mesmo tempo em que mantêm a permeabilidade do solo, por meio de seu sistema radicular. Diversas espécies de plantas de origem terrestre que se adaptam a ambientes aquáticos saturados sob condições anaeróbias, podem ser usadas em sistemas alagados construídos.

1.3.1 Espécie cultivada no sistema alagado construído de lagoa com planta aquática (SAC 1) - *Eichhornia crassipes* (Aguapés)

O sistema alagado construído de lagoa baseada em macrófitas aquáticas é considerado um sistema de pós-tratamento de efluentes domésticos e industriais, e comumente a espécie de *Eichhornia crassipes* (aguapés) (Figura 4) é utilizada para a depuração dos despejos e vêm apresentando bons resultados na remoção de cargas poluentes (ANDRADE, TAVARES e MAHLER, 2007).



Figura 4 - Aspecto geral do aguapé (*Eichhornia crassipes*).

Fonte: Pompêo (2017).

O aguapé se desenvolve aceleradamente em regiões de clima quente, em que predominam represas, lagos e rios com cargas de poluição oriundas de despejo de esgoto sanitário. A sua dinâmica de crescimento é compreendida pela inexistência de limitações de nutricionais, especialmente fósforo e nitrogênio, e diante de tal fato, explica-se a taxa de crescimento de sua biomassa em 5% ao dia em condições ótimas (ANDRADE, TAVARES e MAHLER, 2007).

É considerada uma das dez plantas mais prolíficas e produtivas do mundo. Por esse motivo, ambientes aquáticos de vários países têm sido invadidos por essa planta, causando problemas econômicos expressivos. Plantas de aguapé, entretanto, também são excelentes purificadoras de águas contaminadas e, nas últimas duas décadas, têm sido amplamente utilizadas no tratamento de águas residuais domésticas e industriais (HUNT & POACH, 2001).

Embora seja inconveniente o crescimento exponencial das macrófitas, não se pode focar apenas em aspectos negativos dessas plantas. Esse elevado potencial de crescimento, pode ser usado de forma muito positiva e controlada na remoção de nutrientes, controle de eutrofização, e na geração de biomassa (POMPÊO, 2017).

Ainda de acordo com os autores Andrade, Tavares e Mahler (2007), a planta aquática em questão possui sistema radicular que, em meio aquático ou terrestre, funciona como um filtro mecânico, a qual retém (adsorve) material particulado orgânico e mineral, elementos químicos minerais dos quais se nutre (como por exemplo, fósforo, nitrogênio e potássio), além de poluentes, tais como herbicidas, fenóis, cianetos e ortofosfatos. Desta forma, o aguapé cria um ambiente rico em atividades de fungos e bactérias, e passa a ser excelente agente despoluidor, reduzindo a taxa de carga orgânica, e conseqüentemente, a turbidez e os coliformes. Mas, a taxa de remoção destes poluentes varia em conjunto com o tempo de resistência da água, que ocupa a área de influência da rizosfera da planta, da densidade de aguapés na lagoa, das condições climáticas e da taxa de crescimento da biomassa.

A tabela 1 apresenta alguns trabalhos já realizados com a utilização de lagoa de aguapés como pós-tratamento e as eficiências alcançadas. O trabalho de Sekomo et al. (2011) mostra que aguapé não se limita somente a remoção de nutrientes comuns em efluentes domésticos, tem resultados de remoção média de metais pesados em lagoas de aguapé mostrando, e o aguapé associado com outro sistema de tratamento pode atingir altas eficiências abrangendo grande variedade de poluentes.

Tabela 1 - Trabalhos já realizados utilizando lagoas de aguapés e suas respectivas eficiências.

Parâmetros físico - químicos	Sólidos Totais	Fósforo	Nitrogênio	Potássio	Colif. Fecais	DBO ₅
Costa, 1997 Lagoa de aguapés ¹	38%	35%	45%	30%	97%	40%
Metais Pesados	Cádmio (Cd)	Cobre (Cu)	Chumbo (Pb)	Zinco (Zn).	-	-
Sekomo et al. (2011)	61%	59%	49%	42%	-	-

¹ lagoa de aguapés como tratamento terciário de dejetos suínos e efluentes originários de lagoas facultativas.

Fonte: própria autora.

Pompêo (2017) cita que a maior crítica feita ao uso das macrófitas, é que ocorre apenas uma transferência dos poluentes das águas residuárias para as plantas por causa de sua grande capacidade assimilatória. Porém, ainda segundo esse autor, todo sistema de tratamento que pretende ser eficiente tem que ser bem planejado e manejado, não somente deixando as plantas se desenvolverem de forma desenfreada. Sendo esse planejamento e manejo, o constante acompanhamento do desenvolvimento da planta, e a destinação da biomassa produzida após o tratamento.

Periodicamente, há necessidade de colheita de parte das plantas para retirar os poluentes na biomassa ainda viva, além de estimular o crescimento das remanescentes no sistema (POMPÊO, 2017). Segundo Konnerup et al. (2009), a falta de remoção periódica das macrófitas, pode acarretar posteriormente na devolução dos nutrientes absorvidos pela planta, durante a decomposição de sua biomassa. Ainda segundo esse autor, não é possível ter precisão no tempo necessário para a retirada das plantas mais velhas, pois cada espécie tem ciclo de desenvolvimento diferente, sendo diretamente afetado pela temperatura, incidência solar e concentração dos nutrientes no efluente.

Na maioria dos trabalhos que utilizam aguapés para remoção de nutrientes, utilizam como critério de remoção da biomassa o aspecto visual. Se a biomassa gerada no tanque estiver densa o suficiente para causar sombra em outra parte da vegetação, já é um critério para retirada/remoção parcial das plantas (KONNERUP et al., 2009). Outro critério é a observação visual da saúde das plantas, se algum sinal como, manchas amarelas nas folhas forem detectados, a planta deve ser retirada. Quanto a quantidade a ser colhida, Kawai & Grieco (1983) recomendaram em seus estudos com lagoas de

aguapé, o máximo de 70% de área superficial coberta pela macrófita. Logo 30% da área superficial pode ser considerado o limite inferior de colheita e adicionais podem ser colhidos se forem detectados sinais de mortalidade das macrófitas. Apesar dessa informação ser de certa forma imprecisa em relação ao tanque de aguapé, é uma afirmação válida quanto ao crescimento excessivo das plantas, podendo ocasionar condições ao tratamento no tanque caso toda a superfície esteja coberta pela planta.

Como a proposta é de uma alternativa sustentável e de baixo custo, deve-se pensar em maneiras práticas e rentáveis para uso dessa biomassa tanto para zonas rurais e zonas urbanas. Rometelli (1983) cita que ao fim do ciclo de uso do aguapé, ele tem incorporado em sua biomassa vestígios do esgoto, ou seja, concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo que podem ter variados usos. Entre outros, fertilizantes, ração animal e biogás, sendo o primeiro com o uso mais pertinente nesse caso.

Segundo Wolverton e McDonald (1979) a compostagem aeróbica do aguapé pode ser feita em pilhas de 1,8 a 2,4 metros. O tempo de composição e estabilização total é de 3 a 6 meses dependendo da temperatura e umidade do local, assim como o número de vezes que a pilha é revolvida. O resultado final é um fertilizante orgânico com as propriedades higroscópicas do aguapé, portanto um suplemento bem adequado a solos arenosos.

1.3.2 Espécie a ser cultivada no sistema alagado construído plantado com *Costus spicatus jacq.*, cana do brejo (SAC 2)

A espécie escolhida para o SAC 2 (Sistema Alagado Construído) foi a cana-do-brejo (*Costus spicatus Jacq.*), Figura 5, também conhecida como cana-de macaco, cana-do-mansa, caatinga, cana-branca, cana-do-mato, é nativa em quase todo o Brasil, principalmente em áreas de Mata Atlântica e Amazônica, onde é tradicionalmente utilizada como medicinal e ornamental, pela sua ação diurética e beleza. É uma planta perene, rizomatosa, ereta, não ramificada com um a dois metros de altura. Possui folhas alternas, membranáceas e espiraladas em relação ao ramo. As flores, brancas, amarelas ou róseas, são reunidas em inflorescências terminais, vistosas e densas (EMBRAPA, 2018).



Figura 5 - Cana-do-brejo (*Costus spicatus* Jacq.)
Fonte: Própria autora (2018).

As espécies de macrófitas mais frequentemente utilizadas para este caso são as emergentes: taboa (*Typha angustifolia* L. ou *Typha latifolia*), junco (*Juncus spp* e *junco ingens*), caniço (*Phragmites spp*), *Schoenoplectus validus*, bunho (*Carex spp*), *Scirpus lacustris* L., *Eleocharis spp* e lírios-do-charco ou lírio-dos-pântanos (*Íris pseudocorus* L.) (SILVA, 2007).

Além de uma série de espécies vegetais de interesse ornamental pode ser adaptada ao sistema de pós-tratamento de esgotos dos quais podem ser citadas: *Cyperus papyrus* (papiro), *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite), *Canna x Generalis* (biri), *Cyperus isocladius* (minipapiro), *Alpinia purpurata* (alpínia), *Alpinia zerumbet variegata* (alpínia concha listrada), *Zingiber spectabile* (gingibre ornamental), *Agapanthus africanus* (agapanto), *Dietes bicolor* (moréia), *Heliconia psittacorum* (helicônia-papagaio), *Neomarica caerulea* (falso íris), *Nelumbo nucifera* (flor de lótus).

Um sistema alagado construído e povoado com a macrófita emergente *Juncus sp.* reduziu em 87% a concentração de nitrogênio total (NKT, 7,6 mg L⁻¹) do efluente doméstico (SOUZA et al., 2000). Macrófitas emergentes geralmente apresentam elevada eficiência na remoção de nutrientes do efluente, entretanto requerem maior atenção no manejo do sistema pelo fato de estarem fixadas ao substrato (POMPÊO, 2008).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo estudar a eficiência de pós-tratamento de esgoto doméstico em uma estação piloto de tratamento, pós-tanque séptico seguido por dois sistemas alagados construídos um de lagoa de aguapés e outro plantado com cana-do-brejo.

2.2 Específicos

- Comparar as eficiências de tratamento entre os sistemas, sendo estes: pós-tanque séptico, SAC 1 (sistema alagado construído de lagoa de aguapés) e SAC 2 (sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo);
- Determinar qual sistema há melhores condições operacionais para remoção dos poluentes e carga orgânica em avaliação.

3 CAPÍTULO I

(Normas de acordo com a Revista "Sanitary Engineering Journal")

Análise de eficiência de tratamento de efluente de tanque séptico por sistema alagado construído em escala de piloto.

Marielle Vieira Felix. Engenheira Civil. Docente. marielle.felix@gmail.com

Bruno Botelho Saleh. Engenheiro agrônomo. Docente. saleh.rv@gmail.com

RESUMO

Com o intuito de garantir a qualidade ambiental adequada aos efluentes líquidos produzidos via doméstica ou industrial, faz-se necessário o emprego de mecanismos e ou tecnologias de tratamento, que removam as substâncias indesejadas e em excesso, que oferecem riscos à saúde humana. A estação piloto de tratamento de esgoto é uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico como econômico, reduzindo a quantidade de matéria orgânica e a poluição do solo com agente biológico, principalmente em áreas rurais, ou em comunidades em que não há rede coletora. A pesquisa analisou a eficiência geral de remoção de alguns parâmetros e verificou se os efluentes finais atingem os padrões de lançamento de efluentes das legislações federais, estaduais e municipais vigentes. Foi avaliada a associação de dois pós-tratamentos de tanque séptico, sendo o primeiro um sistema alagado construído formado por lagoa de aguapés (SAC 1) seguido por um sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo (SAC 2). Realizaram-se coletas e análises laboratoriais do resíduo bruto e efluente tratado em ambas os SACs. Avaliou-se a eficiência percentual de remoção de poluentes de cada SAC. Além disso, fez-se a análise dos componentes principais (ACP) e a correlação dos parâmetros físico-químicos em cada tratamento. Houve forte correlação entre o nitrato e nitrito em todos os tratamentos. Para outras situações, as correlações foram moderadas, indicando pouca associação entre as variáveis estudadas. Não houve eficiência na remoção dos parâmetros nitrato e nitrito, em nenhum dos tratamentos. O SAC 2 apresentou melhores resultados na eficiência percentual de remoção de poluentes como a demanda química de oxigênio (DQO) tendo eficiência média de 50,86% entre SAC 1 e SAC 2, e a amônia que teve uma eficiência média de 28,81% entre SAC 1 e SAC 2.

Palavras-chave: Esgoto doméstico; wetlands construídas; alagados construídos.

ABSTRACT

In order to ensure adequate environmental quality for liquid effluents produced by domestic or industrial use, it is necessary to use treatment mechanisms and or technologies, which remove unwanted and excess substances, which had risks to human health. The pilot sewage treatment plant is a viable alternative, both technically and economically, reducing the organic matter amount and soil pollution with a biological agent, especially in rural areas, or in communities where there is no collection network. The research analyzed the general efficiency of removing some parameters and verified if the final effluents reach the effluent discharge standards of the current federal, state and municipal laws. The association of two septic tank post-treatments was evaluated, the first being a constructed flooded system formed by water hyacinth pond (SAC 1) followed by a constructed flooded system planted with Cana do Brejo (SAC 2). Collections and laboratorial analyzes of the raw waste and effluent treated in both SACs were carried out. The pollutant removal percentage efficiency from each SAC was evaluated. In addition, the principal components analysis (PCA) and the physical and chemical parameters correlations in each treatment were performed. There was a strong correlation between Nitrate and Nitrite in all treatments. For other situations, the correlations were moderate, indicating little association between the studied variables. There was no efficiency in removing the Nitrite and Nitrate parameters in any of the treatments. SAC 2 showed better results in the pollutant removal percentage efficiency, chemical oxygen demand (COD) and Ammonia.

