



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO FINAL DE CURSO

LAÊNIA CÂNDIDO BEZERRA

**FITORREMEDIAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA
UTILIZANDO ALFACE (*Lactuca sativa*) E AGUAPÉ (*Eichhornia crassipes*)**

João Pessoa – PB

2019

LAÊNIA CÂNDIDO BEZERRA

**FITORREMEDIAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA
UTILIZANDO ALFACE (*Lactuca sativa*) E AGUAPÉ (*Eichhornia crassipes*)**

Trabalho Final de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Química,
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Giovanilton Ferreira da Silva
Coorientadora: Profa. Dr^a. Cláudia de Oliveira
Cunha

João Pessoa

2019

B574f Bezerra, Laênia Cândido.

Fitorremediação para tratamento de água residuária utilizando alface (*Lactuca sativa*) e aguapé (*Eichhornia crassipes*) / Laênia Cândido Bezerra.
– João Pessoa, 2019.

49f. il.:

Orientadora: Prof^ª. Dr. Giovanilton Ferreira da Silva

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Química) Campus I -
UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Fitorremediação 2. Água residuária 3. Alface 4. Aguapé

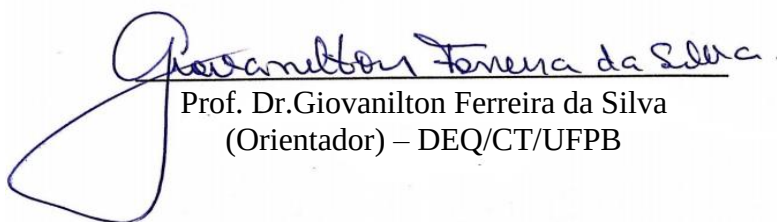
BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 628.16(043.2)

LAÊNIA CÂNDIDO BEZERRA

**FITORREMEDIAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA
UTILIZANDO ALFACE (*Lactuca sativa*) E AGUAPÉ (*Eichhornia crassipes*)**

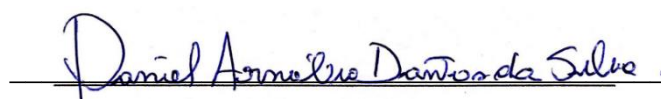
Trabalho Final de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Química,
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química.



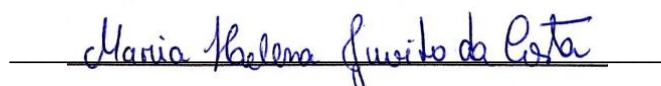
Prof. Dr. Giovanilton Ferreira da Silva
(Orientador) – DEQ/CT/UFPB



Prof. Drª. Cláudia de Oliveira Cunha
(Coorientadora) – DQ/CCEN/UFPB



Eng. Daniel Arnóbio Dantas Silva
(Examinador) – PPGEQ/CT/UFPB



Engª. Maria Helena Juvito da Costa
(Examinadora) – PPGEQ/CT/UFPB

*“Meus pés inchados doem de tanto caminhar
Mas vou ignorar pois tenho lutas pra travar, deixa sangrar
Pois a força que está em mim já pode suportar”*

(Pregador Luo)

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Agradeço a minha família, que sempre me apoiou e esteve sempre ao meu lado.

Aos queridos amigos que são como irmãos para mim que surgiram durante este curso, a Jacyara Florêncio que me ajudava emocionalmente me ouvindo e me dando conselhos, ao Eliandro Teles que surgiu a pouco tempo, mas se mostrou um grande amigo sempre presente, me ajudando nos experimentos e sempre me fazendo companhia, muito obrigada meu anjo, a Pricila por me ajudar nos momentos difíceis deste curso. Para vocês vai meu muito obrigada pela amizade e companheirismo de vocês nessa minha jornada acadêmica e espero que continuemos juntos mesmo distante.

Aos professores do Departamento de Engenharia Química que contribuíram para o meu engrandecimento intelectual e a crescer como pessoa.

À professora Cláudia por permitir que meu experimento fosse realizado no laboratório do LEQA e por ter aceitado me coorientar, obrigada por ter me ajudado e ser uma professora tão presente desde meu PIBIC como agora, muito obrigada professora por tudo, sou muito agradecida a senhora.

Ao professor Giovanilton por ter aceitado me orientar e me ajudado a melhorar uma simples ideia de tratar água com plantas.

Aos queridos amigos e colegas de curso, que foram de grande importância e dividiram comigo essa jornada. Em especial, Márcia Raquel que chegou perdida no curso, mas sempre puxou minha orelha quando eu estava dispersa, a Felipe Machado, Rayanne Barros, Maria Helena, Daniel Arnóbio, o pessoal do LEQA, Katiusca, Kelvin e Isla, pessoas que conheci durante a graduação e tenho profundo carinho. A Thiago Marinho meu amigo que proporcionou tantos sorrisos e momentos felizes.

Muito obrigada a todos que me acompanharam nesta jornada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem da quantidade de água doce em relação dos recursos hídricos mundiais	17
Figura 2 – Distribuição de água em relação a superfície e a quantidade populacional	18
Figura 3 – Representação das águas cinzas (claras e escuras) e águas negras	21
Figura 4 – Possíveis destinos dos poluentes durante a fitorremediação	24
Figura 5 – Tecnologia de fitorremediação usada para remediar poluente	25
Figura 6 - Tanque de HDPE	29
Figura 7 – Plantio da Alfaca Mônica SF 31 da marca Feltrin [®]	30
Figura 8 – Construção do sistema floating para a alfaca	31
Figura 9 – Sistema do corpo de prova, tambor de HDPE	31
Figura 10 – Disposição dos sistemas em frente ao LEQA	31
Figura 11 – Local da coleta do aguapé	32
Figura 12 – Sistema de tratamento utilizando aguapé	32
Figura 13 – Turbidímetro PoliControl AP-000 iR	33
Figura 14 – pHmetro microprocessado ALFAKIT AT-355	34
Figura 15 – Tubos para análise de DQO	35
Figura 16 – Bloco Digestor MERCK Spectroquant [®] TR 420	35
Figura 17 – Alfaca antes de ser colocada no sistema de água cinza pouco aerado	37
Figura 18 – Alfaca depois de 7 dias em um ambiente pouco aerado	37
Figura 19 – Alfaca antes de ser colocada na água cinza bem aerada	38
Figura 20 – Alfaca depois de 7 dias na água cinza bem aerada	38
Figura 21 – Valores do pH dos três sistemas ao longo dos 7 dias	39
Figura 22 – Valores da DQO do aguapé durante os 7 dias	40
Figura 23 – Valores da DQO da Alfaca ao longo dos 7 dias	41
Figura 24 – Valores da turbidez do aguapé ao longo dos 7 dias	42
Figura 25 – Imagem da raiz do aguapé saturada de matéria orgânica	42
Figura 26 – Valores de turbidez para a alfaca durante os 7 dias	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificações da água de reúso e seus respectivos parâmetros de qualidade	20
Tabela 2 - Tipos de Tratamento e seus métodos	22
Tabela 3 – Métodos de biorremediação e seus respectivos princípios	23
Tabela 4 – Valores experimentais obtidos ao longo dos 7 dias.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APHA – *American Publish Health Association* – Associação Americana de Saúde Pública

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CP – Corpo de Prova

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETEs – Estações de Tratamento de Efluentes

HDPE – *High-density polyethylene* – Polietileno de Alta Densidade

OD – Oxigênio Dissolvido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	Recursos Hídricos	17
3.2	Águas de Reúso	18
3.3	Caracterização das Águas Residuárias	20
3.4	Tipos de Tratamento	21
3.5	Biorremediação	23
3.6	Fitorremediação	24
3.7	Alface (<i>Lactuca sativa</i>)	26
3.8	Aguapé (<i>Eichhornia crassipe</i>).....	26
3.9	Parâmetros Analisados.....	27
3.9.1	Oxigênio Dissolvido (OD)	27
3.9.2	Turbidez.....	27
3.9.3	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	28
3.9.4	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1	Montagem do Sistema de Tratamento da Água.....	29
4.2	Preparação do Efluente Sintético	29
4.3	Montagem do sistema floating para a alface e do sistema do corpo de prova.....	30
4.4	Montagem do sistema para o aguapé	32
4.5	Oxigênio Dissolvido (OD).....	33
4.6	Turbidez	33
4.7	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	34
4.8	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Análises físico-químicas	36
5.2	Oxigênio dissolvido	36
5.3	pH.....	38

5.4	DQO.....	40
5.5	Turbidez	41
6	CONCLUSÃO.....	44
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
	REFERÊNCIAS	46

RESUMO

A água é uma das chaves para a manutenção da vida na terra e a cada dia o seu mau uso traz como consequências a busca por novas fontes de água para suprir a escassez que certos lugares enfrentam, porém mananciais de alta qualidade estão cada vez mais escassos e para aplacar essa necessidade alternativas são necessárias e uma delas é a reutilização da água. A água residuária pode ser reutilizada para atividades que não requeiram que seja potável, e quando necessitam de uma melhor qualidade passam por vários processos e um deles é o biológico para a diminuição da carga orgânica. Um modo de tratamento alternativo é fazendo o uso de plantas, pois atualmente é crescente o número de estudos que investigam o uso de plantas para o tratamento de águas residuárias. Para esta prática, dá-se o nome de fitorremediação. Dentre algumas espécies, pode-se destacar as aquáticas, como o aguapé, que vêm apresentando resultados promissores no tratamento de água devido suas propriedades hiperacumulativas. A água utilizada no estudo foi voltada para a água de pia de cozinha que é tida como de difícil tratamento por conter óleos e altas quantidades de carga orgânica, onde este trabalho vem trazer a comparação desses dois sistemas diferentes para o tratamento da água de pia de cozinha, fazendo uso de uma planta totalmente aquática, o aguapé (*Eichhornia crassipes*), e a outra podendo ser utilizada em um sistema hidropônico, a alface (*Lactuca sativa*). Neste trabalho, pode-se reafirmar a capacidade de filtragem do aguapé, onde os resultados apresentaram uma diminuição da turbidez de 90 %, e uma diminuição de DQO de 68,8 % e os resultados para a alface foi uma diminuição de 92% da turbidez e da DQO em 66,1%. Além da importância da presença do oxigênio dissolvido no meio para auxiliar o tratamento da água.