Keywords: Domestic sewage; built wetlands; wetlands built.

3.1 INTRODUÇÃO

Visando garantir a qualidade ambiental adequada aos efluentes líquidos domésticos ou industriais, faz-se necessário o emprego de mecanismos e ou tecnologias de tratamento, que removam as substâncias indesejadas e em excesso, que oferecem riscos à saúde humana (ARANTES, 2018).

Levando em conta os custos necessários nas obras e construções de saneamento, ainda é muito baixo no Brasil o número de municípios que possuem sistemas completos de esgotamento sanitário contemplando a rede coletora e tratamento, além, que muitos dos sistemas existentes atendem apenas a uma parcela destas cidades (FUNASA, 2015). Dessa forma, faz-se necessário o estudo e aplicação de novos sistemas com menores custos e altas eficiências de tratamento.

De acordo com Jordão e Pessoa (2011), uma opção de tratamento economicamente viável, é o sistema designado como fossa ou tanque séptico, que consiste basicamente em um dispositivo de tratamento de esgotos destinado a receber a contribuição de um ou mais domicílios e com capacidade de dar aos esgotos um grau de tratamento compatível com sua simplicidade e custo.

Considerando as altas cargas poluidoras existentes nos efluentes domésticos, faz-se necessário o emprego de outra tecnologia de tratamento complementar aos sistemas primários compostos por tanque ou tanque séptico. Segundo Quege (2013), uma alternativa como sistema complementar de tratamento são os sistemas alagados construídos, que tratam o esgoto eficientemente e com custos mais baixos em sua instalação e operação.

Segundo Costa et al. (2018), os sistemas alagados construídos (SAC's) são tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos encontrados em ecossistemas das várzeas naturais, podendo ser classificados como sistema natural. E, quando combinados aos sistemas de polimento com vegetação flutuante, como o aguapé, possuem altas eficiência para remoção de nutrientes em excesso, como o fósforo e nitrogênio, presentes no esgoto (CUNHA, 2006).

A utilização do tanque séptico biodigestor seguido por sistema alagado construído e formado por lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo podem ser alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico como econômico, para o tratamento de esgoto doméstico, reduzindo a quantidade de matéria orgânica e a poluição

do solo com agente biológico, principalmente em áreas rurais, ou em comunidades onde não há rede coletora.

De modo a preservar a saúde pública e ambiental, a higiene, o conforto e a segurança dos habitantes de áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto, a ABNT trouxe por meio das NBR 7229/97 e NBR 13969/97, as condições para instalação e operação de unidades de tanque séptico e sistemas, como forma de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos, oferecendo assim o devido tratamento às águas residuárias.

As hipóteses da pesquisa são que a remoção de nitrogênio nas formas de nitrito e nitrato são maiores no sistema alagado construído formado por lagoa de aguapés com eficiência de média a alta tratabilidade. O sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo, será mais eficiente na remoção de carga orgânica (DQO e DBO) e na remoção de nitrogênio amoniacal, com eficiência de média a alta tratabilidade.

O sistema de pós-tanque séptico seguido por sistema alagado construído de lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo constitui como método de tratamento biológico de baixo custo e eficiência satisfatória com esgotos domésticos (EMBRAPA, 2008).

Com estação piloto de tratamento de esgoto doméstico, pós-tanque séptico seguido por sistema alagado construído de lagoa de aguapés e sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo, seria possível um sistema com capacidade de produzir efluentes finais, dentro dos padrões de lançamento de efluentes das legislações federais, estaduais e municipais vigentes.

3.2 METODOLOGIA

No presente trabalho foi avaliado a associação de dois pós-tratamentos de efluente de tanque séptico, sendo o primeiro SAC 1 (sistema alagado construído de lagoa com planta aquática (Lagoa de aguapés)) seguido por um SAC 2 (sistema alagado construído plantado com Cana do Brejo). Os parâmetros físico-químicos dos efluentes gerados foram analisados estatisticamente e comparados com os padrões de lançamento estaduais e federais da Lei N°20.694, de 26 de dezembro de 2019 (Decreto n° 1.745, de 06 de dezembro de 1979), e da CONAMA 430/2011.

3.3 CARACTERÍSTICAS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA

O local do experimento é o Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde (IF Goiano), onde foi construída uma estação piloto para projetos por meio do Programa Institucional de Bolsas em Iniciação Científica e Mestrado profissional.

O estudo realizado tem caráter experimental, de campo, e o método de análise é o qualitativo, sendo que os resultados foram verificados estatisticamente com o auxílio do pacote estatístico SPSS, 24 (Statistical Package for Social Sciences).

Essa estação recebe efluentes de duas residências unifamiliares, dois laboratórios e de um escritório situados dentro do campus do IF Goiano, sendo ligadas todas as instalações sanitárias, como vasos sanitários, chuveiro e pias ou lavatórios. Nenhuma outra vazão de esgoto é direcionada para a estação.

O efluente é destinado ao tanque séptico para pré-tratamento do mesmo, e em seguida conduzido ao tanque de reserva (reservatório) e bombeamento. Através de uma bomba de recalque de vazão, o efluente é bombeado para um reservatório, com a função de regularizar a vazão e promover o transporte do fluido por gravidade, e em seguida no sistema de tubulação existe um hidrômetro para medição da vazão de efluente a ser tratado.

Durante o período de estudos da estação, foi inserido recirculação do efluente final do sistema de *wetlands* construído em paralelo a estação sendo esta recirculação direcionada para o tanque de bombeamento, com o intuito de se manter a vazão mesmo em dias que se tem escassez de efluentes. A recirculação se deu a partir da 6ª semana de análises.

3.4 ESTAÇÃO PILOTO DE PÓS-TRATAMENTO

O efluente produzido (em torno de $0,75\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) após o tratamento primário do tanque séptico foi destinado ao pós-tratamento denominado SAC 1, composto por zona de raízes do tipo flutuante cultivada com a espécie macrófita flutuante *Eichhornia crassipe* (Aguapé) e pós-tratado por um SAC 2 plantado com a espécie emergente *Costus spicatus* Jacq. (cana-do-brejo).

Concluído o percurso do efluente em ambas as rotas de tratamento nos SAC's, o mesmo foi coletado e destinado para análises laboratoriais físico-químicas e biológicas. O efluente armazenado e acondicionado nos coletores foi coletado semanalmente,

conforme plano amostral proposto, utilizando as técnicas e os procedimentos dispostos na (NBR 9898/1987), que trata da preservação e amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, e enviado ao laboratório de saneamento do Instituto Federal Goiano de Rio Verde GO.

A Figura 6 ilustra todo o funcionamento da estação piloto de tratamento de esgoto sanitário.

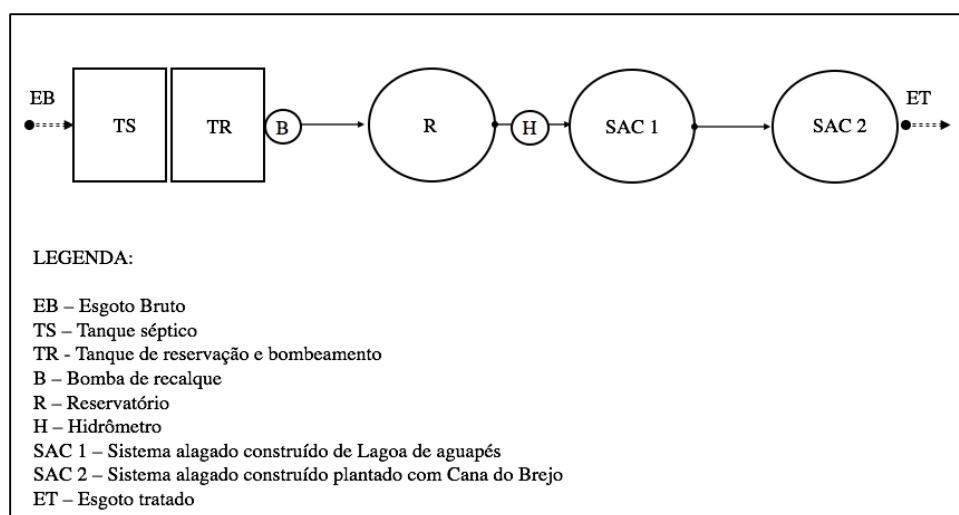


Figura 6 - Esquema do funcionamento da estação piloto de tratamento de esgoto doméstico.

Fonte: Própria autora.

O efluente utilizado advém de um sistema de tratamento primário já instalado no campus, composto de tanque séptico convencional de duas câmaras feito em alvenaria e revestimento de argamassa impermeabilizante como mostra a Figura 7 - A.

O efluente utilizado advém de um sistema de tratamento primário já instalado no campus, composto por um tanque séptico de dupla câmara construído em alvenaria (revestido em argamassa e cimento polimérico impermeabilizante) como mostra a Figura 7 - A., com dimensões de 2,2 metros de comprimento, 1,2 metros de largura e 1,2 metros de profundidade, totalizando o volume de 3,432 m³. Seguido de um tanque de bombeamento, Figura 7 - B, com mesmos materiais da fossa, que é composta de motobomba submersa da marca TLM modelo 950 de 0,75cv, com funcionamento automático a partir de chave boia MarGirius modelo CB3000. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi de 1 dia (SILVA JÚNIOR, 2018). Tais valores foram obtidos baseados nas condições fixadas para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos da NBR 7.229 (ABNT, 1993).



Figura 7 - Sistema existente. A - Tanque séptico; B - Tanque de reserva e bombeamento.

Fonte: Própria autora.

A tabela 2 apresenta os parâmetros e valores adotados no dimensionamento do tanque séptico usado.

Tabela 2 - Parâmetros, valores adotados e calculados no dimensionamento do tanque séptico.

Parâmetro de projeto	Valor adotado	Valor calculado
N (hab)	12,0	-
C (L.hab ⁻¹ .d ⁻¹)	100,0	-
T (d)	1,0	-
K (d)	97,0	-
Lf (L.hab ⁻¹ .d ⁻¹)	1,0	-
Período de limpeza (anos)	2	-
Volume necessário (L)	-	3.364,0
Geometria do tanque	Prismático	-
C/L	2/1	-
Profundidade do tanque (m)	1,3	-
Comprimento do tanque (m)	-	2,2
Largura do tanque (m)	-	1,2
Volume do tanque (L)	-	3.432,0

N: número de pessoas contribuintes; C: contribuição de esgoto *per capita*; T: período de detenção; K: taxa de acúmulo de lodo digerido; Lf: contribuição de lodo fresco; C/L: relação comprimento e largura do tanque.

Fonte: (Silva Júnior, 2018).

O efluente bombeado segue para uma caixa d'água de 1000 litros (tanque de equalização), em nível superior ao do tanque de aguapé, para distribuição por gravidade (Figura 8).



Figura 8 - Tratamento primário de tanque séptico seguida por tanque de bombeamento e de equalização.

Fonte: Própria autora.

A vazão é controlada por um registro de esfera de 50mm, e quantificada por hidrômetro (Marca: Alfa, Modelo: mnf II), conforme ilustra Figura 9.



Figura 9 - Visão geral da estação piloto com tanque de aguapé, hidrômetro e registro de esfera destacados.

Fonte: Própria autora.

O sistema de pós-tratamento é composto por duas caixas d'água com capacidade de 1000L cada conforme ilustra a Figura 10, a jusante é ligada à rede de esgoto e a montante das duas caixas é destinada à coleta do efluente.



Figura 10 - Sistema alagado construído fluxo superficial de lagoa de aguapés com vegetação flutuante seguido de Sistema alagado construído subsuperficial em fluxo vertical plantado com cana-do-brejo.

Fonte: Própria autora.

A primeira caixa d'água funciona como SAC 1, de fluxo superficial livre, Figura 11, caracterizada como tratamento secundário e terciário, estima-se elevada capacidade de remoção de DBO e DQO, além de nutrientes, tais como fósforo e nitrogênio (CUNHA,2006). A tela foi colocada a fim de evitar a proliferação de insetos comuns nesse tipo de sistema de pós tratamento.



Figura 11– SAC 1 – Sistema alagado construído fluxo superficial de lagoa de aguapés.

Fonte: Própria autora.

Para o dimensionamento do SAC de fluxo superficial livre, o volume nominal de água do SAC é definido como o volume delimitado pela superfície superior da água, pelo fundo e pelos lados do represamento. O cálculo do tempo de detenção hidráulica (TDH) e dimensionamento foi feito através da Equação 1 adaptada e proposta por Kadlec e

Wallace, 2009, e o volume nominal é multiplicado pela porosidade do meio e dividido pela vazão do sistema.

Equação 1: TDH – Tempo de detenção hidráulico para SACs de fluxo superficial livre

$$TDH = \frac{\alpha * V_{nominal}}{Q}$$

Em que:

TDH = tempo de detenção hidráulico (d);

V_{nominal} = volume delimitado pela superfície superior da água, fundo e lados do represamento (m³)

Q = vazão de efluente (m³d⁻¹);

α = porosidade do meio suporte (fração do volume ocupado pela água) (Kadlec e Wallace, 2009).

Como o SAC 1 já estava implantado no sistema foi calculado o tempo de detenção hidráulica (TDH) de acordo com as condições do projeto (Tabela 3) adotando o volume nominal de 0.90 m³, a porosidade do meio (fração do volume ocupado pela água) adotada foi de 0,95% e a vazão média do esgoto a tratar de 0,510 m³d⁻¹ o TDH foi de 1,67 dias ou aproximadamente 40 horas.