Palavras chave: Água residuária; Fitorremediação; Aguapé; alface.

ABSTRACT

Water is one of the keys to the maintenance of life on earth and its misuse every day results in the search for new sources of water to supply the scarcity that some places face, but high quality springs are increasingly scarce. and to allay this need alternatives are needed and one of them is the reuse of water. Wastewater can be reused for activities that do not require it to be potable, and when they need better quality they go through various processes and one of them is the biological one to decrease the organic load. An alternative mode of treatment is the use of plants, as the number of studies investigating the use of plants for wastewater treatment is increasing. This practice is called phytoremediation. Among some species, we can highlight the aquatic ones, such as water hyacinth, which have shown promising results in water treatment due to their hyperaccumulative properties. The water used in the study was directed to kitchen sink water, which is considered difficult to treat because it contains oils and high amounts of organic load, where this work brings a comparison of these two different systems for the treatment of kitchen sink water. It uses a fully aquatic plant, water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), and the other can be used in a hydroponic system, lettuce (*Lactuca sativa*). In this work, we can reaffirm the filtering capacity of the water hyacinth, where the results showed a 90% decrease in turbidity, and a 68.8% reduction in COD and the results for lettuce was a 92% decrease in turbidity. and COD by 66.1%. In addition to the importance of the presence of dissolved oxygen in the medium to aid water treatment.

Keywords: Wastewater; Phytoremediation; Water hyacinth; Lettuce.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida na Terra, sendo um solvente universal que dificilmente vai ser encontrado na sua forma pura. Embora cerca de 70% do planeta seja composto por água, mais de 90% é salgada, restando assim uma fração de água doce para consumo dos seres vivos. Atualmente, o uso indevido da água vem reduzindo a quantidade de reservas de água potável no mundo, tornando-se cada vez mais escassa. Vale salientar que o consumo da água está dividido em três grandes atividades, a maior parte da água é utilizada na agricultura, seguindo pela indústria e por fim para o uso doméstico (IDEC, 2005). Dentro desse contexto, o reúso da água surge como uma alternativa para redução no uso indiscriminado e para em uma maior distribuição e acesso de água potável no mundo.

Como a qualidade da água está relacionada à fins específicos, sendo caracterizada por vários parâmetros físicos, químicos e biológicos, onde a Resolução CONAMA 357/05 regula as quantidades permitidas de contaminante na água.

A crescente urbanização exige uma maior demanda de água, porém há atividades que não se faz necessário uma qualidade de água elevada, tornando-se interessante o reúso de águas denominadas águas residuárias que consiste no uso das águas que já foram utilizadas para alguma atividade como por exemplo as águas derivadas de pia de cozinha, lava louças, água de máquina de lavar, chuveiro e pias, que são tidas também como águas cinzas. E de um modo mais simples pode se utilizar para regar os jardins, uso paisagístico, lavar calçadas e carros. (TELLES *et al*, 2010).

Diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de investigar o efeito da água residuária sobre a alface como nos trabalhos tratados por Dediu (2012) e De Oliveira (2016). Mas toda água dependendo do seu uso, até mesmo a residuária, necessita de uma classificação e dependendo de qual seja tem um uso específico em certos casos necessitam de tratamento, que pode ser do mais simples ao mais complexo dependendo do seu destino. E uma das etapas de um tratamento convencional é o tratamento biológico que consiste na diminuição da carga orgânica (BAZZARELA, 2016).

A fitorremediação assume um papel fundamental no tratamento biológico da água residuária, o qual irá tratar a água para deixar dentro dos parâmetros adequados. As plantas mais utilizadas são as aquáticas, e vários trabalhos são feitos sobre sua eficácia da melhoria da água das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que depois de tratadas são lançadas nos rios ou então usadas para tratar a água de pisciculturas diminuindo a turbidez e a carga orgânica que

seria prejudicial para a saúde e crescimento dos peixes(SOUSA, 2014; RIGO, 2017; DA ROS, 2017) .

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo Geral*

Analisar a eficiência do aguapé (*Eichhornia crapisses*) e da alface (*Lactuca sativa*) como fitorremediadores em água residuária proveniente de pia da cozinha.

2.2 *Objetivos Específicos*

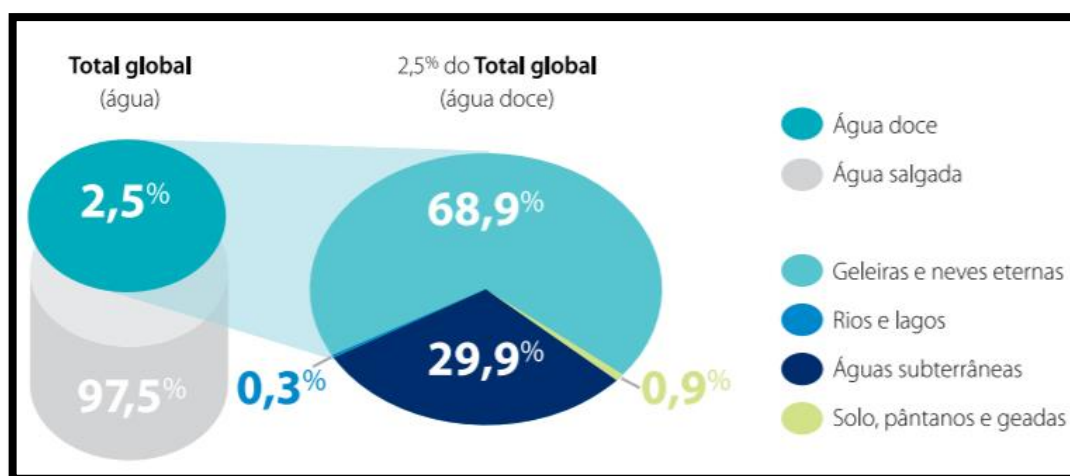
- Avaliar o efeito do aguapé (*Eichhornia crapisses*) no tratamento da água residuária;
- Avaliar o efeito da alface (*Lactuca sativa*) sobre a água residuária;
- Avaliar a qualidade da água em cada tratamento por meio de análises físicas e químicas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Recursos Hídricos

A água é o recurso mais abundante do planeta Terra, cobrindo cerca de 70% de sua superfície. Como mostrado na Figura 1, de toda a água do planeta, 97,5% é de água salgada e 2,5% é de água doce, porém, a maior parte da água doce, está distribuída em geleiras ou regiões de difícil acesso, resultando em apenas 0,3%, a porcentagem da água que constitui os rios e lagos, que são os mais utilizados para o consumo. Além de ser uma pequena parcela, ela não está bem distribuída e assim, há lugares que sofrem com a falta de água (IDEC, 2005).

Figura 1 – Porcentagem da quantidade de água doce em relação dos recursos hídricos mundiais

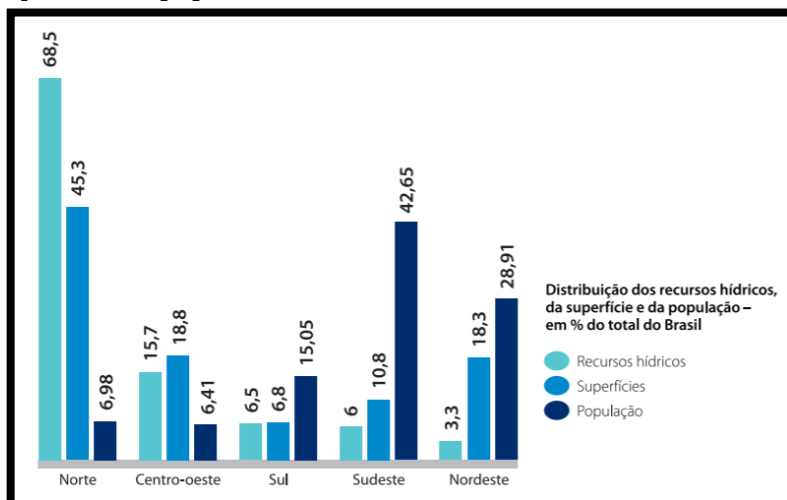


Fonte: IDEC, 2005.

O uso excessivo dos recursos hídricos só tende a aumentar e novas fontes para o abastecimento se tornam cada vez mais escassas, portanto, para atender a esta demanda tem-se destacado fontes alternativas de águas antes tidas como inutilizáveis, uma dessas fontes alternativas é água de reúso (ALLEN *et al*, 2010).

O Brasil não é exceção à má distribuição de fontes de água doce, embora abrigue 13% da água doce do mundo, existem regiões que sofrem com escassez de água. A Figura 2 é mostrado que a região Nordeste, possui a segunda maior concentração populacional, entretanto 58% da população é atendida com a distribuição de água. Já a região Norte apresenta a menor concentração populacional, e abriga cerca de 73% dos recursos hídricos do país (SHI/ANEEL, 1999). Já em outras regiões acontece o desperdício da água. no qual uma grande parcela da água tratada é destinada para a agricultura que não necessita de uma qualidade tão elevada.

Figura 2 – Distribuição de água em relação a superfície e a quantidade populacional



Fonte: IDEC, 2005.

3.2 Águas de Reúso

A diminuição do uso de água tratada para atividades que não requerem tanta potabilidade implementando a reutilização da água, se torna cada vez mais interessante, pois, promove a preservação dos mananciais para usos nobres. A reutilização da água está atrelada a necessidade de uma melhor administração dos efluentes, dos quais, muitas vezes não necessitam de tratamentos rigorosos para a reutilização, compensando assim, a demanda de água e preservando os mananciais de qualidade superior para o abastecimento da população, tendo como vantagens, o controle do desperdício, diminuição dos efluentes produzidos e menor consumo de água tratada (TELLES *et al*, 2010).