Tabela 3 - Dados Técnicos para dimensionamento SAC 1 – Lagoa de aguapés.* Dados obtidos entre agosto/2018 e julho/2019.

SAC 1 – LAGOA DE AGUAPÉS - DADOS TECNICOS*		
Parâmetros Operacionais	Unidades	Dados
Tempo de detenção hidráulica (TDH) - teórico	dias	1,67
Vazão de esgoto a tratar (Q)	m ³ d ⁻¹	0,51
Carga hidráulica volumétrica	l.m ³ d ⁻¹	510,00
Concentração média de DQO	mg DQOL ⁻¹	375,41
Carga orgânica aplicada	Kg DQOd ⁻¹	0,19

Fonte: Própria autora.

Considerando o rápido aumento da biomassa nesses SACs, fixou-se nesta pesquisa tempo de detenção hidráulico teórico de dois dias, de maneira a avaliar o desempenho do sistema com macrófitas aquáticas, dentro de parâmetros que o viabilizassem em escala real e permitissem o manejo manual da planta a baixo custo, sem a necessidade de utilizar mecanização. Este tempo de detenção hidráulico levando em conta resultados satisfatórios obtidos por YAN (1989) que, a partir de tempo de detenção hidráulico entre 8 a 32 horas, conseguiu crescimento do aguapé dentro dos padrões estabelecidos na literatura.

A segunda caixa d'água é utilizada como SAC 2 (sistema alagado construído plantando com cana-do-brejo) subsuperficial em fluxo vertical, plantado com cana-do-

brejo, conforme Figura 12, caracterizado como pós-tratamento, e o efluente é disposto sobre o leito de areia plantado e passa por processos de tratamento físicos, químicos e biológicos. Segundo Bertoncini (2008) o líquido é tratado fisicamente por meio da retenção de sólidos gerados pelas partículas do grão de areia e através das raízes/rizomas das plantas, quimicamente com a retenção química entre as partículas de areia, do efluente e através de trocas gasosas feitas também pelas raízes das plantas, e biologicamente com a decomposição da matéria orgânica originada por bactérias decompositoras.



Figura 12– SAC 2 subsuperficial em fluxo vertical plantado com cana-do-brejo.

Fonte: Própria autora.

Segundo Kadlec e Wallace (2009), para obter o correto dimensionamento de “SACs subsuperficiais”, o volume contido no tanque deve ser multiplicado pela porosidade do meio suporte utilizado. A escolha do meio filtrante a ser utilizada no SAC 2 (sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo) foi determinante para aplicação da Equação 2 abaixo, obtendo as dimensões do tanque.

Equação 2: TDH – Tempo de detenção hidráulico para SACs subsuperficiais

$$TDH = \frac{A\alpha d}{Q}$$

Em que:

TDH = tempo de detenção hidráulico (d);

A = área da wetland (m²);

Q = vazão de efluente ((m³d⁻¹);

α = porosidade do meio suporte; (Kadlec e Wallace, 2009).

d = profundidade da wetland (m).

O SAC 2 foi instalado com duas camadas conforme Figura 13, sendo que na primeira camada foi utilizada pedra britada nº 1, que possui porosidade 30% $\alpha = 0,30$ e a segunda camada foi preenchida com areia fina lavada que possui porosidade 25% $\alpha = 0,25$. (Kadlec e Wallace, 2009).

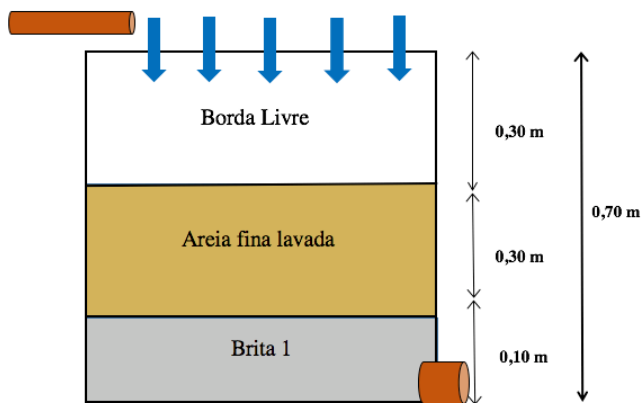


Figura 13– Perfil longitudinal do SAC 2 plantado com cana do brejo.

Fonte: Própria autora.

A distribuição do efluente foi feita através de tubulação de PVC com diâmetro de 32mm perfurada com furos de 4mm, espaçados aproximadamente em 10cm na tubulação central, e nas tubulações laterais o espaçamento de 6cm, conforme ilustra a Figura 14.

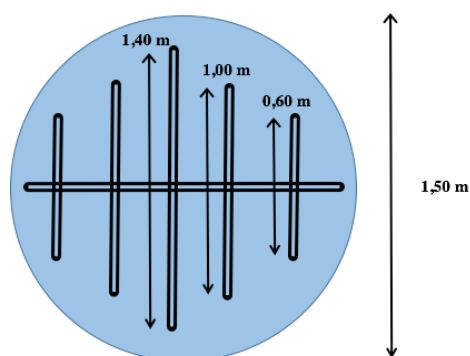


Figura 14 – Planta baixa da distribuição do efluente via superficial no SAC.

Fonte: Própria autora.

A Equação 1, foi então adaptada para ser aplicada de maneira efetiva (Equação 3), considerando o volume mínimo demandado para o tempo de detenção hidráulico a ser utilizado. Sendo assim, tem que:

Equação 3: Volume mínimo demandado

$$V = \frac{TDH * Q}{\alpha}$$

Em que:

V = Volume mínimo demandado (m³);
 TDH = tempo de detenção hidráulico (d);
 Q = vazão diária de esgoto (m³/d);
 α = porosidade média do meio suporte.

Considerando o sistema já implantado, com volume de $0,6 \text{ m}^3$, e substituindo na equação adaptada: a vazão média diária de esgoto de $0,510 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$, a porosidade média do meio suporte de 27% ($\alpha = 0,27$) é encontrado o tempo de detenção hidráulica (TDH) teórico de aproximadamente 0,32 dias, ou aproximadamente 7 horas.

Este cálculo não representa o TDH real, já que a porosidade do meio tende a diminuir com o passar do tempo de maneira particular em função dos aspectos operacionais e de projeto peculiares a cada SAC. Esta é uma limitação na representação de todos os modelos que consideram o TDH. (PAOLI, 2010)

Segundo os dados técnicos da Tabela 4, o sistema alagado construído está apto a receber a espécie de macrófita adequada ao meio suporte e ao tratamento.

Tabela 4 - Dados Técnicos para dimensionamento SAC 2 plantado com cana-do-brejo. * Dados obtidos entre agosto/2018 e julho/2019.

SAC 2 PLANTADO COM CANA-DO-BREJO - DADOS TÉCNICOS*		
Parâmetros Operacionais	Unidades	Dados
Tempo de detenção hidráulica (TDH) - teórico	dias	0,32
Vazão de esgoto a tratar	m^3d^{-1}	0,51
Carga hidráulica volumétrica	$\text{l.m}^3\text{d}^{-1}$	510,00
Concentração média de DQO	mg DQOL^{-1}	274,77
Carga orgânica aplicada	Kg DQOd^{-1}	0,14

Fonte: Própria autora.

É importante ressaltar que, ao projetar um sistema de tratamento de esgotos, deve-se ter sempre em mente que a incerteza no dimensionamento não está apenas nos coeficientes do modelo, mas também em todos os outros dados de entrada, a começar pela população e pela vazão de projeto. Os dimensionamentos devem sempre considerar essa incerteza, de forma não exagerar na sofisticação na obtenção de certos coeficientes, esquecendo de analisar a confiabilidade de outros dados, possivelmente de maior influência (Von Sperling, 1996).

3.5 Plano amostral

As análises do efluente se iniciaram em agosto/2018 e foram concluídas em julho/2019, utilizando equipamentos medidores dos parâmetros para a realização das análises nos próprios laboratórios do IF Goiano – Campus Rio Verde. As amostras foram submetidas às análises dos parâmetros físico-químicos, NO_3^- (Nitrato), temperatura, NO^-

NO_2^- (Nitrito), pH (Potencial Hidrogeniônico), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e NH_3 (Amônia), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros e números de amostragem.

Parâmetro	Frequência de análises
NH_3 (Amônia)	Semanal
Temperatura	Diária
NO_2^- (Nitrito)	Semanal
pH	Semanal
DQO	Semanal
NO_3^- (Nitrato)	Semanal
Vazão	Diária

Fonte: Própria autora.

Os ensaios laboratoriais foram realizados de acordo com as técnicas recomendadas pelo Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater (2018). Os padrões de qualidade do efluente industrial tratado, serão analisados junto a Resolução Conama nº 430/11, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

As coletas do efluente foram realizadas em três pontos de coleta, conforme ilustra Figura 15, sendo 45 amostras para cada ponto de coleta, analisadas em triplicata, perfazendo o total de 405 amostras, sendo as saídas denominadas: Pós-Tanque séptico, SAC 1 (esgoto tratado pelo sistema alagado construído de lagoa de aguapés) e SAC 2 (esgoto tratado pelo sistema alagado construído plantado com cana-do-brejo).

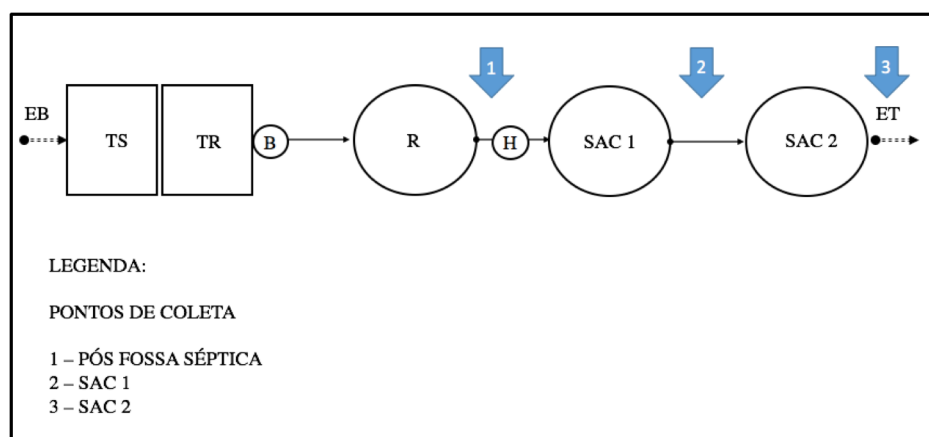


Figura 15- Pontos de coletas das amostras: Ponto 1 - Esgoto tratado pós tanque séptico, Ponto 2 - Esgoto Tratado pelo SAC 1 e Ponto 3 - Esgoto Tratado pelo SAC 2.

Fonte: própria autora.

3.6 Metodologias analíticas dos parâmetros de qualidade

A metodologia aplicada nas análises está descrita no “Standart methods for examination of water and wastewater” da AWWA (America Water Works Associations) (APHA, 1985):

Para DQO a metodologia utilizada para obter o resultado de absorvância das amostras após digestão, segundo o método colorimétrico descrito no item 5220 D de “*Standard methods for the examination of water and wastewater*” (AWWA) (APHA, 1999) sob análise em espectrofotômetro de UV/VIS no comprimento de onda de 600nm. Os resultados de absorvância obtidos eram relacionados a uma curva de padrão de absorvância por concentração de DQO em $\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$.

As amostras de nitrito e nitrato foram analisadas também, a partir do método colorimétrico, obtendo-se resultados de absorvância relacionáveis a curva padrão para concentração da amostra de nitrito ou nitrato, analisadas em espectrofotômetro de UV/VIS no comprimento de onda de 535nm. A metodologia utilizada foi do Spectro Kit Nitrito NTD (ALFAKIT) e Spectro Kit Nitrato NTD (ALFAKIT), sendo todas as duas metodologias adaptação do item 4500 B de “*Standard methods for the examination of water and wastewater*” (AWWA) (APHA, 2012) por Método N-(1-naftil)-etilenodiamina.

As amostras de amônia seguiram também o método colorimétrico, obtendo-se resultados de absorvância relacionáveis a curva padrão para concentração da amostra de amônia, analisadas em espectrofotômetro de UV/VIS no comprimento de onda de 630nm. A metodologia utilizada foi do Spectro Kit Amônia Indotest (ALFAKIT), sendo essa uma adaptação do item 4500 F de “*Standard methods for the examination of water and wastewater*” (AWWA) (APHA, 2012) por Método Indofenol, e da NBR 10560 (ABNT, 1988).

O equipamento usado para leitura de absorvância das amostras de DQO, amônia, nitrito e nitrato foi o PerkinElmer Lambda 750. Para pH e temperatura, as leituras foram feitas por sondas, sendo que para pH se usou o pHmetro MS TECNOPON modelo mPA-210P, e para temperatura usou o termômetro MS TECNOPON modelo mCA150. As amostras eram analisadas nesses parâmetros imediatamente após a retiradas para que não ocorresse alteração de seu estado original.

Para possibilitar a avaliação do desempenho das unidades, foram analisadas as eficiências de remoção com base nas cargas afluente e efluente, ao invés de simplesmente

baseado nas concentrações, eliminando a interferência dos efeitos de aumento na concentração no efluente, decorrentes das perdas hídricas proporcionadas pela evapotranspiração nesses sistemas.

3.7 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do pacote estatístico SPSS, 24 (*Statistical Package for Social Sciences*). Previamente as análises foi realizado o teste de Shapiro-Wilk (K-S) para verificar a normalidade dos parâmetros físico-químicos amostrados. A distribuição dos parâmetros físico-químicos foi apresentada por meio de estatísticas descritivas.