O reúso da água está ligado intrinsecamente ao conceito de sustentabilidade, pois na maioria dos sistemas modernos de águas residuais, elas são tratadas e então descartadas no oceano ou em outros corpos de água, anulando o potencial de reutilização destas águas residuais tratadas (SCHAER-BARBOSA, 2014).

A Agenda 21 traz a ideia do planejamento do uso da água juntamente com a sustentabilidade, ou seja, a conservação e a reutilização da água de uma maneira segura, sem colocar em risco a saúde. A Lei Federal nº 6.938/81 traz a racionalização da água como meio de preservação. As águas de reúso vêm com a ideia de reciclagem da água para fins que não haja tanto contato primário e tem suas classificações e padrões. A Lei 9433/97 Art. 9º enquadra

os corpos de água em classes segundo os seus usos preponderantes, visa a assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas.

As águas de reúso são classificadas segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) como sendo:

- Reúso não-potável, utilizados na agricultura, municipal, industrial e melhorias recreacionais e ambientais.
- Reúso potável é dividido em dois, direto e indireto. Para o direto o esgoto passa por tratamento avançado e assim podendo ser reutilizado diretamente no sistema como água potável, já para o indireto acontece quando o esgoto, depois do tratamento é lançado nos rios para purificação natural e posteriormente captação, tratamento e finalmente utilizado como água potável (BAZZARELA, 2005). Além do reúso direto e indireto, tem-se a reciclagem interna que consiste no reuso interno da água às instalações industriais, para economia da água. As utilizações mais comuns são para o reuso não potável é a destinação da água da máquina de lavar para lavagem de calçadas e utilização em vasos sanitários já que não vai haver contato. E até mesmo a utilização da água de reuso para regar plantação dependendo da sua qualidade, caso tenha sido desinfetada (CAVALCANTE, 2017).

A legislação é quem define os parâmetros adequados e como deverá ser feita seu manuseio e utilização de maneira que não haja danos à saúde pública. Na Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) N°. 54, de 28 de novembro de 2005 no Artigo 3º determina que o reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as modalidades para fins urbanos, agrícolas, ambientais no uso para implementação de projetos de recuperação do meio ambiente, fins industriais e para a aquicultura, onde inclui criação de animais e/ou cultivo de vegetais aquáticos. Nos casos simples de reuso, ou seja, menos exigentes (por exemplo, descarga dos vasos sanitários) pode-se prever o uso da água de enxágue das máquinas de lavar. Na NBR 13969/97 são estabelecidos critérios de qualidade da água para reuso, em termos gerais, podem ser definidas as seguintes classificações e respectivos valores de parâmetros para esgotos (Tabela 1), conforme o reuso:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.
- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.

- Classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários.
- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Tabela 1 – Classificações da água de reúso e seus respectivos parâmetros de qualidade

Classes	Turbidez	Coliforme Fecal	SDT	pH	Cloro Residual	OD
1	<5	<200 NMP/100 mL	<200 mg/L	Entre 6 e 8	Entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L	-
2	<5	<500 NMP/100 mL	-	-	>0,5 mg/L	-
3	>10	<500 NMP/100 mL	<200 mg/L	-	-	-
4		<5000 NMP/100 mL	-	-	-	>2,0 mg/L

Fonte: Adaptado de NBR 13969/97.

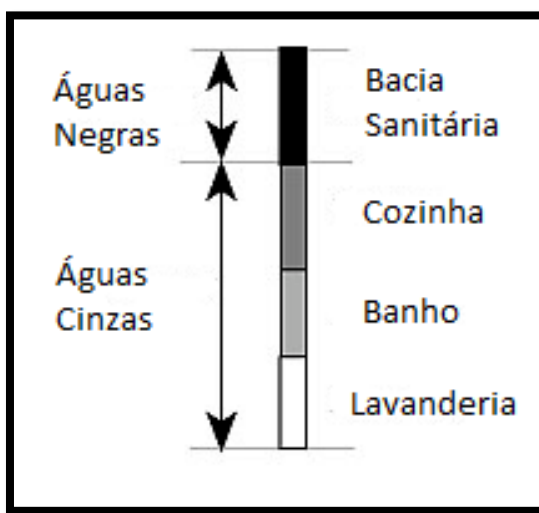
A reciclagem de águas residuais está emergindo como parte integrante do gerenciamento da demanda de água, promovendo a preservação do suprimento de água doce de alta qualidade, além de potencialmente reduzir o poluente no ambiente e reduzir os custos gerais (JEFFERSON *et al*, 1999).

3.3 Caracterização das Águas Residuárias

Dentre as possíveis novas fontes de suprimento está a água cinza; a qual é definida de maneira ligeiramente diferente em diversas partes do mundo, geralmente se refere às águas residuais geradas a partir de usos domésticos (ALLEN *et al*, 2010). Elas são caracterizadas como cinzas as que provém de operações domésticas de lavagem, tais fontes incluem resíduos de lavatórios, pias de cozinha e máquinas de lavar, correspondendo a cerca de 41 a 91 % do esgoto doméstico, mas excluem especificamente fontes de água negra, como as advindas de vaso sanitário, bidê e mictórios (JEFFERSON *et al*, 1999; BOYJOO *et al*, 2013).

As águas cinzas podem ser divididas em duas: águas cinzas claras que são as que contém baixa carga orgânica, como as águas vindas de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar, e as águas cinzas escuras são as oriundas da pia de cozinha e lava-louças que tendem a ter altas concentrações de matéria orgânica que incentivam o crescimento de bactérias. (KRISHNAN *et al*, 2008). Na Figura 3 pode ser observada a divisão entre as águas negras e cinzas.

Figura 3 – Representação das águas cinzas (claras e escuras) e águas negras



Fonte: Adaptado de < <http://www.greywater.com/pollution.htm>>. Acesso em 10 de outubro de 2019.

3.4 Tipos de Tratamento

Com a classificação adequada do efluente e sua destinação é possível escolher o melhor tratamento, ou seja, o nível do tratamento e a verificação se a qualidade para o fim que é dado foi atingida. Havendo assim tratamentos físicos, químico e biológicos, (REBÊLO, 2011). Além disso, o tratamento adequado para água de reuso sofre alterações devido a diversidade da fonte geradora, podendo ser de cozinha ou de máquina de lavar. Os tratamentos variam de simples a avançados, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de Tratamento e seus métodos

TIPO DE SISTEMA	MÉTODO
SISTEMA SIMPLIFICADOS TIPO DOIS ESTÁGIOS	Composto por um sistema de filtração e desinfecção. Utilizado mais em reúso doméstico, e pela presença da desinfecção se torna mais seguro, pela diminuição dos possíveis patógenos (RAPOPORT, 2004).
SISTEMA FÍSICOS E FÍSICO-QUÍMICOS	A parte do tratamento físico consiste na filtração utilizando leitos de areia e processos que fazem uso de membranas. O tratamento utilizando filtros de areia servem para retenção de material particulado macro, já as membranas conseguem reter os coliformes presentes na água, com a desvantagem de alto custo energético (RAPOPORT, 2004).
TRATAMENTO COMPLETO/CONVENCIONAL	Onde o efluente passa pelo procedimento convencional consistindo de filtração, coagulação, floculação, clarificação e desinfecção. Removendo assim as bactérias e resíduos a níveis aceitáveis pelos órgãos públicos (DE REZENDE, 2016).
SISTEMAS BIOLÓGICOS	O tratamento biológico consiste na remoção de material biodegradável. Um sistema de tratamento biológico muito utilizado é o de wetlands, onde a água cinza passa por uma zona molhada composta por plantas com grande poder de absorção em suas raízes havendo diminuição de bactérias patogênicas, DBO e nutrientes (BAZZARELLA, 2005).

3.5 Biorremediação

A biorremediação surge como uma alternativa aos processos convencionais para o tratamento de água, que por meio do uso de microrganismos ou processos biológicos degradam os contaminantes presentes seja na água ou no solo (BOOPATHY, 2000). com o objetivo de adequar um determinado efluente a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. A biorremediação está definida como um processo pelo qual os resíduos orgânicos podem ser degradados biologicamente ou torna-los menos tóxicos, fazendo uso de bactérias nativas ou não, além de fungos e plantas para mitigação dos problemas envolvendo contaminantes, sejam eles pesticidas, petróleo, metais pesados ou para o tratamento de água residuária (VIDALI, 2001). Os métodos para a biorremediação estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Métodos de biorremediação e seus respectivos princípios

MÉTODO	PRINCÍPIO
ATENUAÇÃO NATURAL	Existência de microrganismos nativos capazes de degradar os contaminantes no local onde há contaminação.
BIOAUMENTAÇÃO	Inserir microrganismos pré-selecionados com capacidade de mitigar os contaminantes locais que são de difícil remoção para a microbiota nativa.
BIOESTIMULAÇÃO	Adição de nutrientes que estimulem o crescimento, e desenvolvimento de microrganismos nativos, aumentando a atividade metabólica, e consequentemente potencializando a degradação.
BIOLIXIVIAÇÃO	Microrganismos específicos como <i>Thiobacillus ferrooxidans</i> e <i>T. thiooxidans</i> promovem a solubilização de metais.
BIOFILTRO	Aplicação de bactérias em filtros para descontaminação seja de água ou em resíduo.
BIOPILING	O material a ser tratado é empilhado sobre um sistema aerado e nutrientes são adicionados a ele.
BIOABSORÇÃO	Adsorção de metais e outros íons de uma solução aquosa com o uso de materiais biológicos.
BIOVENTILAÇÃO	Aeração do solo para remover os compostos voláteis fisicamente e estimular a atividade degradadora no ambiente contaminado.

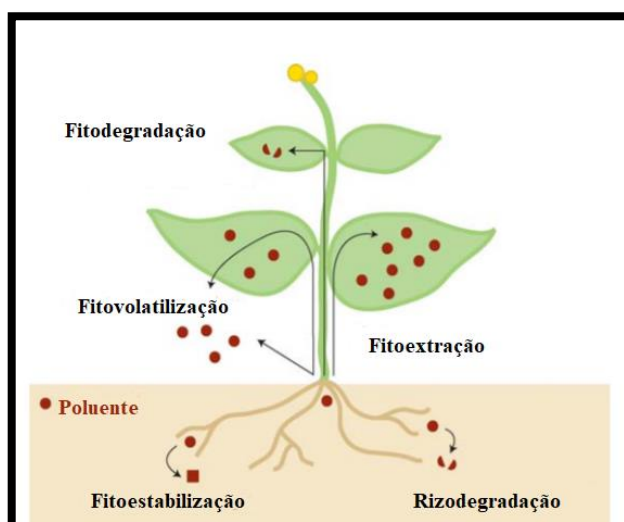
COMPOSTAGEM	Decomposição aeróbia de contaminantes orgânicos pelo uso de microrganismos termofílicos.
FITORREMEDIÇÃO	Uso de plantas para degradar, extrair, conter ou imobilizar contaminantes da água e do solo.
LANDFARMING	Ocorre no solo não contaminado pela aplicação e incorporação de um contaminante.
RIZOREMEDIÇÃO	A planta libera exsudatos (fluido nutritivo) que aumentarão os microrganismos presentes nas raízes que ajudarão o crescimento das plantas e a degradação de contaminantes.

Fonte: Adaptado de Kavamura e Esposito, 2010.

3.6 Fitorremediação

A fitorremediação é um conjunto de processos que faz a utilização de plantas para remover, transferir, estabilizar e destruir a contaminação orgânica ou inorgânica em águas subterrâneas, superficiais e no solo. No Brasil é pouco difundido o uso da fitorremediação, embora já seja utilizada na Europa e nos Estados Unidos. É aplicável a uma variedade de contaminantes, incluindo alguns dos contaminantes mais significativos, como hidrocarbonetos de petróleo, solventes clorados, metais, radionuclídeos, nutrientes e entre outros. As raízes cultivadas hidropônicamente de plantas terrestres foram recentemente descobertas como eficazes na remoção de metais pesados da água. (VISHNOI, 2007; COUTINHO, 2007; RASKIN, 1997), na Figura 4 é esquematizado os destinos dos poluentes.

Figura 4 – Possíveis destinos dos poluentes durante a fitorremediação

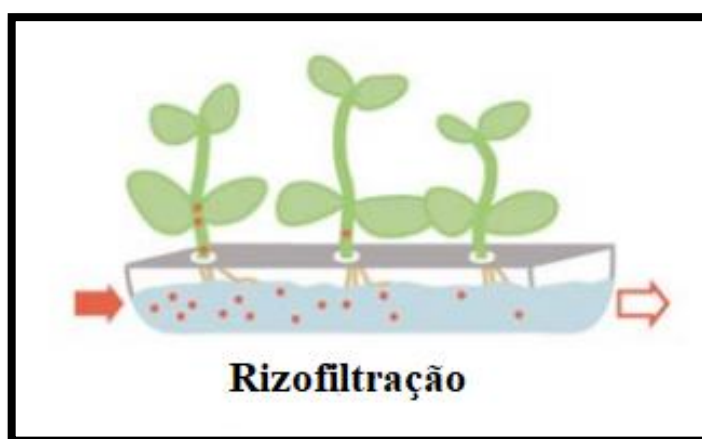


Fonte: Adaptado de Pilon-Smith, 2005.

Onde a fitoextração trata-se da absorção de contaminantes pelas raízes com acumulação na parte aérea de uma planta e uma das aplicações é para a remediação em locais contaminados com metais e para absorver estes metais "ligados ao solo", plantas fitoextratantes têm que mobilizá-las para o “solo solução”. E um exemplo de planta que faz a fitoextração do chumbo é o girassol (VISHNOI, 2007; ALVES, 2016; RASKIN, 1997).

A fitoestabilização vai atuar no uso da vegetação para conter contaminantes do solo in situ, através da modificação das condições químicas, biológicas e físicas do solo, limitando a difusão dos contaminantes no solo, sedimentos ou lamas (VISHNOI, 2007; ALVES, 2016). A rizofiltração é a remoção dos contaminantes pelas raízes das plantas em águas superficiais, águas residuais ou águas subterrâneas extraídas, através de adsorção ou precipitação sobre a fitoimobilização. Tem geralmente o foco na contaminação ocasionado por metais, como por exemplo o chumbo. O mecanismo pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Tecnologia de fitorremediação usada para remediar poluente água, solo ou ar



Fonte: Adaptado de Pilon-Smith, 2005.

A rizodegradação é o aumento da biodegradação natural no solo através da influência das raízes das plantas e, idealmente, levará à destruição ou desintoxicação de um contaminante orgânico. A Fitodegradação ocorre quando as plantas produzem enzimas que ajudam a catalisar a degradação, ou seja, é a combinação da absorção, metabolização e degradação de contaminantes dentro dos tecidos vegetais. Para fitodegradação, a planta deve ser capaz de absorver o composto. A fitovolatilização ocorre quando as plantas absorvem água contendo contaminantes orgânicos e liberam os contaminantes no ar através de suas folhas. As plantas também podem quebrar contaminantes orgânicos e liberar produtos de decomposição no ar

através das folhas, permitindo assim a ocorrência de processos de degradação natural muito mais eficazes ou rápidos (VISHNOI, 2007).

3.7 Alface (*Lactuca sativa*)

A alface (*Lactuca sativa*) é uma hortaliça de grande diversidade, podendo ser cultivada durante todo o ano. Existem as variedades: americana, romana, crespa e lisa. Atualmente, vem sendo uma das plantas mais consumidas no Brasil e cultivadas através da agricultura familiar, e por meio de sistema orgânico e hidropônico. O cultivo hidropônico se dá sem a necessidade da utilização do solo, sendo uma alternativa sustentável pois promove a preservação de solos e mananciais de água e este modo de cultivo traz duas técnicas de cultivo a de fluxo laminar de nutrientes que consiste no uso de tubos de PVC com furos para colocar as alfaces, e neste tubo passa uma solução nutritiva de tempos em tempos para a alimentação da alface e a técnica de floating consiste em um tanque com solução nutritiva e uma forte aeração, onde as alfaces estarão suspensas em uma substrato de sustentação de isopor dentro da solução nutritiva (POTRICH *et al*, 2012).

A *Lactuca sativa* vem sendo estudada como fitorremediador de pesticidas, reduzindo significativamente as concentrações dos pesticidas presentes na água, fazendo uso do cultivo hidropônico (ROSA, 2013). Embora as melhores as temperaturas para o cultivo das alfaces devem estar variando entre 15 °C e 20 °C, o seu cultivo também é realizada na região Nordeste e o crescimento da alface dura em média de 30 a 45 dias (HENZ, 2009; AGUIAR, 2014). O pH ideal para o plantio deve estar na faixa de 6 a 6,8. (ROSA, 2013 apud RURAL, 2010 e UNIJUÍ, 2013.)

3.8 Aguapé (*Eichhornia crassipe*)

O aguapé (*Eichhornia crassipe*), é uma planta aquática nativa do Brasil encontrada em diversas regiões do país (PEREIRA, 2010), e seu crescimento rápido ocorre principalmente em lugares ricos em nutrientes, como esgoto doméstico (ZIMMELS *et al*, 2016).

O aguapé é um excelente fitorremediador, funcionando como um hiperacumulador, mostrado em estudo o poder da remoção de metais pesados da água (JONES, 2018). Em seus estudos Dias (2016) verificou que o uso de aguapé para tratamentos de efluentes diminuiu a cor em 95 %, a turbidez em 83 % e a DBO em 53 %, demonstrando assim o potencial uso da aguapé nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) (SOUSA, 2015).

O aguapé apresenta outras finalidades além do seu uso como um fitorremediador, podendo ser utilizado para fins econômicos e sustentáveis, como por exemplo quando o aguapé é utilizado para a remoção de metais pesados na água, uma maneira de descarte é a sua utilização na produção de tijolos com o intuito de destinação final ao emprego do aguapé, sendo um meio ecológico de descarte desses metais (FARIA, 2005). O aguapé pode ser usado também para fabricação de perfumes, biogás e artesanato. (MALAVOLTA, 1989; GLOBO REPORTER, 2011; G1, 2015)

3.9 Parâmetros Analisados

Para analisar a água é necessário a quantificação de certos parâmetros para validar se está sendo eficiente a fitorremediação e se a quantidade de oxigênio está sendo eficiente para evitar a putrefação. Sendo assim, foram analisados o Oxigênio Dissolvido (OD), a Turbidez, o Potencial Hidrogeniônico (pH) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO).

3.9.1 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

O oxigênio presente na água que vem do contato da água com a atmosfera e também de alguma fonte externa, como alguma turbulência. É necessário a verificação do OD pois sua presença na água é essencial para a manutenção da vida aquática (FIORUCCI, 2005). O oxigênio dissolvido na água é essencial para o desenvolvimento das plantas, segundo CHUN (1994) as raízes da alface necessitam de uma certa quantidade de oxigênio dissolvido na água para manter-se viva.

3.9.2 TURBIDEZ

É a presença de sólidos suspensos, sendo de tamanho variado podendo ser suspensão grosseira a coloidais, depende da intensidade da turbulência da água (RICHTER, 1991). A turbidez influencia não apenas na estética da água, mas como é composto por partículas em suspensão, essas partículas podem alojar microrganismos e a remoção da turbidez é interessante para completar o tratamento biológico (PIVELI, 2000). Para a água de reúso onde se tem contato direto deve ter uma turbidez inferior a 5 NTU (ABNT, 1997).

3.9.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

É importante para medir a acidez, alcalinidade e a neutralidade presente na água, pois influenciam nas velocidades das reações químicas que acontecem na água e o pH usado para consumo pode variar de 6 a 9,5, (ANVISA, 2016). Já nas águas residuárias o pH varia de 5 a 8,5 segundo Eriksson (2002).