A fim de comparar a variação nos parâmetros físico-químicos entre os diferentes tratamentos identificados como Pós-tanque séptico, ET SAC 1 e ET SAC 2 foi realizado o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunnett. A correlação de Spearman foi realizada para se testar a relação entre os parâmetros físico-químicos em cada um dos tratamentos. Para a análise da função discriminante, os diferentes tratamentos (Pós-tanque séptico, ET SAC 1 e ET SAC 2) foi utilizada como variável de agrupamento e os parâmetros físico-químicos foram adicionados ao modelo como variáveis explicativas. Os coeficientes da função discriminante foram utilizados para verificar qual variável teve maior contribuição na função discriminante. A análise dos componentes principais (ACP) foi realizada para se observar a relação entre os parâmetros físico-químicos no primeiro e segundo componente principal, que acumulam a maior quantidade de explicação no modelo. A eficiência no ET SAC 1 e ET SAC 2 foi verificada aplicando-se o teste de Mann-Whitney. Em todas as análises foi adotado um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

Foi considerada a seguinte classificação para a magnitude dos coeficientes de correlação: valores entre 0,10 e 0,29 (fracos), valores entre 0,30 e 0,49 (moderados); e valores entre 0,50 e 1 (fortes), sendo negativos ou positivos. Para este estudo o coeficiente de correlação superior a 0,5 expressa forte relação e serão utilizados para avaliação (Helena et al. 2000, Cohen 1988).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Vazão

A medição da vazão no sistema é um fator importante para verificar vários outros parâmetros de controle. Em SACs, a taxa de evapotranspiração pode ser elevada em função da espécie vegetal e também da época do ano. Com elevada evapotranspiração, o esgoto é concentrado, e pode subestimar a eficiência de remoção de determinados parâmetros. Para cálculo da eficiência de SACs, é comum considerar a evapotranspiração do sistema, como não foi instalado hidrômetro na saída dos SACs, não foi possível calcular a evapotranspiração.

Durante o período de estudos da estação, foi inserido a recirculação do efluente final tratado pelo sistema alagado construídos em paralelo a estação piloto, essa recirculação segue para o tanque de bombeamento, e o intuito é manter a vazão mesmo em dias que se tem escassez de efluentes, ocorrido pela evasão dos habitantes das residências. A recirculação se deu a partir da 6ª semana de análises.

Na Tabela 6 estão os dados de vazão média obtidos durante todo o período de observação da estação piloto e quando houve a recirculação do mesmo (outubro - janeiro/2019 e março – julho/19).

Tabela 6 – Vazão média antes e após a recirculação.

Períodos	Dias de circulação	Vazão média (L.dia ⁻¹)
Agosto – setembro/18	40	455,83
Outubro/18 – janeiro/19*	102	692,49
Janeiro – março/19	41	385,50
Março – julho/19*	120	509,70
*recirculação	Vazão média	510,80

Fonte: Própria autora.

A partir de todos os dados do histórico de vazão (período de agosto/18 a julho/19, perfazendo aproximadamente 330 dias de análises), tem-se a média de 421 L.dia⁻¹ sem a recirculação de efluentes no sistema, a média de 601 L.dia⁻¹ com a recirculação no sistema e a média geral de 510.8 L.dia⁻¹ durante todo o período de análise do sistema.

4.2 Análise dos dados

Os dados do monitoramento dos diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos apresentados neste estudo compreendem o período de 11 meses (agosto/18 a julho/19). Os parâmetros analisados e seus respectivos valores de média aritmética, mediana, mínimo, máximo e desvio padrão estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Estatísticas descritivas dos parâmetros físico-químicos.

Tratamentos	DQO	Amônia	Nitrito	Nitrato	Temperatura	PH
Pós-tanque séptico						
Média	375,41	54,40	3,76	7,95	24,29	6,98
Desvio Padrão	221,84	35,86	3,01	8,69	1,59	0,81
Mediana	342,11	49,56	3,07	5,63	23,90	7,11
Mínimo	5,89	8,20	0,05	0,20	22,00	5,23
Máximo	965,00	138,29	10,58	43,74	29,50	8,26
SAC 1						
Média	274,77	59,40	3,14	6,18	23,85	7,14
Desvio Padrão	128,45	41,40	3,25	5,46	1,56	0,61
Mediana	273,33	48,10	2,47	4,49	23,80	7,27
Mínimo	44,89	2,64	0,05	0,17	20,40	5,31
Máximo	487,78	151,48	16,13	17,91	29,60	8,31
SAC 2						
Média	151,79	44,45	7,06	21,36	23,89	7,02
Desvio Padrão	114,77	35,40	8,59	23,57	1,82	0,61
Mediana	120,89	38,38	3,98	10,55	23,80	7,18
Mínimo	6,67	0,67	0,04	0,11	21,20	4,90
Máximo	371,11	140,19	37,43	73,60	29,90	8,19

Fonte: Própria autora.

A caracterização do efluente Pós-tanque séptico (Tabela 7) apresentou valores típicos aos reportados na literatura, destacando-se a alta variabilidade e falta de normalidade de dados, exceto para o pH e temperatura.

De acordo com as análises descritivas da DQO conforme Tabela 7, a DQO está identificada pela faixa típica de concentração de DQO em efluentes domésticos ser de 450 a 800 mgL⁻¹ (VON SPERLING, 2014) para efluente bruto. Como o efluente advém de tratamento preliminar que é o tanque séptico, a média de DQO é de 375,41mgL⁻¹, sendo indicado pós tratamento.

Como pode ser observado na Tabela 7, pode-se ver a homogeneidade do pH no efluente Pós-tanque séptico e nos efluentes tratados durante as semanas de observação da estação. A média geral de pH para o efluente Pós-tanque séptico foi de 6,98, enquanto para o efluente tratado no SAC 1 o valor médio de pH é de 7,14 e para o efluente tratado no SAC 2 a média foi de 7,02. Tanto o efluente Pós-tanque séptico e os tratados tiveram

variações de pH muito semelhantes, sendo que ambos têm pH variando entre valores maiores que 4,9 e menores que 8,31. Segundo Prata et al. (2013), faixas de pH próximas à neutralidade fornecem condições mais adequadas para degradação da matéria orgânica pelos microrganismos.

Hussar e Bastos (2008) citam que a acidificação pontual do meio é normal, ocasionada pelo aguapé por liberar substâncias ao final do seu ciclo de vida, explicando os pHs mínimos ocorridos nos dois SACs. Porém, a média do pH do efluente tratado no SAC 2 (7,02) se adequa aos padrões estaduais e federais da Lei N°20.694, de 26 de dezembro de 2019 (Decreto n° 1.745, de 06 de dezembro de 1979), e da CONAMA 430/2011, definido para ambas o intervalo de 5 a 9.

A média de temperatura analisada está de acordo com os padrões exigidos pela Lei N°20.694 (Decreto n° 1.745, de 06 de dezembro de 1979), de 26 de dezembro de 2019 não excedendo 40°C. O mesmo padrão é exigido pela CONAMA 430/2011 estando então de acordo com as duas legislações.

A distribuição dos dados de alguns parâmetros físico-químicos entre os tratamentos (Pós-tanque séptico, SAC e SAC 2, apresentou tendência não paramétrica segundo o teste de Shapiro Wilk (K-S) sendo eles: DQO, amônia, nitrato e nitrito. Estes resultados (tendência de distribuição não paramétrica) são semelhantes aos apresentados na literatura nacional para a caracterização de resíduos sépticos bruto. (INGUNZA et al, 2009; SUNTTI, MAGRI e PHILIPPI, 2011).

Como a distribuição dos dados é não paramétrica, executou-se o teste de Kruskal-Wallis para a comparação dos parâmetros físico-químicos entre os tratamentos, conforme Tabela 8, como resultado apenas a DQO apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Foi verificada essa diferença significativa entre o SAC 1 versus SAC 2 ($p < 0,01$) e entre o Pós-Tanque séptico versus o SAC 2 ($p < 0,01$). Não houve diferença significativa da DQO entre o Pós-Tanque séptico versus o SAC 1 ($p = 0,070$).

Tabela 8 - Resultado da comparação dos parâmetros físico-químicos entre os tratamentos.

	Tratamentos em mg.L ⁻¹ (média ± DP)			z	p*
	Pós Tanque séptico	SAC 1	SAC 2		
DQO	375,41 ± 221,84	274,77 ± 128,45	151,79 ± 114,77	23,80	<0,001
Amônia	54,40 ± 35,86	59,40 ± 41,40	44,45 ± 35,40	2,91	0,22
Nitrato	7,95 ± 8,69	6,18 ± 5,46	21,36 ± 23,57	4,45	0,06
Nitrito	3,76 ± 3,01	3,14 ± 3,25	7,06 ± 8,59	5,50	0,11
Temperatura	24,29 ± 1,59	23,85 ± 1,56	23,89 ± 1,82	1,99	0,37
pH	6,98 ± 0,81	7,14 ± 0,61	7,02 ± 0,61	0,92	0,63

*Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunnett; DP = desvio padrão.

O Gráfico Boxplot abaixo (Figura 16), apresenta a tendência central e o padrão de dispersão dos dados entre os parâmetros físico-químicos dos tratamentos Pós-Tanque séptico, SAC 1 e SAC 2, e os bigodes mostram os valores máximo e o mínimo, os intervalos interquartis (25 a 75%) e os valores discrepantes (outliers). Pode haver discrepâncias (outliers) dentro dos pontos analisados (ocasionadas por situações específicas como eventos climáticos locais extremos, introdução de efluente com características tóxicas para microrganismos e plantas, etc.).

Através do gráfico é possível observar que nos SAC 1 e SAC 2 há remoção de matéria orgânica (DQO), próxima a 50 - 60% no total, sendo satisfatório comparado com estudos apresentadas em lagoas com plantas (70 - 85% segundo a NBR 13969/97). Também pode ser observado a ocorrência do processo de nitrificação no SAC 2, dado pelo aumento na concentração de nitrato e redução dos valores de amônia, pode-se dizer que o SAC 2 opera de maneira aeróbia pela estrutura do SAC e aeração do sistema, através das plantas e forma de disposição do efluente que acaba sendo intermitente, permitindo assim, entrada de ar nos poros do substrato.

O SAC 1 não operou de maneira adequada, podendo -se dizer que um dos fatores que influenciou seria o curto tempo de detenção hidráulica (não foi monitorado neste sistema) ou a ocorrência de curto – circuito hidráulico (é a passagem de águas residuais não tratadas através do sistema lagunar num curto período de tempo. Isso pode ocorrer pela mistura pobre e a localização inadequada da entrada da lagoa e dos pontos de descarga de efluentes), outro fator que limitam a nitrificação nas lagoas é a baixa concentração de oxigênio (GODINHO, 2017). Pode-se melhorar a localização da tubulação de entrada e saída a fim de aumentar o TDH e evitar a ocorrência de curto-circuito. A elevada concentração de amônia no efluente também pode ser causada por sobrecarga orgânica, baixa concentração de oxigênio, curto tempo de detenção hidráulica e pela libertação de amônia a partir da digestão de lamas residuais antigas, mais comum quando as lagoas têm uma temperatura morna.

Dentre as alternativas citadas pela NBR 13969/1997 que resultam, ainda, na emissão do efluente tratado que deve ser disposto em algum corpo receptor a NBR também cita o uso de "Lagoas com plantas" como pós-tratamento de esgoto de tanque séptico, apesar de não estar destacado na figura, a norma compara a eficiência de remoção dos poluentes entre os tipos de tratamentos alternativos, e é apresentada eficiência média de remoção na lagoa com plantas de 70 a 85% de DQO e 50 a 80% de Nitrato.

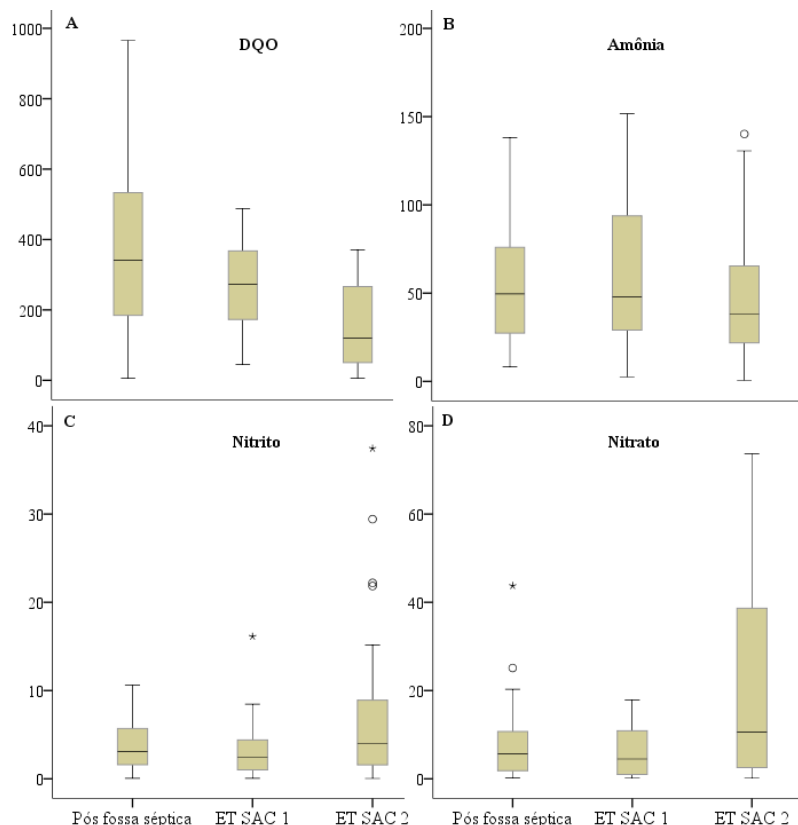


Figura 16- Gráfico Boxplot comparando o A) DQO, B) Amônia, C) Nitrito e D) Nitrato entre os tratamentos.