3.9.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química dos poluentes presentes na amostra nas condições de ensaio. Para o tratamento de efluentes, a etapa essencial é o tratamento biológico que consiste simplesmente na remoção da matéria orgânica ou em sua degradação, e a DQO traz a quantificação do consumo de matéria orgânica do meio (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Estudo de Química Ambiental (LEQA) pertencente ao Departamento Química, localizado no Centro de Ciências Exatas e da Natureza na Universidade Federal da Paraíba (DQ/CCEN/UFPB).

4.1 Montagem do Sistema de Tratamento da Água

Para o tratamento proposto pelo presente trabalho, foi elaborado um ambiente onde não houvesse acúmulo de matéria orgânica em apenas uma parte do tanque e para isso foram colocadas bombas para que ocorresse oxigenação e circulação da água residuária para evitar reações anaeróbicas no meio, evitando assim a putrefação da água. Foi confeccionado três tanques com o mesmo corte como mostrada na Figura 6. Todos os tanques utilizados neste trabalho são de polietileno de alta densidade (HDPE) de 20L, com 36 cm de comprimento, 28 cm de largura e 25 cm de altura.

Figura 6 - Tanque de HDPE



Fonte: Autora. 2019.

4.2 Preparação do Efluente Sintético

A água de pia de cozinha é composta por óleos e graxas, detergente e partículas de alimentos. Utilizou-se um efluente capaz de simular todos os possíveis componentes de uma água de cozinha. O efluente sintético foi obtido a partir de 200mL de água do cozimento de legumes, cerca de 5mL de detergente, juntamente 50mL óleo que foi utilizado para fritura, e 100g de uma mistura de feijão cozido, arroz integral e macarrão. Para os experimentos, retirou-se 150 mL do efluente sintético para realização dos ensaios com a alface, através de uma diluição para 20 L utilizando água da torneira. O mesmo procedimento foi feito para o corpo

de prova que consiste em um teste em branco, já que não foi usada nenhuma planta e para o sistema de aguapé, sendo que para este, retirou-se 200 mL do efluente sintético para diluir em 20 L de água da torneira.

4.3 Montagem do sistema floating para a alface e do sistema do corpo de prova

A alface utilizada no experimento desse estudo foi a alface Mônica SF 31 utilizando as sementes da marca Feltrin®, por causa da sua faixa de germinação de 4 a 7 dias e cultivadas no mês de agosto. O seu transporte para o laboratório ocorreu dentro dos potes de plantio o qual houve o transplante (Figura 7).

Figura 7 – Plantio da Alface Mônica SF 31 da marca Feltrin®



Fonte: Autora, 2019.

A alface do cultivo hidropônico floating, não pode receber luz solar nas raízes, e elas devem estar submersas na solução nutritiva que neste caso é a água residuária, e a água deve ser bem oxigenada. Sabendo disso, utilizou-se uma bomba de ar de aquário para a oxigenação do meio, e o tanque de HDPE foi revertido por papel alumínio com a função de afastar qualquer inseto que prejudicasse ao experimento tomando como base os estudos de De Lucena (2016). O suporte para as alfaces foi utilizado uma placa de poliestireno (isopor) do tamanho da superfície do tambor e em seguida feito furos equidistantes para colocar as alfaces e em seguida seus caules foram envoltos no algodão para evitar qualquer contato da parte inferior com a superfície do sistema (Figura 8). Como a alface é uma planta que não pode receber luz solar diretamente, ela foi colocada ao abrigo da luz para receber a luz solar direta das 5 h às 7 h da manhã. Foi adicionado uma bomba de ar, pois para este sistema floating a raízes da alface

necessitam de cerca de 2 mgO₂/L de oxigênio dissolvido na água para poder se desenvolver (CHUN *et al*, 1993).

Figura 8 – Construção do sistema floating para a alface



Fonte: Autora, 2019.

O corpo de prova (CP) é composto apenas por água residuária e uma bomba submersa de vazão de 200 L/h que promove a circulação e aeração da água (Figura 9). O sistema foi colocado ao lado da alface durante os 7 dias de experimento (Figura 10).

Figura 9 – Sistema do corpo de prova, tambor de HDPE



Fonte: Autora, 2019.

Figura 10 – Disposição dos sistemas em frente ao LEQA



Fonte: Autora, 2019.

4.4 Montagem do sistema para o aguapé

O aguapé utilizado neste presente trabalho foi retirado do seu habitat natural, do rio do município de Araçagi-PB, o qual apresentava outros tipos de macrófitas, Figura 11.

Figura 11 – Local da coleta do aguapé



Fonte: Autora, 2019.

Foi alocado uma bomba submersa de vazão de 200 L/h dentro do tambor e uma mangueira de $\frac{1}{2}$ polegada para fazer a circulação da água e promover uma pequena turbulência para adicionar oxigênio no meio. O aguapé é uma planta que necessita da presença do sol durante todo dia, Figura 12.

Figura 12 – Sistema de tratamento utilizando aguapé



Fonte: Autora, 2019.

4.5 Oxigênio Dissolvido (OD)

Para a realização do método se escolheu a metodologia descrita no APHA (1998) que faz uso do método de Winkler. A análise pode-se ser realizada apenas no primeiro e no sétimo dia de experimento para observar se houve um decaimento de oxigênio no meio, para não alterar consideravelmente a quantidade de água do meio, já que para cada amostra necessita de 300mL. O método consistiu-se em preencher seis frascos de OD de 300mL com a amostra e dois frascos de OD com água destilada que é o branco desta metodologia, já foi feito em duplicata, para as amostras da água da alface, do aguapé e do corpo de prova, depois acrescentou 1mL de sulfato de manganês e 1mL da solução alcali-iodeto azida, e então tampou o frasco e agitou. Pós agitação esperou-se decantar e acrescentou 1mL de ácido sulfúrico concentrado e novamente agitou. Em um erlenmeyer colocou-se 100mL da amostra e então foi realizada a titulação com uma solução padronizada de tiossulfato e como indicador usou-se a solução de amido a 10%. E os valores obtidos foram anotados.

4.6 Turbidez

O acompanhamento da turbidez do experimento foi feito diariamente utilizando o turbidímetro (Figura 13) juntamente com a calibração do mesmo, a calibração consiste da utilização de três padrões que vem junto com o equipamento, sendo eles de 10 NTU, 100 NTU e de 1000 NTU.

Figura 13 – Turbidímetro PoliControl AP-000 iR

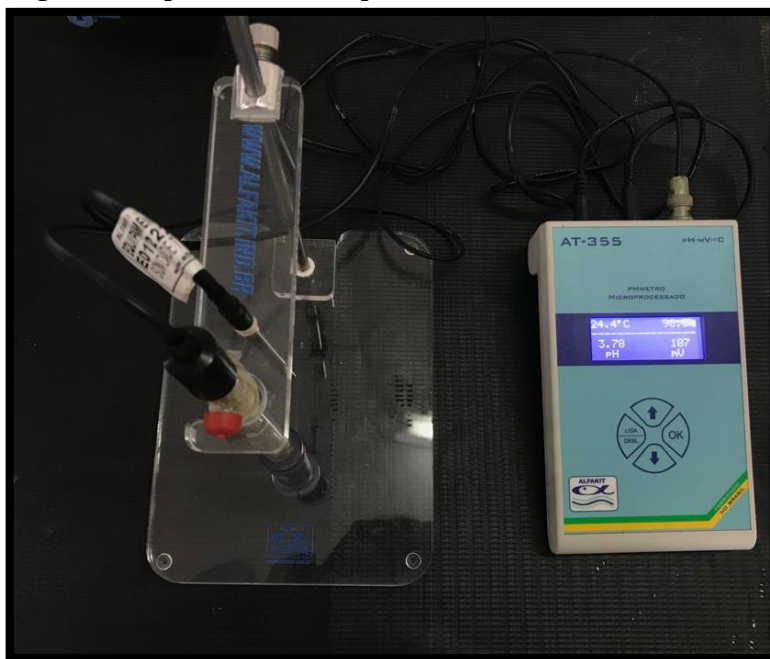


Fonte: Autora, 2019.

4.7 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A análise do pH foi feita diariamente juntamente com a sua padronização utilizando os tampões de pH 7, 4 e 10, Figura 14.

Figura 14 – pHmetro microprocessado ALFAKIT AT-355

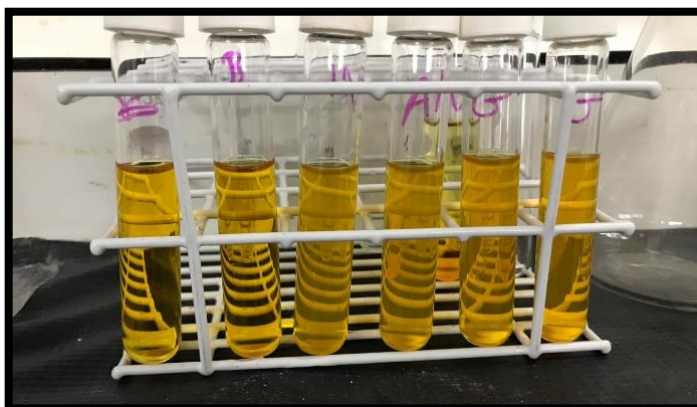


Fonte: Autora, 2019.

4.8 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O procedimento analítico para a execução do método está descrito no APHA (1998) como Refluxo Fechado, Método Titrimétrico. O qual consiste em pipetar dentro dos tubos mostrados na Figura 15, 1,5mL da solução digestora, 2,5mL da amostra que foi diluída em 10 vezes e em seguida 3,5 mL de uma solução catalisadora, o procedimento feito em duplicata para o branco, para o corpo de prova, a alface e o aguapé.

Figura 15 – Tubos para análise de DQO



Fonte: Autora, 2019.

Em seguida as amostras foram colocadas no bloco digestor a 150 °C durante 2 h (Figura 15), após os tubos esfriarem, foi realizada a titulação e usado a ferroína como indicador, no fim da titulação foi anotado os valores obtidos, além de ser feito a padronização sempre antes das análises, Figura 16.