O coeficiente de correlação de Spearman varia entre -1 e 1, sendo que o sinal, negativo ou positivo, indica a direção, enquanto o valor indica a magnitude da correlação. Quanto mais perto de 1 mais forte é o nível de associação entre as variáveis. Quanto mais perto de zero, menor é o nível de associação, ou ausência de correlação. Uma correlação positiva indica que quando um parâmetro aumenta, o outro também aumenta, ou seja, valores altos de determinado parâmetro estão associados aos valores altos de outro parâmetro. Uma correlação negativa indica que quando um parâmetro aumenta, o outro diminui, ou seja, valores altos de determinado parâmetro estão associados aos valores baixos de outro parâmetro (Figueiredo et al. 2014).

Com base na análise do coeficiente de Spearman, Tabela 9, no tratamento pós-tanque séptico houve forte correlação positiva (0,86**) entre o nitrato e o nitrito, ou seja, quanto maior a concentração de nitrato maior a concentração de nitrito, o nitrito é uma fase de "transição" entre "amônia" e "nitrato" no processo de nitrificação.

No SAC 1 houve correlação moderada negativa (-0,36*) entre a amônia e o nitrato, ou seja, quanto menor a concentração de amônia maior concentração de nitrato. Se a poluição é recente, o nitrogênio se apresenta na forma de nitrogênio orgânico ou

amônia. Se a poluição é antiga, o nitrogênio se apresenta basicamente na forma de nitrato, uma vez que, as concentrações de nitrato são normalmente mais reduzidas (VON SPERLING, 2014).

Da mesma forma que ocorreu nos pós-tanque séptico também houve forte correlação positiva (0,69**) entre nitrato e o nitrito.

Houve também neste tratamento correlação moderada negativa (-0,33*) entre o nitrato e a temperatura, ou seja, quanto menor a temperatura maior a concentração de nitrato. Com a forte correlação positiva entre o nitrato e o nitrito nos tratamentos pode-se sugerir que esteja havendo nitrificação, possível em tratamentos biológicos.

No ET SAC 2 houve correlação moderada positiva (0,45**) entre a DQO e Amônia e o Nitrito. Em seus trabalhos, Suntti, Magri e Philippi (2011) e Vincent et al. (2011) observaram que o aumento da carga de sólidos aplicada (pode-se dizer intuitivamente o mesmo sobre amônia) promove elevação da concentração de amônia no efluente do sistema de tratamento.

Também houve correlação forte positiva (0,64**) entre nitrato e o nitrito, houve também nesse tratamento correlação moderada negativa (-0,37*) entre a DQO e a temperatura, e correlação moderada negativa (-0,39*) entre o nitrito e a temperatura.

Tabela 9 - Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros físico-químicos.

Tratamentos	DQO	Amônia	Nitrato	Nitrito	Temperatura
Pós-Tanque séptico					
Amônia	-0,25				
Nitrato	-0,25	0,02			
Nitrito	-0,21	-0,07	0,86**		
Temperatura	0,01	0,02	-0,25	-0,27	
PH	-0,28	0,11	0,16	0,22	0,12
SAC 1					
Amônia	0,01				
Nitrato	0,00	-0,36*			
Nitrito	-0,09	-0,19	0,69**		
Temperatura	-0,26	0,06	-0,33	-0,33*	
PH	-0,41*	0,00	-0,01	-0,24	-0,07
SAC 2					
Amônia	0,45**				
Nitrato	-0,28	-0,32			
Nitrito	0,15	0,10	0,64**		
Temperatura	-0,37*	-0,11	-0,15	-0,39*	
PH	-0,10	0,17	0,07	0,06	0,07

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Abaixo segue a Figura 17 ilustrando o resultado da análise da função discriminante dos parâmetros físico-químicos com os diferentes tratamentos, que é uma análise multivariada, e todos os parâmetros físicos – químicos exceto temperatura e pH, são analisados juntos, convertidos em pontos (score), lançados nos dois eixos, função 1 e 2. Assim, é verificado e comparado se os pontos (scores) se distanciam de forma significativa, na análise da função discriminante dos parâmetros físico-químicos com os diferentes tratamentos o p não foi significativo ($p=0,07$), logo, não houve variação significativa, ou seja, não houve discriminação dos parâmetros físico-químicos entre os tratamentos (Pós-tanque séptico, SAC 1 e SAC 2).

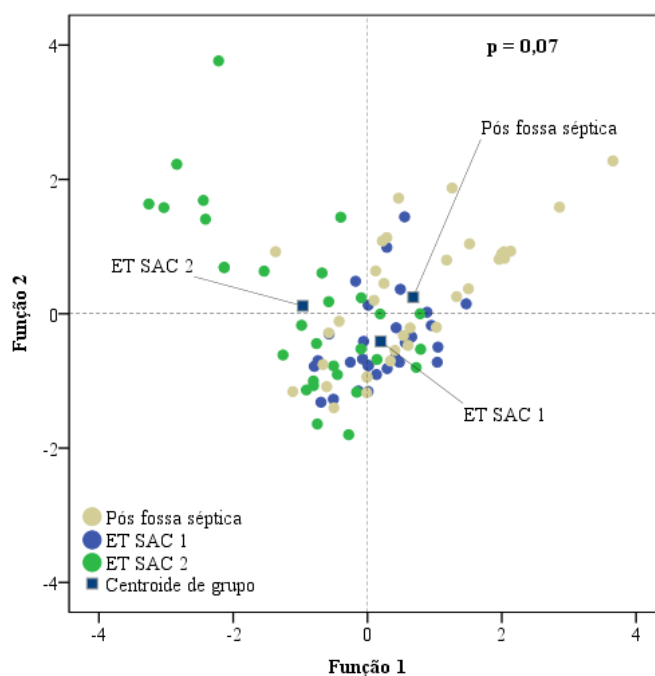


Figura 17- Resultado da análise da função discriminante dos parâmetros físico-químicos com os diferentes tratamentos.

A Figura 18 apresenta o resultado da Análise de Componentes Principais (ACP) que converte os parâmetros gerais de todos os tratamentos em dois componentes principais: o 1º componente (30,9%) que melhor representa a distribuição dos dados e 2º componente (20,5%).

Considerando o 1º componente principal (30,9%) nota-se que o nitrato e nitrito tem relação inversa entre a amônia e a DQO, e uma relação positiva entre o nitrato e nitrito, mesmo resultado encontrado na análise de correlação de Spearman.

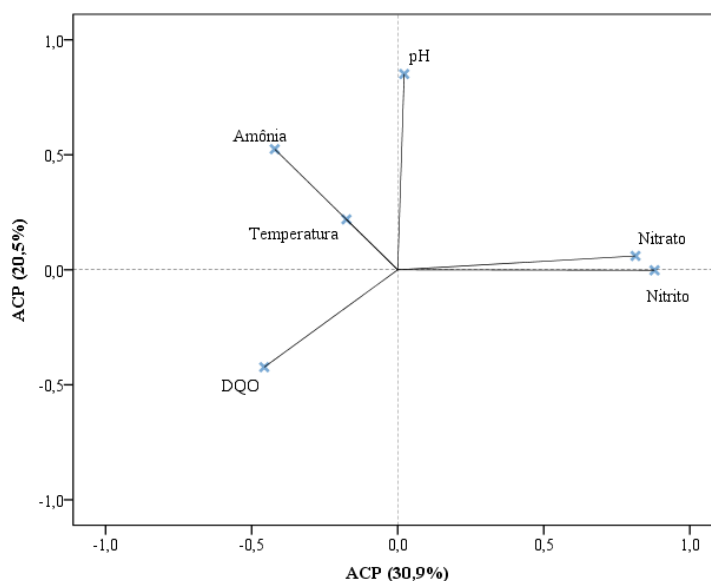


Figura 18- Resultado da análise de componentes principais demonstrando a relação dos parâmetros físico-químicos distribuídos nos dois componentes.

A Tabela 10 apresenta os resultados da comparação da eficiência dos parâmetros físico-químicos entre o SAC 1 em relação ao Pós-Tanque séptico e com SAC 2 em relação ao SAC1. A eficiência média da DQO entre Pós-Tanque séptico e SAC 1 foi de 21,12% e entre SAC 1 e SAC 2 de 50,86% e teve diferença significativa ($p=0,002$) entre os dois sistemas. Verifica-se que a maioria dos estados não adota padrões de lançamento de DQO para efluentes industriais e domésticos. Porém, a eficiência de remoção deste parâmetro foi significativa com 51% no efluente final e com taxa de 150 mgL^{-1} atendendo alguns parâmetros estaduais.

Na maioria dos trabalhos que utilizam aguapés para remoção de nutrientes, utilizam como critério de remoção da biomassa o aspecto visual. Se a biomassa gerada no tanque já estiver densa o suficiente para causar sombra em outra parte da vegetação, já se tem um critério para retirada/remoção parcial das plantas (KONNERUP et al., 2009). Outro critério é também a observação visual da saúde das plantas, se algum sinal como, manchas amarelas nas folhas forem detectados a planta deve ser retirada.

De acordo com ROCHA (1975), o número de aguapés, por metro quadrado, em um rio, chega a 118 plantas em média, sendo que estas plantas provocam o sombreamento do meio aquático, impedindo a formação de algas e outros tipos de vegetações submersas que são responsáveis pela introdução de oxigênio no meio aquático e, assim, prejudicam o ecossistema existente. Podendo justificar a baixa remoção de DQO no SAC 1. Neste estudo foram retirados mensalmente a média de 9Kg de biomassa (aproximadamente 17 aguapés mortos), porém, em alguns períodos essa retirada pode ter sido insuficiente.

Brasil (2005) em sua pesquisa obteve resultados próximos de remoção da DQO, e as concentrações efluentes foram de $35 \pm 12 \text{ mg L}^{-1}$ em SACs que operaram sob tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1,9 dias, e de $25 \pm 9 \text{ mg L}^{-1}$ no SAC que operou sob TDH de 3,8 dias, correspondendo a eficiência média de remoção de $87 \pm 3\%$ no e de $90 \pm 3\%$, respectivamente, e mostra que o TDH influencia diretamente na eficiência de remoção desse parâmetro. Os resultados de eficiência de remoção de DQO no SAC 2 foram próximos aos 57% (estimado) obtidos por Valentim (2003), que tratou efluente de tanque séptico em SAC cultivado com *Typha sp.*, com TDH de 2 dias.

Jonas e Hussar (2010), e Hussar e Bastos (2008) em experimentos também com caixas d'água contendo aguapés, porém em série, obtiveram resultados estáveis e considerados muito satisfatórios, 61,9% e 76,9% na remoção de DQO respectivamente com a operação em fluxo contínuo como é o caso do nosso sistema, oferece estabilidade melhor para os microrganismos no sistema e o cuidado com a concentração bruta do efluente para evitar também maiores desequilíbrios dos microrganismos e das plantas.

A eficiência média da amônia entre Pós-Tanque séptico e SAC 1 foi de -4,44% e entre SAC 1 e SAC 2 de 28,81% teve diferença significativa ($p=0,001$) entre os dois sistemas, ou seja, houve aumento de remoção de amônia no SAC 2. Jordão e Pessoa (2005) afirma que o processo de redução da amônia pode ser complicado pelo processo de degradação da matéria orgânica que geram produtos como a própria amônia e ocorrem na ausência de oxigênio dissolvido por bactérias anaeróbias.

No SAC 1 (Lagoa de aguapés), sabe-se que a distribuição de oxigênio vindo dos processos biológicos do aguapé, é heterogênea. Ocorre zonas de maior oxigenação na parte superior do tanque e à medida que se chega ao fundo do mesmo tende a ter condições completamente anaeróbias. Logo, essas afirmações justificam o fato de em algumas semanas, não ocorrer remoção efetiva de amônia no tanque de aguapé. Indicando então que ocorre condições anaeróbias e heterogeneidade de oxigenação do efluente no tanque, prejudicando o processo de nitrificação.

Quanto aos padrões do efluente final, a média foi de $44,45 \text{ mgL}^{-1}$ não atendendo os padrões de lançamento federais e estaduais regulamentados pela resolução CONAMA 430/2011 e pela Lei N°20.694, de 26 de dezembro de 2019 (Decreto n° 1.745, de 06 de dezembro de 1979), respectivamente. Sendo esses padrões no âmbito federal concentrações menores ou iguais a 20 mgL^{-1} , e no âmbito estadual menores ou iguais a $0,5 \text{ mgL}^{-1}$.

Não houve variação significativa da eficiência do nitrato e nitrito, ou seja, não houve remoção. A remoção de nitrato via desnitrificação biológica pode ser mais efetiva, uma vez que, nos SACS de fluxo subsuperficial, as condições anóxicas estão sempre presentes (USEPA, 2000). Crites e Tchobanoglous (1998) apud USEPA (2000) sugerem que, em SACS de fluxo subsuperficial, uma significativa desnitrificação em água residuária urbana pode ocorrer em TDH de 2 a 4 dias. A eficiência na remoção de nitrogênio em SACS de fluxo subsuperficial tem sido, em geral, pouco expressiva e muito variada. Em certos períodos do ano, verificam-se aumentos no nitrogênio amoniacal no efluente, em relação ao afluente, como resultado de sua produção a partir da mineralização do nitrogênio orgânico retido (BRASIL, 2005).

Tradicionalmente, o processo para promover a remoção de nitrogênio implica em etapas separadas de aeração e não aeração. Além disso, faz-se necessário que haja uma fonte externa de carbono na etapa de desnitrificação (CHIU et al., 2007), neste estudo houve processo de aeração apenas no SAC 2, que poderia ter contribuído com a baixa eficiência de remoção destes parâmetros no SAC 1.

Polisel (2005) obteve concentrações de nitrato (NO_3) de $0,5 \text{ mgL}^{-1}$ em seu experimento com lagoa de aguapés, e foi justificado também pela pouca capacidade de nitrificação desses sistemas. Segundo Von Sperling (2002), o processo de nitrificação tem faixa ótima com pH entre 7,2 e 8,0. Enquanto para desnitrificação essa faixa ótima é de 6,0 a 8,0 evitando valores fora desse intervalo. Portanto, os valores médios identificados permitem concluir que o sistema dá condições em relação ao pH para os processos acima citados, porém, para que ocorra nitrificação ou desnitrificação é necessário que haja OD (oxigênio dissolvido) o que é muito baixo nesses ambientes.

Diversas configurações de sistemas de tratamento têm sido estudadas para melhorar a remoção biológica de nitrogênio mediante o processo de nitrificação-desnitrificação. Nos tratamentos biológicos de efluentes, os principais custos de operação são o requerimento de aeração na etapa de nitrificação e a adição de uma fonte de carbono orgânico externa como fonte de energia na etapa de desnitrificação. (ZOPPAS, 2016).

Tabela 10 - Resultado da comparação da eficiência dos parâmetros físico-químicos entre o SAC 1 com SAC 2.

	SAC 1		SAC 2		z	p*
	Média ± DP	Mínimo - Máximo	Média ± DP	Mínimo - Máximo		
DQO	21,14 ± 30,71	-61,52 - 85,12	50,86 ± 40,03	-40,53 - 100,00	3,16	0,002

Amônia	$-4,44 \pm 38,79$	$-79,46 - 90,99$	$28,81 \pm 42,45$	$-65,45 - 99,31$	3,29	0,001
Nitrito	$22,94 \pm 47,74$	$-83,33 - 100,00$	$18,72 \pm 47,42$	$-68,80 - 89,67$	0,11	0,91
Nitrato	$30,14 \pm 59,29$	$-100,00 - 100,00$	$60,66 \pm 32,24$	$11,53 - 100,00$	1,56	0,12

*Teste de Mann-Whitney; DP = desvio padrão.

Para melhor ilustrar as médias de eficiências, segue abaixo a Figura 19 que apresenta o Gráfico de erro que compara a eficiência dos parâmetros físico-químicos no SAC 1 com SAC 2. Este gráfico apresenta as barras com erros e IC (intervalo de confiança) de 95%, e foi utilizado pelas características dos valores que vão de negativos a positivos.

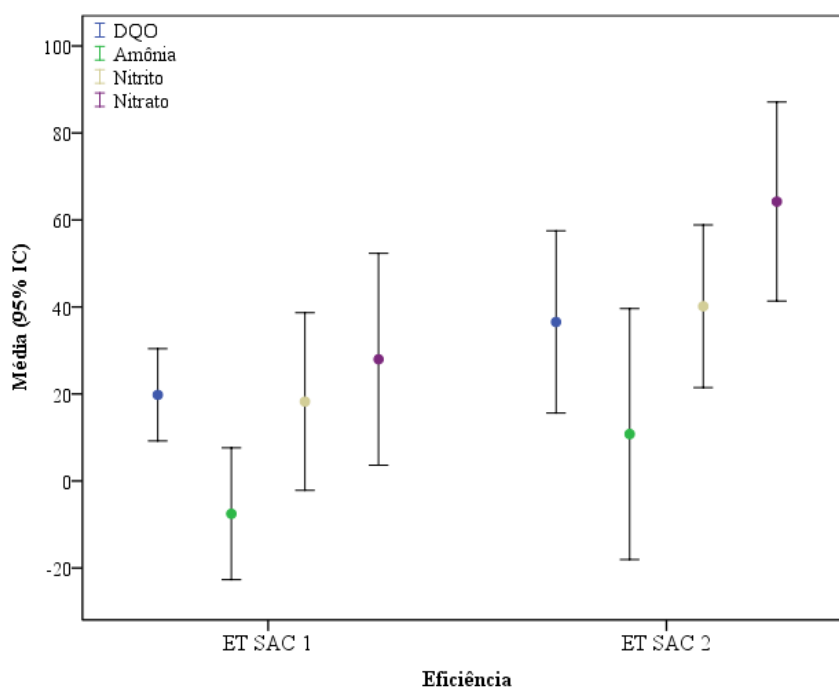


Figura 19- Gráfico de erro comparando a eficiência dos parâmetros físico-químicos no SAC 1 com SAC 2.

4.3 Considerações Finais

Analisando o sistema piloto, percebe-se vários pontos que podem ser melhorados como: organização dos componentes no espaço, comprimento das tubulações de ligação, sistema de recalque e equalização e controle da vazão. A seguir serão apontados, e sugeridos otimizações e justificativas dos mesmos. Não se baseando na operação geral de todos os componentes da estação piloto somente, mas sim, no sistema em foco, o da fossa-tanque de aguapé.

Um dos fatores que mais eleva a dificuldade na operação do sistema é a distribuição espacial dos componentes. Como já ilustrado na Figura 9, a origem dessa dificuldade está no tanque séptico. O fato do mesmo estar bem abaixo do nível do solo, 0,70m até a face superior da tampa da fossa aproximadamente, dificulta distribuições simples por gravidade aos outros componentes. Sabe-se que este tanque séptico foi montado no local para a concepção da estação piloto, e que esta fossa é destino de tratamento primário dos efluentes de 4 edificações dispostas como na Figura 21. O comprimento estimado entre a primeira edificação até o ponto de entrada da tanque séptico é de aproximadamente 75m.



Figura 20 – Vista superior dos pontos de contribuição de esgoto, e medida aproximada do comprimento da tubulação de coleta do esgoto. Fonte: Google Earth.

Portanto, conclui-se que as tubulações que ligam todas as casas até a fossa, são de comprimento considerável, e adotando declividade de 1,0 % (intervalo de 1% a 5% recomendado pela NBR 8160, (1999)) o rebaixo necessário da fossa é de 0,75m no ponto de entrada, medida verificada por medições na estação. Resultando na necessidade do tanque séptico estar abaixo do nível do solo para garantir o escoamento por gravidade no coletor predial. Uma escavação do solo, abaixando o nível geral do solo até a fossa poderia ser uma melhoria, facilitando principalmente a distribuição dos componentes. Porém, elevaria muito o custo inicial de implantação e poderia criar barreiras para a luz solar, no qual as macrófitas dos dois sistemas de pós-tratamento dependem.

O ideal seria que as opções de posicionamento da estação fossem melhores, porém a Figura 14 mostra que posições em paralelo com as edificações ou outras possíveis opções são impossibilitadas pela vegetação ou pelas vias de circulação de veículos.

Como consequência do fato citado anteriormente, na estação piloto foi necessário o uso de sistema de recalque com tanque de equalização, já previsto em projeto. O tanque de equalização tem uso justificável na situação atual da estação e também em qualquer outra situação que siga o método de operação da mesma. Podendo distribuir de maneira igual a vazão entre os SACs, e mantendo regime de fluxo adotado. Porém, o sistema de recalque somente é necessário em casos específicos, como o da estação em estudo, e em terrenos não planos.

Pensando em um sistema individual, tendo somente a contribuição de uma residência, não seria necessário nenhum desses componentes. A distribuição espacial dos componentes teria melhores opções de posicionamento, não resultando em tamanho desnível no tanque séptico.

Pode ser sugerido a alteração da disposição dos SACs para melhor eficiência e configuração geral do sistema, o SAC 2 estimulará a nitrificação e degradação heterotrófica da matéria orgânica (pela introdução de O₂), enquanto o SAC 1 promoverá a desnitrificação, removendo mais nitrogênio.

Também deve ser revista a configuração hidrodinâmica do SAC 1 de forma a evitar a formação de curtos-circuitos hidráulicos e zonas mortas, aumentando assim o tempo de detenção hidráulica no sistema.

5 CONCLUSÕES

Com base em análises de dados e discussões expostas, é possível inferir certas conclusões para as condições experimentais estudadas:

1 - Considerando os valores medianos da porcentagem de eficiência na remoção de poluentes, houve eficiência significativa apenas para os parâmetros de DQO e amônia.

2 - Não houve eficiência significativa em remoção dos parâmetros nitrato e nitrito, em nenhum dos tratamentos, mas foi observado que houve a ocorrência do processo de nitrificação no SAC 2, dado pelo aumento na concentração de nitrato e redução dos valores de amônia, pode-se dizer que o SAC 2 opera de maneira aeróbia por causa da estrutura do SAC e aeração do sistema através das plantas e forma de disposição do efluente que acaba sendo intermitente, permitindo assim, entrada de ar nos poros do substrato promovendo degradação heterotrófica da matéria orgânica (pela introdução de O₂).

3 - Houve forte correlação entre o nitrato e nitrito em todos os tratamentos. Para outras situações, as correlações foram moderadas, indicando pouca associação entre as variáveis estudadas.

4 - O SAC 2 (Sistema Alagado Construído plantado com Cana do brejo) foi mais eficiente na remoção dos parâmetros DQO e amônia, apresentando os seguintes resultados de remoção de poluentes: demanda química de oxigênio (DQO) eficiência média de 50,86% entre SAC 1 e SAC 2, e a amônia que teve eficiência média de 28,81% entre SAC 1 e SAC 2.

6 REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 16. ed. New York, APHA, AWWA, WPCF, 1985.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. New York, APHA, AWWA, WPCF, 1999.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. New York, APHA, AWWA, WPCF, 2012.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. New York, APHA, AWWA, WPCF, 2018.
- ANDRADE, J. C. da M., TAVARES, S. R. de L. MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- ARANTES, J. O. **Análise do funcionamento e eficiência de uma estação piloto de tratamento de esgoto doméstico, por tanque séptico seguida por lagoa de aguapés e sistema alagado construído, localizada no IF GOIANO - Campus Rio Verde**. Rio Verde, GO, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10560: **Águas – Determinação de Nitrogênio Amoniacal – Métodos de Nesslerização, Fenato e Titulométrico**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229. **Projeto, construção e operação de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BAPTESTINI, G. C. F.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C. **Effect of reversal of the flow direction on hydrodynamic characteristics and plants cultivated in constructed wetland systems**. Acta Scientiarum. Technology Maringá. v. 38. n. 1, p. 49-56, 2016.
- BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A. **Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9 (Suplemento), p.133-137, 2005.
- CHIU, Y.C.; LEE, L.L.; CHANG, C.N.; CHAO, A.C. **Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor**. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 59, n. 1, p. 1-7, 2007.
- CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J.; BASTIAN, R. K. **Natural wastewater treatment systems**. Civil and Environmental Engineering Series: CRC Press: 549 p. 2014.

CONAMA, **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em fevereiro, 2018.

COSTA, J.F.; DE PAOLI, A.O.; SPERLING, M.V.; SEIDL, M. **Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente de reator UASB, com base em quatro anos de monitoramento**. *Rev. EngSaitAmbient*, v.23, n.1, p.191-200, JAN/FEV, 2018.

COSTA, R.H.R. **Lagoas de Alta Taxa de Degradação e de Aguapés no Tratamento Terciário de Dejetos Suínos**. UFSC. 1997.

CUNHA, C.A.G. **Análise da eficiência de um sistema de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado, 2006.

EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. **Fundação Banco do Brasil inaugura 100 fossas em Goiás**. Disponível em: http://www.cnpdia.embrapa.br/noticia_06032008.html. Acesso em: 07 de maio de 2018.

EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS. **Folder cana do brejo**. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/f_01.pdf. Acesso em: 28 de junho de 2018.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. **Remoção biológica de nitrogênio em efluentes líquidos: uma revisão**. *REVISTA EIXO*, v. 4, n. 2, 2017.

FIGUEIREDO F. D.B.; ROCHA, E.C., SILVA, Jr J., PARANHOS R., NEVES J.A.B., SILVA, M.B. **Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Perarson**. *In: Leviathan Cadernos de Pesquisa Política*, 8: 66-95. 2014.

FONDER, N.; HEADLEY, T. **The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system**. *Ecological Engineering*, v. 51, p. 203-211, 2013.

FUNASA, **Manual de Saneamento 2015**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br>. Acesso em fevereiro, 2018.

GODINHO, Jayson Pereira. **Comportamento dinâmico e hidrodinâmico de reator anaeróbio híbrido (UAHB) submetido à variação de carga hidráulica horária no tratamento de esgoto sanitário**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Curitiba, 2017.

GRANATO, M. **Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos**. CETEM, 1995.

HELENA B., PARDO R., VEJA M., BARRADO E., FERNANDEZ J.M., FERNANDEZ L. **Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis**. *In: Water Research*, 34(3): 807-816. 2000.

HOFFMANN, H., WOLFF, D., PLATZER, Chr., HOSSA, A, C. L., COSTA, R. H. R. (2005): **Capacidade de Uso de Filtro de Areia como Pós-Tratamento de Reatores Biológicos em Batelada para Remoção de Nutrientes**. *In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental (ABES)*, Campo Grande, MS.