Figura 16 – Bloco Digestor MERCK Spectroquant® TR 420



Fonte: Autora, 2019.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta sessão serão apresentados os resultados experimentais obtidos na realização deste trabalho e seu respectivo comentário de acordo com os métodos utilizados.

5.1 Análises físico-químicas

Na Tabela 4 são apresentados todos os dados obtidos durante os 7 dias de experimentos para a alface, aguapé e o CP. Além do acompanhamento feito a partir das análises laboratoriais, foi realizado o acompanhamento visual das raízes da alface, observando se estavam saudáveis ou não, visto que em testes anteriores houve a morte com poucos dias depois do contato com o sistema de água residuária.

No primeiro dia, foram feitas as análises para cada água antes de colocar as plantas, para ter o controle da variação e consumo da matéria orgânica do meio.

Tabela 4 – Valores experimentais obtidos ao longo dos 7 dias

ALFACE				AGUAPÉ			CP		
DIAS	pH	TURBIDEZ (NTU)	DQO	pH	TURBIDEZ (NTU)	DQO	pH	TURBIDEZ (NTU)	DQO
1	7,1	552	1136,36	7,08	1082	1704	7,22	516	1174,24
2	7,66	406	681,8	6,81	126	530,3	7,32	170	492,42
3	7,35	128	600	5,64	101	800	6,78	97,8	400
4	7,91	229	615,38	5,91	107	769,23	7,05	83,2	423,07
5	7,46	170	581,36	4,94	233	1240,31	6,13	94,4	658,9
6	7,69	106	538,46	5,9	111	1038,46	6,22	128	769,23
7	7,9	43,9	384,6	7,08	158	923,07	6,7	137	692,3

Fonte: Autora, 2019.

5.2 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido no primeiro dia para o CP foi de 2,7 mgO₂/L, alface de 3 mgO₂/L e o aguapé de 3 mgO₂/L. No último dia apenas a alface apresentava oxigênio dissolvido no meio que foi de 2,3 mgO₂/L. Sabendo que a temperatura é um fator importante para a presença de oxigênio dissolvido, foi percebido que no aguapé a quantidade de água era inferior aos outros

sistemas, decorrente da evaporação, já que o sistema estava recebendo luz solar diariamente, o que favoreceu a concentração de nutrientes. A elevada temperatura da água e bactérias presentes no meio ocasionaram um grande consumo de oxigênio dissolvido, já que segundo Fiorucci (2005), o oxigênio dissolvido no meio deve-se ao contato do ar com a superfície da água ou a turbulência causada por um fator externo. Do 5 ° ao 7 ° dia foi implantado uma bomba de ar e mesmo assim não foi suficiente para oxigenar o meio do aguapé, o que implicou na ocorrência de um sistema anaeróbico, e a presença do mau cheiro desde o terceiro dia. O mesmo ocorreu para o CP que no sétimo dia também não apresentava oxigênio.

A importância da presença do oxigênio dissolvido pode ser analisado em testes feitos anteriormente como mostrado na Figura 17 e Figura 18 onde a raiz antes de ser colocada em uma água cinza estava saudável, porém depois de 7 dias dentro da água cinza sem uma boa oxigenação foi observada a morte da raiz da alface.

Figura 17 – Alface antes de ser colocada no sistema de água cinza pouco aerado



Fonte: Autora, 2019.

Figura 18 – Alface depois de 7 dias em um ambiente pouco aerado



Fonte: Autora, 2019.

Já as alfaces que estiveram em uma ambiente bem oxigenado mantiveram as raízes saudáveis e as folhas ficaram mais verdes mesmo depois de 7 dias em uma água cinza, como pode ser observado na Figura 19 antes de ser colocado no sistema aerado e depois de 7 dias na Figura 20, mesmo que no ambiente houvesse uma maior carga de matéria orgânica.

Figura 19 – Alface antes de ser colocada na água cinza bem aerada



Fonte: Autora, 2019.

Figura 20 – Alface depois de 7 dias na água cinza bem aerada



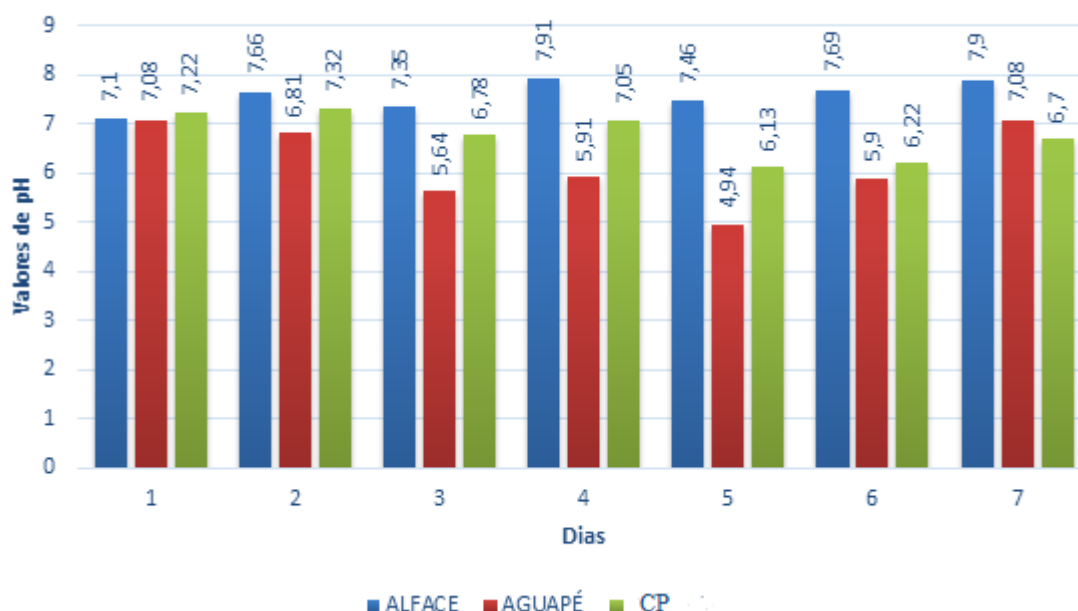
Fonte: Autora, 2019.

5.3 pH

Na Figura 21 são apresentados os valores de pH mensurados durante os experimentos, no qual é possível observar a variação do pH com o passar dos dias. No primeiro dia era

basicamente o mesmo para os três sistemas, mas ao longo dos dias houve uma variação onde a alface tornou-se mais alcalino e o aguapé junto com o CP mais ácido.

Figura 21 – Valores do pH dos três sistemas ao longo dos 7 dias



Fonte: Autora, 2019.

A diminuição do pH pode ser explicada pela falta de oxigênio, o que transformou um meio aeróbio em anaeróbico, que é um metabolismo bem mais complexo que gera subprodutos, que são transformados por via fermentativa produzindo ácidos, favorecendo a acetogêneses que ocorre em uma faixa de pH de 4 a 6,5, ocorrendo a transformação de ácidos de cadeias grandes em cadeias pequenas (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010). No 5º dia, foi observado que o pH do aguapé começou a aumentar devido a adição da bomba de ar, pois a presença de oxigênio ajudou a aumentar o pH do meio.

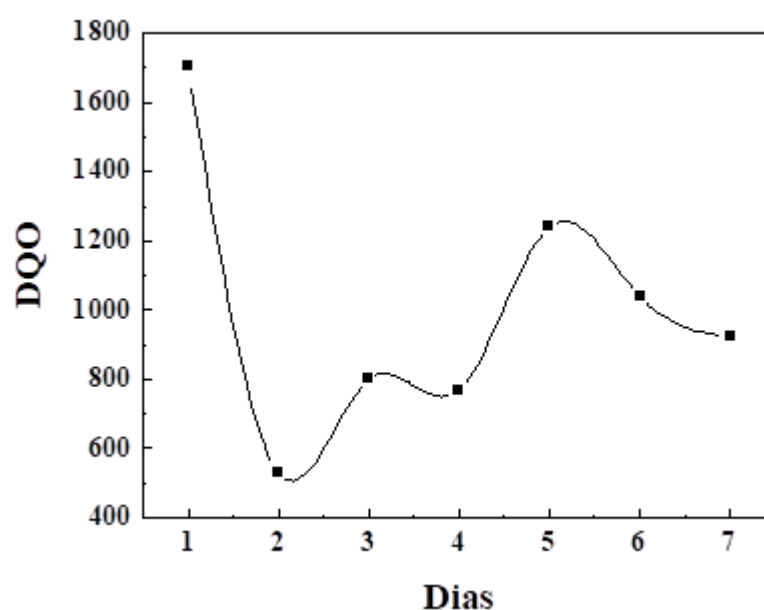
A boa aeração do sistema da alface proporcionou um ambiente aeróbio, visto que no último dia foi o único que apresentou oxigênio dissolvido no meio, proporcionando assim, um ambiente adequado para bactérias aeróbica que implicou em um pH variando de 7,66 no segundo dia de análise a 7,9 no último dia, que é uma faixa adequada para processos aeróbicos pois as bactérias aeróbicas além de proporcionar a decomposição da carga orgânica, promoveu liberação de compostos nitrogenados, fosfatados e dióxido de carbono no meio (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010; RIBEIRO, 2007).

5.4 DQO

Ao longo do experimento, foi possível observar a rápida redução da DQO no sistema do aguapé, no valor de 68,8 % , com apenas um dia em contato com a água cinza (Figura 22).

Como a macrófita utiliza o oxigênio do meio juntamente com as bactérias, no terceiro dia apresentou cheiro putreficado que é resultado da falta de oxigenação do meio (TELLES *et al*, 2010) e para resolver este problema foi acrescentado uma bomba de ar no quinto dia, o qual promoveu melhor agitação e consequentemente fazendo com que as partículas de matéria orgânica se desprendesse da raiz e fosse para água resultando em uma maior DQO, e outro motivo foi que durante o experimento foi observado que as folhas estavam a definhando, ou seja, aos poucos estava morrendo e se tornando-se uma fonte de matéria orgânica para o meio, consequentemente ajudando no aumento da DQO.