- HUSSAR, G. J.; BASTOS, M. C. **Tratamento de efluente de piscicultura com macrófitas aquáticas flutuantes**. Engenharia Ambiental, v. 5, n. 3, p. 274-285, 2008.
- HUNT, P. G.; POACH, M. E. **State of the art for animal wastewater treatment in constructed wetlands**. Water Science and Technology:Water Supply, v. 44, n. 11/12, p. 19-25, 2001.
- INGUNZA, MDPD, Andrade Neto CO, Araújo ALC, Souza MAA; Medeiros SA, Borges NB, et al. **Caracterização física, química e microbiológica do lodo de fossa/tanque séptico** [Physical, chemical and microbiological characterization of septic waste]. In: Andreoli CV, editor. Rio de Janeiro (RJ): ABES, 2009.
- JONAS, T. C.; HUSSAR, G. J. **Utilização do Aguapé no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado**. Engenharia Ambiental Unipinhal, v. 7, n. 4, p. 20-32, 2010.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: ABES. 2005.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. ABES. 6º edição, Rio de Janeiro, RJ, 2011.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. ABES. 7º edição, Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott. **Treatment wetlands - 2**. ed. USA, 2009.
- KAWAL, H.; GRIECCO, V.M. **Utilização do aguapé para tratamentos de esgoto doméstico. Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais**. Revista DAE, n.135, p.79-90, 1983.
- KONNERUP, D.; KOOTTATEP, T.; BRIX, H. **Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia**. Ecological Engineering, v. 35, n. 2, p. 248-257, 2009.
- LEWIS, M. A. **Use of freshwater plants for phytotoxicitytesting: a review**. Environmental Pollution, 87, p. 319-336, 1995.
- MARTIN, N. **Estudo da redução de Cr (VI) usando espécies de macrófitas aquáticas vivas pela técnica de fluorescência de raios-X de alta resolução**, 2008.
- MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Editora UFV, Viçosa – MG, 2017.
- MORAES, D. C. **Influência da sazonalidade e de plantas na redução da concentração de poluentes em sistema de alagados construídos de escoamento vertical, com alimentação em pulso, empregado para tratar esgoto doméstico bruto**. 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- PAOLI, A. C. **Análise de desempenho e comportamento de wetlands horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- PLATZER, C. J. **Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification**. 6th Int. Conf. On Wetland Systems for Water Pollution Control,1998.
- POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. 1st ed. São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 2017.

- POMPÊO, Marcelo. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas**. O ecologia Brasiliensis, v. 12, n. 3, p. 5, 2008.
- POLISEL, Kleber Castilho; PIRES, Eduardo Cleto. **Desempenho de lagoas de maturação utilizando macrófitas aquáticas e chicaneamento**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- PRATA, R. C. C. et al. **Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1144-1155, nov./dez. 2013.
- PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Mota, Francisco Suetônio Bastos; Sperling, Marcos Von (coordenadores). Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- QUEGE, K.E.; ALMEIDA, R.D.A.; UCKER, F.E. **Utilização de plantas de bambu no tratamento de esgoto sanitário pelo sistema de alagados construídos**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170), v.10, n.10, p. 2069-2080, JAN-ABR, 2013.
- ROMITELLI, M. S. **Remoção de Fósforo em efluentes secundários com emprego de macrofitas aquáticas do gênero *Eichhornia***. Revista DAE, 1983.
- ROCHA, A.A. **Ensaio com vegetação Aquática – Aspectos Sanitários e Ecológicos - Aspectos Sanitários e Ecológicos** – Revista DAE 103. 1975.
- SEKOMO, C. B.; et al. **Heavy metal removal by combining anaerobic upflow packed bed reactors with water hyacinth ponds**. Environmental Technology, v. 33, n. 12, p. 1455-1464, 2011.
- SILVA JÚNIOR, Édio Damásio da. **Influência climática em modelos cinético hidrodinâmicos para dimensionamento de wetlands construídas no tratamento de esgoto doméstico**. UNB. Brasília-DF, 2019.
- SILVA, Selma Cristina. **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. UNB. Brasília-DF, 2007.
- SILVEIRA, D. D. **Potencial de remoção de nitrogênio em um único estágio de filtros plantados com macrófitas para o tratamento de esgoto doméstico bruto: aporte da biologia molecular para a compreensão dos processos**. 2015. 251 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- SNIS, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/2016>. Acesso em agosto, 2018.
- SOUZA, José. T.; HAANDEL, Adrianus. V. C.; COSENTINO, Paulo. R. S.; GUIMARÃES, Adriana. V. A. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “WETLANDS” construídos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.4, n.1, p. 87-91. 2000.
- SUNTTI C, Magri ME, Philippi LS. **Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico**. Eng. Sanit. Ambiental. 2011.

VALENTIM, M.A.A. **Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação.** Campinas: UNICAMP/FEAGRI. 210p. Tese Doutorado. 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados.** 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

VON SPERLING, M.; SALAZAR, B. L. **Determination of capital costs for conventional sewage systems (collection, transportation and treatment) in a developing country.** Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development. IWA Publishing, London, 2013.

VYMAZAL, J. **Removal of nutrients in various types of constructed wetlands.** Science of the Total Environment, v. 380, n. 1-3, p. 48-65, 2007.

YAN, JINGSONG – CASE STUDY. **The conversion of Wastewater into Utilizable Resources** Using Water Hyacinths. China: Funmentang University, 1989.

WOLVERTON, B. C.; MCDONALD, R. C. **The Water Hyacinth: From Prolific Pest to Potential Provider.** Ambio, v. 08, n. 01, p. 2 – 9, 1979.

ZOPPAS, Fernanda Miranda; BERNARDES, Andrea Moura and MENEGUZZI, Álvaro. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea.** Eng. Sanit. Ambient. [online] vol.21, n.1, pp.29-42. ISSN 1413-4152, 2016.

7 TABELAS DE APÊNDICE

7.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS TANQUE SÉPTICO

DATAS	SEMANAS	DQO	AMONIA	NITRATO	NITRITO	TEMPERATURA	PH
23/08/2018	1	414,44	58,70	20,31	9,28	24,50	8,07
28/08/2018	2	164,22	50,85	43,74	7,16	26,40	8,04
05/09/2018	3	494,33	55,23	25,11	10,58	26,30	7,58
14/09/2018	4	-	25,46	7,23	4,50	23,80	8,26
20/09/2018	5	106,33	55,53	7,55	6,19	23,10	7,88
28/09/2018	6	342,11	16,05	10,44	6,16	22,10	7,61
05/10/2018	7	78,78	55,90	6,01	3,20	25,20	6,98
10/10/2018	8	169,22	29,28	5,05	10,32	25,30	7,34
18/10/2018	9	60,44	135,33	8,34	2,27	22,80	7,84
24/10/2018	10	299,67	81,04	1,35	2,84	24,60	7,27
01/11/2018	11	239,00	31,00	-	-	25,30	7,45
07/11/2018	12	302,44	70,92	4,71	2,27	29,50	7,28
14/11/2018	13	264,44	138,29	8,19	3,05	25,10	7,03
21/11/2018	14	613,89	128,15	5,91	3,07	23,30	6,83
28/11/2018	15	566,00	54,53	8,41	4,11	23,90	5,23
05/12/2018	16	281,78	94,08	-	0,27	24,60	5,23
22/02/2019	17	327,22	45,84	2,85	2,20	23,40	6,23
01/03/2019	18	171,22	50,87	1,82	1,47	23,50	6,35
08/03/2018	19	620,00	8,20	0,80	-	25,00	5,64
11/03/2019	20	171,22	50,87	1,82	1,47	23,90	7,23
15/03/2018	21	965,00	30,60	1,50	0,08	28,30	7,61
22/03/2019	22	795,56	47,42	0,84	1,71	23,90	6,86
22/03/2018	23	634,00	15,60	0,20	0,06	26,70	6,86
24/03/2019	24	611,00	48,27	4,23	0,31	24,30	7,11
29/03/2018	25	462,00	14,00	0,70	0,05	24,30	7,11
29/03/2019	26	602,33	90,00	3,09	3,14	23,40	7,11
05/04/2019	27	147,89	106,57	3,16	1,60	23,50	7,11
12/04/2019	28	380,11	86,87	1,62	1,92	22,90	7,27
26/04/2019	29	497,78	101,90	5,36	2,06	23,70	7,45
03/05/2019	30	-	-0,82	1,93	3,33	23,60	7,28
17/05/2019	31	499,89	43,79	6,18	5,52	22,8	7,03
24/05/2019	32	-	32,85	13,03	5,70	22,70	6,83
31/05/2019	33	197,78	35,69	13,55	5,70	25,00	5,23
07/06/2019	34	343,33	18,64	14,53	6,83	23,20	5,23
14/06/2019	35	400,00	8,20	17,52	8,05	22,00	6,23
19/06/2019	36	613,33	18,29	17,12	7,51	23,10	7,27
27/06/2019	37	296,67	23,71	10,99	5,02	23,90	7,45

7.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS SAC 1

DATAS	SEMANAS	DQO	AMONIA	NITRATO	NITRITO	TEMPERATURA	PH
23/08/2018	1	160,78	98,38	9,07	4,41	23,90	7,96
28/08/2018	2	152,56	91,26	2,01	1,38	23,70	8,31
05/09/2018	3	73,56	96,31	5,90	2,86	25,10	7,82
14/09/2018	4	44,89	30,98	2,85	2,04	23,10	7,89
20/09/2018	5	86,10	13,26	6,32	5,29	22,90	7,84
28/09/2018	6	215,44	8,30	5,88	2,34	22,00	7,67
05/10/2018	7	97,22	18,53	10,89	3,11	24,20	7,58
10/10/2018	8	273,33	2,64	14,06	1,81	24,80	7,42
18/10/2018	9	184,33	114,34	13,37	1,45	22,60	7,86
24/10/2018	10	134,78	106,28	4,19	2,37	24,30	7,34
01/11/2018	11	192,00	35,00	1,00	0,07	25,20	7,21
07/11/2018	12	314,11	72,88	5,97	0,24	29,60	6,90
14/11/2018	13	225,89	89,96	0,38	3,28	24,80	7,11
21/11/2018	14	473,89	151,48	4,47	3,61	24,10	6,81
28/11/2018	15	383,89	65,52	3,92	2,82	24,00	6,53
05/12/2018	16	157,33	74,83	-2,13	16,13	24,70	6,53
22/02/2019	17	300,78	45,81	4,51	3,09	23,10	6,10
01/03/2019	18	191,22	51,53	2,70	2,57	23,60	6,32
08/03/2018	19	255,00	50,40	0,50	0,08	25,30	5,31
11/03/2019	20	191,22	51,53	2,70	2,57	24,00	7,25
15/03/2018	21	371,00	30,40	0,70	0,05	27,40	7,76
22/03/2019	22	469,11	41,70	-	0,59	23,80	7,31
22/03/2018	23	295,00	12,60	0,40	0,11	24,20	7,31
24/03/2019	24	476,00	67,62	-	-	24,20	7,27
29/03/2018	25	253,00	29,80	0,40	0,21	24,20	7,27
29/03/2019	26	423,78	107,43	-	0,06	23,80	7,27
05/04/2019	27	354,22	116,13	0,56	1,09	22,70	7,27
12/04/2019	28	331,00	149,48	0,17	1,10	22,40	7,34
26/04/2019	29	353,33	120,06	-	1,24	22,70	7,21
03/05/2019	30	-	-	-	0,95	23,40	6,90
17/05/2019	31	487,78	43,79	-	5,72	22,5	7,11
24/05/2019	32	-	37,01	12,18	5,40	22,80	6,81
31/05/2019	33	161,11	37,17	11,61	6,40	25,00	6,53
07/06/2019	34	290,00	20,34	15,10	7,76	23,00	6,53
14/06/2019	35	478,89	7,79	17,91	8,47	20,40	6,10
19/06/2019	36	400,00	19,50	16,39	7,84	22,30	7,34
27/06/2019	37	364,44	28,37	9,37	4,39	22,70	7,21

7.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS SAC 2

DATAS	SEMANAS	DQO	AMONIA	NITRATO	NITRITO	TEMPERATURA	PH
23/08/2018	1	113,33	0,67	0	0,46	25,00	7,26
28/08/2018	2	21,67	59,48	56,80	21,85	25,50	8,19
05/09/2018	3	25,44	1,94	30,93	37,43	28,00	7,26
14/09/2018	4	346,11	51,26	68,28	29,42	23,70	7,45
20/09/2018	5	121,00	48,59	2,56	5,34	22,60	7,50
28/09/2018	6	257,22	50,35	4,63	22,20	21,80	7,30
05/10/2018	7	121,67	3,29	5,36	2,68	24,30	6,72
10/10/2018	8	290,89	82,50	-	2,20	24,60	7,50
18/10/2018	9	52,11	140,19	0,68	1,17	22,00	7,49
24/10/2018	10	125,33	91,35	13,33	8,90	23,80	6,98
01/11/2018	11	128,00	27,20	0,30	0,04	25,40	6,83
07/11/2018	12	216,78	67,67	3,77	2,62	29,90	7,09
14/11/2018	13	-	77,47	1,49	1,80	24,80	7,20
21/11/2018	14	282,33	130,61	1,04	1,49	22,90	7,18
28/11/2018	15	317,78	88,67	0,16	1,71	24,20	6,78
05/12/2018	16	-	71,69	-0,75	1,72	24,70	6,78
22/02/2019	17	99,44	26,84	58,70	14,26	22,40	5,76
01/03/2019	18	33,78	23,30	52,88	4,34	23,70	6,33
08/03/2018	19	56,00	21,40	10,80	0,78	25,20	4,90
11/03/2019	20	33,78	23,30	52,88	4,34	24,20	6,34
15/03/2018	21	49,00	20,00	10,30	0,28	27,60	7,92
22/03/2019	22	92,22	2,49	73,60	12,67	23,50	7,33
22/03/2018	23	29,00	1,00	22,70	0,28	23,80	7,33
24/03/2019	24	120,78	52,78	17,36	8,91	23,80	7,46
29/03/2018	25	29,00	8,60	9,70	0,28	23,80	7,46
29/03/2019	26	115,56	24,57	38,66	7,32	23,60	7,46
05/04/2019	27	-	63,06	50,64	10,04	22,30	7,46
12/04/2019	28	70,89	34,28	60,81	10,13	21,70	6,98
26/04/2019	29	357,11	94,53	29,59	15,18	22,00	6,83
03/05/2019	30	-	-	0,37	1,50	23,00	7,09
17/05/2019	31	371,11	43,79	0,54	4,35	23,00	7,20
24/05/2019	32	-	43,49	6,53	3,05	24,10	7,18
31/05/2019	33	6,67	42,48	0,11	1,58	25,00	6,78
07/06/2019	34	201,11	23,41	4,80	3,12	22,40	6,78
14/06/2019	35	207,78	7,76	14,67	7,80	21,20	5,76
19/06/2019	36	275,56	22,22	12,92	5,85	21,70	6,98
27/06/2019	37	288,89	27,83	8,29	3,98	22,80	6,83