Figura 22 – Valores da DQO do aguapé durante os 7 dias

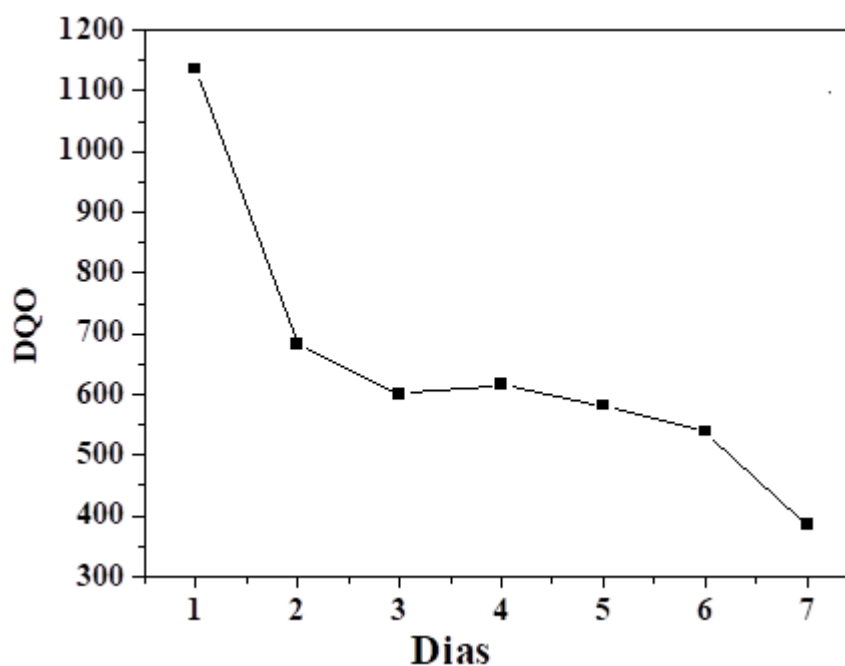


Fonte: Autora, 2019.

O aguapé resultou no 6º e 7º dia uma diminuição da DQO em comparação ao 5º dia de 25,5 %. O CP no 3º dia mostrou uma redução de 65,9 % e no último dia em comparação ao início foi de 41 %, essa variação foi decorrente a interação com polietileno de alta densidade (HDPE) com a matéria orgânica que aderiram a parede nos primeiros dias do experimento. Já a alface, como mostrado na Figura 23, houve uma redução de 66,15 % de DQO, resultado de uma interação de bactérias e planta, devido a bomba de ar promover uma melhor oxigenação e mistura da água. É possível perceber que entre o primeiro e o terceiro dia houve um

decaimento acentuado no valor da DQO, o que implica em uma fase de adaptação da alface já que foi inserida em uma meio com elevado teor de nutrientes, depois do terceiro dia é percebido uma estabilização e depois volta a decair, isso é decorrente do início da fase de crescimento do alface.

Figura 23 – Valores da DQO da Alface ao longo dos 7 dias

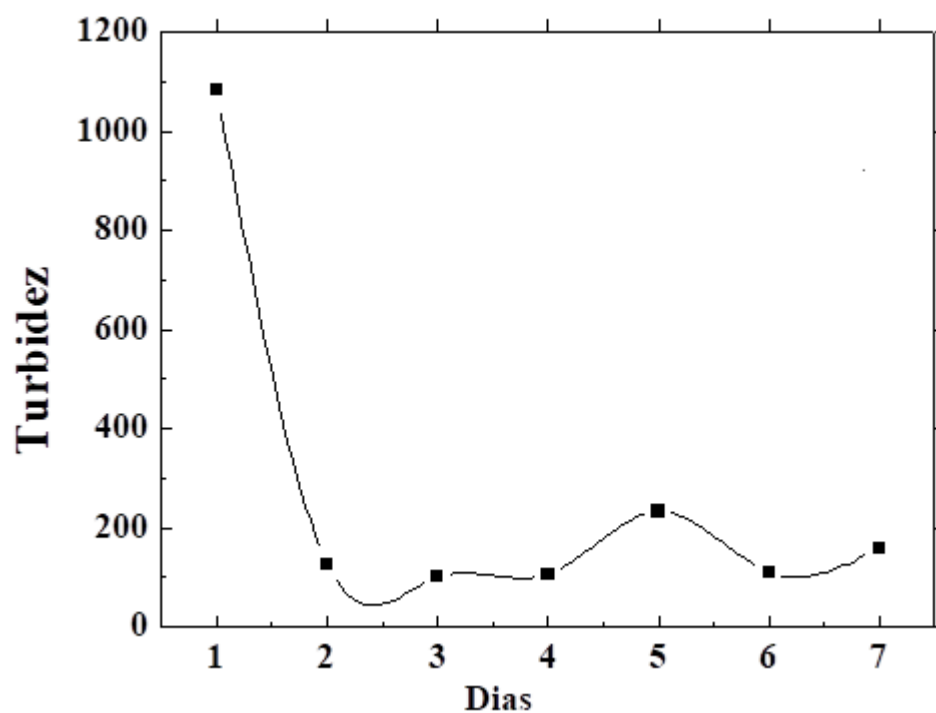


Fonte: Autora, 2019.

5.5 Turbidez

O decaimento do valor da turbidez para aguapé é em decorrência que este é uma macrófita hiperacumulativa. No terceiro dia, observou-se a diminuição da turbidez em 90,6 %, no 5 ° dia houve um aumento da turbidez ocasionado pela implementação da bomba de ar e no sétimo dia apresentou uma redução de 85,4 % em comparação ao primeiro dia (Figura 24).

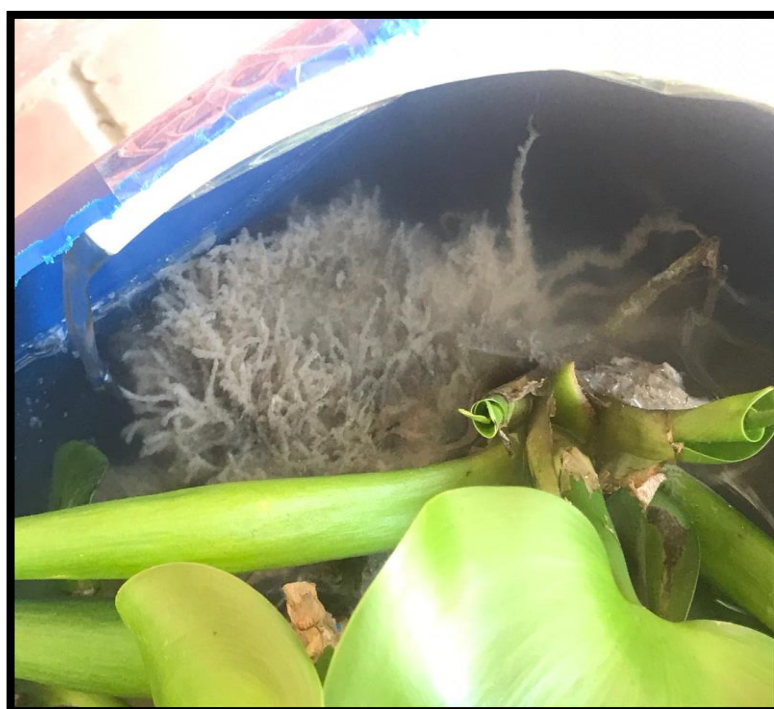
Figura 24 – Valores da turbidez do aguapé ao longo dos 7 dias



Fonte: Autora, 2019.

O acúmulo de matéria orgânica pode ser observado nas raízes dos aguapés, conforme a Figura 25.

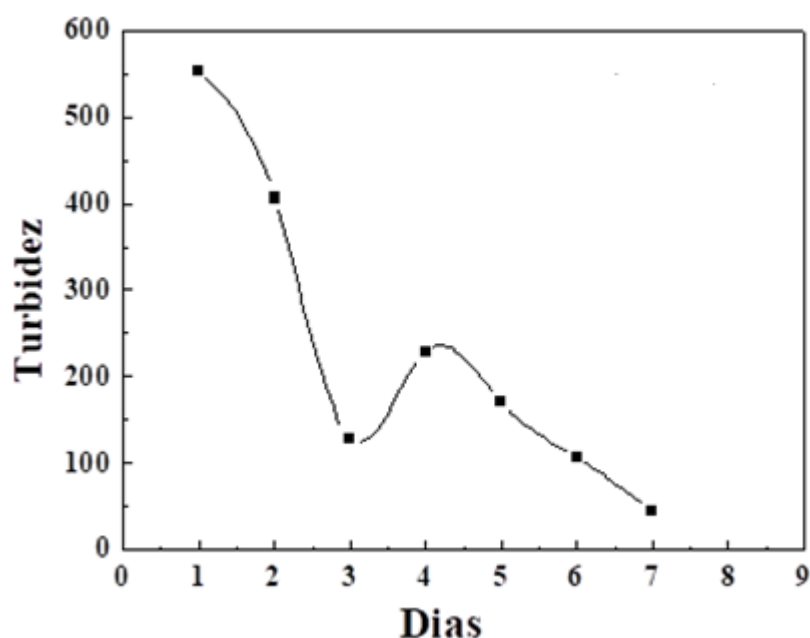
Figura 25 – Imagem da raiz do aguapé saturada de matéria orgânica



Fonte: Autora, 2019.

A queda da turbidez para os demais sistemas foi decrescente ao longo do tempo. No último dia, a alface demonstrou uma maior redução da turbidez em 92 %, como pode ser observado na Figura 26. O corpo de prova houve um decaimento de 83,8 % no quarto dia, mas depois começou a crescer a turbidez, onde a remoção em comparação ao primeiro dia foi de 73,4 %. O comportamento do corpo de prova pode ser explicado pelo fato de não haver uma boa homogeneização do meio e sem ter as plantas para se aderir, parte da matéria orgânica se aderiu as paredes do tanque, mas ao longo dos dias começou a sua decomposição decorrente do sistema anaeróbio o que resultou no aumento da turbidez.