7.4 HISTÓRICO DE VAZÕES REGISTRADAS NO SISTEMA

Data	Hora	Semana	Volume anterior (m ³)	Volume atual (m ³)	Volume real (m ³)	Intervalo de medição (dias)	Vazão diária (m ³ .d ⁻¹)	Vazão diária (L.d ⁻¹)	Tempo
18/08/2018	13:30:00	1	27,83	30,19	2,36	3,00	0,79	786,67	Ensolarado
24/08/2018	13:30:00	2	30,19	30,19	0,00	3,00	0,00	0,00	Ensolarado
31/08/2018	13:30:00	3	30,19	31,74	1,55	3,00	0,52	516,67	Ensolarado
05/09/2018	12:00:00	4	31,74	32,19	0,45	3,00	0,15	150,00	Ensolarado
14/09/2018	08:00:00	5	32,19	34,06	1,87	4,00	0,47	467,50	p/nublado
17/09/2018	12:00:00	6	34,06	37,21	3,15	3,00	1,05	1050,00	chuva
19/09/2018	08:00:00	6	37,21	38,22	1,01	2,00	0,50	505,00	nublado
21/09/2018	09:00:00	6	38,22	39,10	0,88	2,00	0,44	440,00	ensolarado
24/09/2018	10:00:00	7	39,10	40,27	1,17	3,00	0,39	390,00	ensolarado
28/09/2018	10:00:00	8	40,27	41,28	1,01	4,00	0,25	252,50	chuva
05/10/2018	07:30:00	9	41,28	41,37	0,09	7,00	0,01	12,86	chuva
08/10/2018	18:13:00	10	41,37	45,81	4,44	3,00	1,48	1480,00	sol
10/10/2018	08:00:00	10	45,81	46,60	0,79	2,00	0,40	395,00	chuva
16/10/2018	08:00:00	11	46,60	52,00	5,40	6,00	0,90	900,00	chuva
18/10/2018	08:00:00	11	52,00	53,00	1,00	2,00	0,50	500,00	ensolarado
22/10/2018	09:00:00	12	53,00	58,78	5,78	4,00	1,45	1445,00	ensolarado
24/10/2018	10:00:00	12	58,78	59,38	0,60	2,00	0,30	300,00	p/nublado
26/10/2018	12:32:00	12	59,38	59,90	0,52	2,00	0,26	260,00	p/nublado
29/10/2018	12:11:00	13	59,90	61,03	1,13	3,00	0,38	376,67	p/nublado
30/10/2018	11:36:00	13	61,03	63,83	2,80	1,00	2,80	2800,00	p/nublado
01/11/2018	12:21:00	13	63,83	65,89	2,06	2,00	1,03	1030,00	p/nublado
05/11/2018	18:00:00	14	65,89	71,61	5,72	4,00	1,43	1430,00	p/nublado
06/11/2018	08:02:00	14	71,61	72,34	0,73	5,00	0,15	146,00	p/nublado
07/11/2018	07:02:00	14	72,34	74,01	1,67	1,00	1,67	1670,00	chuva
08/11/2018	13:30:00	14	74,01	75,87	1,86	1,00	1,86	1860,00	chuva
09/11/2018	14:30:00	14	75,87	76,47	0,60	1,00	0,60	600,00	chuva
12/11/2018	12:00:00	15	76,47	78,41	1,94	3,00	0,65	646,67	chuva
13/11/2018	12:00:00	15	78,41	78,79	0,38	1,00	0,38	380,00	p/nublado
16/11/2018	12:00:00	15	78,79	79,58	0,79	3,00	0,26	263,33	p/nublado
19/11/2018	18:30:00	16	79,58	80,56	0,98	3,00	0,33	326,67	p/nublado
27/11/2018	08:00:00	17	80,56	89,74	9,18	8,00	1,15	1147,50	p/nublado
28/11/2018	08:00:00	17	89,74	89,78	0,04	1,00	0,04	40,00	p/nublado
29/11/2018	12:50:00	17	89,78	90,72	0,94	1,00	0,94	940,00	ensolarado
30/11/2018	08:00:00	17	90,72	91,38	0,66	1,00	0,66	660,00	ensolarado
01/12/2018	08:00:00	17	91,38	92,82	1,44	1,00	1,44	1440,00	ensolarado
03/12/2018	12:00:00	18	92,82	95,39	2,57	2,00	1,29	1285,00	ensolarado
05/12/2018	07:00:00	19	95,39	97,30	1,91	2,00	0,95	955,00	ensolarado
06/12/2018	16:00:00	20	97,30	98,18	0,88	1,00	0,88	880,00	ensolarado
07/12/2018	17:00:00	21	98,18	98,62	0,44	1,00	0,44	440,00	ensolarado
09/12/2018	18:00:00	22	98,62	98,62	0,00	2,00	0,00	0,00	ensolarado
10/12/2018	18:27:00	22	98,62	99,25	0,63	1,00	0,63	630,00	ensolarado
11/12/2018	20:35:00	22	99,25	99,76	0,51	1,00	0,51	510,00	ensolarado

14/12/2018	12:19:00	22	99,76	99,92	0,16	3,00	0,05	53,33	ensolarado
19/12/2018	20:20:00	22	99,92	99,92	0,00	5,00	0,00	0,00	ensolarado
20/12/2018	18:53:00	22	99,92	99,92	0,00	1,00	0,00	0,00	ensolarado
22/12/2018	09:19:00	22	99,92	99,92	0,00	2,00	0,00	0,00	ensolarado
11/01/2019	18:00:00	23	99,92	99,92	0,00	20,00	0,00	0,00	ensolarado
12/01/2019	08:02:00	22	99,92	100,97	1,05	1,00	1,05	1050,00	ensolarado
17/01/2019	14:08:00	23	100,97	101,74	0,77	5,00	0,15	154,00	ensolarado
23/01/2019	18:36:00	24	101,74	108,21	6,47	6,00	1,08	1078,33	ensolarado
28/01/2019	19:58:00	25	108,21	108,21	0,00	5,00	0,00	0,00	ensolarado
07/02/2019	12:07:00	26	108,21	108,21	0,00	10,00	0,00	0,00	ensolarado
11/02/2019	17:53:00	27	108,21	110,99	2,78	4,00	0,70	695,00	ensolarado
12/02/2019	19:00:00	27	110,99	111,67	0,68	1,00	0,68	680,00	ensolarado
14/02/2019	13:18:00	27	111,67	111,79	0,12	2,00	0,06	60,00	ensolarado
15/02/2019	07:15:00	27	111,79	112,25	0,46	1,00	0,46	460,00	ensolarado
18/02/2019	12:40:00	28	112,25	112,25	0,00	3,00	0,00	0,00	ensolarado
19/02/2019	14:43:00	28	112,25	112,25	0,00	1,00	0,00	0,00	ensolarado
21/02/2019	12:36:00	28	112,25	113,13	0,88	2,00	0,44	440,00	ensolarado
22/02/2019	09:34:00	28	113,13	113,82	0,69	1,00	0,69	690,00	ensolarado
25/02/2019	12:44:00	29	113,82	116,28	2,46	3,00	0,82	820,00	ensolarado
01/03/2019	11:25:00	30	116,28	117,76	1,48	4,00	0,37	370,00	ensolarado
08/03/2019	13:18:00	31	117,76	120,06	2,30	7,00	0,33	328,57	ensolarado
11/03/2019	18:16:00	31	120,06	120,54	0,48	3,00	0,16	160,00	ensolarado
12/03/2019	17:51:00	31	120,54	120,82	0,28	1,00	0,28	280,00	ensolarado
14/03/2019	17:42:00	32	120,82	121,34	0,52	2,00	0,26	260,00	ensolarado
15/03/2019	12:17:00	32	121,34	121,49	0,15	1,00	0,15	150,00	ensolarado
18/03/2019	13:17:00	33	121,49	124,68	3,19	3,00	1,06	1063,33	ensolarado
20/03/2019	13:49:00	33	124,68	126,85	2,17	2,00	1,08	1085,00	ensolarado
21/03/2019	14:49:00	34	126,85	128,30	1,45	1,00	1,45	1450,00	ensolarado
22/03/2019	12:31:00	33	128,30	128,50	0,20	1,00	0,20	200,00	ensolarado
23/03/2019	12:11:00	33	128,50	129,31	0,81	1,00	0,81	810,00	ensolarado
26/03/2019	11:05:00	34	129,31	131,26	1,95	3,00	0,65	650,00	ensolarado
27/03/2019	12:05:00	34	131,26	131,57	0,31	1,00	0,31	310,00	ensolarado
28/03/2019	11:05:00	34	131,57	133,59	2,02	1,00	2,02	2020,00	ensolarado
29/03/2019	11:15:00	34	133,59	134,12	0,53	1,00	0,53	530,00	ensolarado
01/04/2019	12:15:00	35	134,12	135,25	1,13	3,00	0,38	376,67	ensolarado
02/04/2019	13:15:00	36	135,25	136,12	0,87	1,00	0,87	870,00	ensolarado
09/04/2019	14:15:00	37	136,12	136,12	0,00	7,00	0,00	0,00	ensolarado
10/04/2019	15:15:00	38	136,12	136,12	0,00	1,00	0,00	0,00	ensolarado
16/04/2019	16:15:00	39	136,12	139,08	2,96	6,00	0,49	493,33	p/nublado
17/04/2019	12:00:00	39	139,08	140,51	1,43	1,00	1,43	1430,00	p/nublado
22/04/2019	11:00:00	40	140,51	143,66	3,15	5,00	0,63	630,00	p/nublado
23/04/2019	12:00:00	41	143,66	144,65	0,99	1,00	0,99	990,00	ensolarado
25/04/2019	13:00:00	42	144,65	145,65	1,00	2,00	0,50	500,00	ensolarado
03/05/2019	06:00:00	43	145,65	146,83	1,18	8,00	0,15	147,50	ensolarado
10/05/2019	07:00:00	44	146,83	146,83	0,00	7,00	0,00	0,00	ensolarado
16/05/2019	12:00:00	45	146,83	148,11	1,28	6,00	0,21	213,33	ensolarado

17/05/2019	09:00:00	46	148,11	149,74	1,63	1,00	1,63	1630,00	ensolarado
20/05/2019	10:00:00	47	149,74	151,10	1,36	3,00	0,45	453,33	ensolarado
24/05/2019	11:00:00	48	151,10	152,57	1,47	4,00	0,37	367,50	ensolarado
28/05/2019	12:00:00	49	152,57	152,57	0,00	4,00	0,00	0,00	ensolarado
31/05/2019	13:00:00	50	152,57	152,57	0,00	3,00	0,00	0,00	ensolarado
07/06/2019	13:00:00	51	152,57	153,96	1,39	7,00	0,20	198,57	ensolarado
12/06/2019	13:00:00	52	153,96	156,07	2,11	5,00	0,42	422,00	ensolarado
14/06/2019	13:00:00	53	156,07	157,77	1,70	2,00	0,85	850,00	ensolarado
19/06/2019	12:00:00	54	157,77	160,00	2,23	5,00	0,45	446,00	ensolarado
27/06/2019	12:00:00	55	160,00	165,28	5,28	8,00	0,66	660,00	ensolarado
30/06/2019	15:42:00	56	165,28	166,15	0,87	3,00	0,29	290,00	ensolarado
01/07/2019	13:00:00	57	166,15	166,48	0,33	1,00	0,33	330,00	ensolarado
02/07/2019	15:48:00	58	166,48	166,78	0,30	1,00	0,30	300,00	ensolarado
04/07/2019	11:43:00	59	166,78	167,36	0,58	2,00	0,29	290,00	ensolarado
05/07/2019	17:34:00	60	167,36	168,09	0,73	1,00	0,73	730,00	ensolarado
06/07/2019	17:12:00	61	168,09	168,37	0,28	1,00	0,28	280,00	ensolarado
07/07/2019	16:44:00	62	168,37	168,59	0,22	1,00	0,22	220,00	ensolarado
08/07/2019	17:11:00	63	168,59	168,91	0,32	1,00	0,32	320,00	ensolarado
09/07/2019	17:26:00	64	168,91	168,98	0,07	1,00	0,07	70,00	ensolarado
10/07/2019	13:46:00	65	168,98	169,29	0,31	1,00	0,31	310,00	ensolarado
14/07/2019	17:08:00	66	169,29	170,54	1,25	4,00	0,31	312,50	ensolarado

7.5 REMOÇÕES REALIZADAS DAS PLANTAS (BIOMASSA) NO SISTEMA

DATA	Biomassa (Kg)	Quantidade de plantas retiradas
29/08/2018	3,78	11
28/09/2018	6,01	16
29/10/2018	7,20	20
28/11/2018	9,48	20
12/02/2019	15,00	3 sacos de 10L aguapés mortos
30/03/2019	10,25	retirado apenas aguapés mortos
29/06/2019	7,71	14 aguapés + folhas mortas
29/06/2019	27,00	Realizada a poda do <i>Costus Spicatus</i> . Foram padronizadas as mudas para 60 cm de altura os caules das plantas.