Figura 26 – Valores de turbidez para a alface durante os 7 dias



Fonte: Autora, 2019.

Entre a turbidez e a DQO, é possível perceber uma relação tanto para o caso da alface quanto para o aguapé, pois nos dias que apresentaram decaimento de turbidez houve também o decaimento da DQO, quanto maior era o consumo da carga orgânica no meio menor era a turbidez presente, já que a turbidez deste meio foi causada pela presença de matéria orgânica.

6 CONCLUSÃO

O fator determinante neste experimento foi o oxigênio dissolvido no meio que influenciou as variações dos valores nos três sistemas. A ineficiência das bombas para circulação e aeração, foi impactante para os resultados, pois o previsto era todos os sistemas serem aeróbicos. Mas o que houve foi a observação de um sistema anaeróbico para o aguapé e o CP.

Com este trabalho foi possível reafirmar que o aguapé funciona como um super filtro adsorvendo em suas raízes grande parte da matéria orgânica, com apenas um dia de experimento removeu 68,8% da DQO e 90% da turbidez, porém no decorrer do experimento a sua presença proporcionou um efeito contrário ao previsto, pois houve a promoção da acidificação da água além da remoção do oxigênio presente, se comparar o CP com a macrófita, já que ambos tinham a mesma oxigenação geradas por bombas submersas. A diminuição do pH foi acentuada devida a presença da planta aquática e o aumento da DQO foi causado pela morte da planta, pois as raízes mortas estavam presas a bomba. No estudo realizado por SIPAÚBA-TAVARES (2000), também houve a diminuição do pH e a diminuição drástica do oxigênio, o qual recomendava utilizar de modo controlado para não haver a diminuição da qualidade da água. Tornando interessante a sua retirada da água depois de fazer seu papel como um filtro natural, pois ao atingir seu ponto de saturação não consegue mais remover com eficiência os poluentes do meio.

Porém mais estudos devem ser realizados, pois como este deteve-se a uma observação de 7 dias, seria interessante um estudo detalhado com a adição de mais dias para o sistema aguapé, para avaliar se promoveria a diminuição do mau cheiro caso houvesse uma melhor oxigenação do meio e se haveria sua multiplicação, pois é em águas poluídas que elas se multiplicam.

A alface embora não seja aquática, mostrou um bom desempenho contínuo ao longo do processo, não desenvolvendo mau cheiro, diminuição da carga orgânica de 66,15% e da turbidez em 92%. Além de apresentar as raízes saudáveis depois dos testes, as folhas estavam mais verdes e viçosas.

Apesar das análises feitas, nenhuma das águas tratadas durante os 7 dias podem ser enquadradas em uma das classes da NBR 13969/97, já que não foi possível fazer a análise dos coliformes fecais e se pudesse descartar esse parâmetro apenas a água tratada pelo alface poderia ser utilizada como uma água de classe 4, pois foi a única no fim do experimento a apresentar o oxigênio dissolvido.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Mudar o sistema de aeração nos sistemas para observar melhor o efeito do oxigênio durante o processo de tratamento da água;
- Utilizar a água tratada pelo aguapé para cultivo de alface;
- Analisar se a alface estará nos conformes para o consumo humano;
- Avaliar e investigar o potencial fitorremediador de outras plantas aquáticas e terrestres que possam ser implantadas em sistema hidropônico;
- Elaborar e projetar tratamento da água fazendo uso da primeira etapa de filtração, a segunda etapa de diminuição da carga orgânica utilizando plantas e a terceira etapa de floculação utilizando a moringa e observar sua eficiência e se está nos conformes para uso ou descarte em rio sem prejudicar a flora e a fauna local.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Reúso Local**. Item 5.6.4 NBR 13969/1997.

AGENDA 21. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

AGUIAR, AT da E. et al. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: **Instituto Agrônômico**, v. 200, p. 452, 2014.

ALLEN, L.; CHRISTIAN-SMITH, J.; PALANIAPPAN, M. Overview of greywater reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management. **Pacific Institute**. 41 p., 2010.

ALVES, J. C. et al. Potencial de girassol, mamona, trigo mourisco e vetiver como fitoacumuladoras de chumbo. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol, v. 20, n. 3, 2016.

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. .Ministério da Saúde - MS .RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 91, DE 30 DE JUNHO DE 2016

APHA. Standard methods for examination of water and wastewater. 20ª ed. Washington: **American Public Health Association**, 1998.

BAZZARELLA, B B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristic and treatment processes. **Water Science & Technology**. N. 7, v. 67, p. 1403-1424, 2013.

BRASIL. **Resolução Nº 5, de 25 de novembro de 2005**. Concelho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH. Disponível em <https://docs.wixstatic.com/ugd/b3ec10_221c0f13a94b482a9703aa7d613a5e3d.pdf>. Acesso em 22 de outubro de 2019.

BRASIL. **Lei Nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Da política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em <https://docs.wixstatic.com/ugd/b3ec10_0777fd8d0e5347d7b3c36588b784c24b.pdf> Acesso em 22 de outubro de 2019.

BRASIL. **Lei Nº 6938, de 31 de agosto de 1981**. Da política Nacional do Meio Ambiente Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acesso em 22 de outubro de 2010.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, v. 1, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrão de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**.

CAVALCANTE, G. F. F. C. **Implantação de Sistemas de Uso de Águas Cinzas e Aproveitamento de Águas Pluviais em um Residencial Multifamiliar de Pequeno Porte**. Trabalho de Conclusão de Curso. UFPB. – João Pessoa, 2017.

CHUN, C.; TAKAKURA, T. Rate of root respiration of lettuce under various dissolved oxygen concentrations in hydroponics. **Environment Control in Biology**, v. 32, n. 2, p. 125-135, 1994.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

DA ROS, Máira Magdaleno de Carvalho et al. **Produção integrada de alface (*Lactuca sativa*) e carpas coloridas (*Cyprinus carpio* var. *koi*) em sistema aquapônico**. 2017.

DEDIU, Lorena; CRISTEA, Victor; XIAOSHUAN, Zhang. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 9, p. 2349-2358, 2012.

DE LUCENA, R. D.; DA SILVA, K. K. B. **CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO EM PLANTAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA* LINNAEUS) CULTIVADAS EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental – Campina Grande/PB. 2016.

DE OLIVEIRA, Wosley Sidney Nogueira; DE SOUSA, Bianca Anacleto Araújo; DOS SANTOS RIBEIRO, Rosinete Batista. **SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO**. Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 4: Congestas 2016.

DE REZENDE, A. T. **Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil**. . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2016.

DIAS, F. S.; DO NASCIMENTO, J. P. A.; DE MENESES, J. M. Aplicação de macrófitas aquáticas para tratamento de efluente doméstico. **Revista Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 106-115, 2016.

ERIKSSON, Eva et al. Characteristics of grey wastewater. **Urban water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

FARIA, O. B.; ESPÍNDOLA, E. L.G. Produção de adobe com biomassa de macrófitas aquáticas: uma alternativa para retirada e encapsulamento de poluentes de lagos e reservatórios. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 01, p. 07-17, 2005.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química nova na escola**, v. 22, p. 10-16, 2005.

GLOBO REPÓRTER, **Ribeirinhas usam planta para fazer artesanato e ter fonte de renda extra**. Disponível em:

<<http://g1.globo.com/globo-reporter/noticia/2011/05/ribeirinhas-usam-planta-para-fazer-artesanato-e-ter-fonte-de-renda-extra.html>>. Acesso em 14 de junho de 2019.

G1. **Planta típica do Pantanal de MS vira perfume de empresa francesa**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso-do-sul/noticia/2015/07/planta-tipica-do-pantanal-de-ms-vira-perfume-de-empresa-francesa.html>>. Acesso em 1 de junho de 2019.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. A. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Embrapa Hortaliças- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2009.

JEFFERSON, B. et al. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JONES, J. L.; JENKINS, R. O.; HARIS, P. I. Extending the geographic reach of the water hyacinth plant in removal of heavy metals from a temperate Northern Hemisphere river. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 11071, 2018.

KRISHNAN, V.; AHMAD, D.; JERU, J. B. Influence of COD: N: P ratio on dark greywater treatment using a sequencing batch reactor. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology**, v. 83, n. 5, p. 756-762, 2008.

MALAVOLTA, E. et al. Sobre a composição mineral do aguapé (*Eichornia crassipes*). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 46, n. 1, p. 155-162, 1989.

MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009

RAPOPORT, B. et al. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reuso domiciliar e condominial..** Tese de Doutorado. Rio de Janeiro. 2004

PEREIRA, F. J. **Características anatômicas e fisiológicas de aguapé e índice de fitorremediação de alface d'água cultivados na presença de arsênio, cádmio e chumbo**. Doutorado em Agronomia/Fisiologia Vegetal na Universidade Federal de Lavras, v. 116, 2014.

PIVELI, R. P. Curso: Qualidade das Águas e poluição: Aspectos físico-químicos, 2000.

POTRICH¹, A. C. G.; PINHEIRO, R.R.; SCHMIDT, D. Alface hidropônica como alternativa de produção de alimentos de forma sustentável. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia. 2012.

RAMPELOTTO, G. et al. **Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reúso doméstico**. Santa Maria. RS. 2014.

RASKIN, I.; SMITH, R. D.; SALT, D. E. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. **Current opinion in biotechnology**, v. 8, n. 2, p. 221-226, 1997.

REBÊLO, M. M. P. S. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. Trabalho de conclusão de curso, 2011.

RICHTER, C. A. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo: **Blucher**, 1991.

RIBEIRO, P. C. **Lise de fatores que influenciam a proliferação de cianobactérias e algas em lagoas de estabilização**. Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande, 106p., 2007.

RIGO, Cristiano Dalmoro et al. **Avaliação de desempenho entre substrato e um sistema de aquaponia com tilápias (*Oreochromis niloticus*) para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) e chicória (*Cichorium intybus*)**. 2017.

ROSA, A. S.. **Fitorremediação de pesticidas utilizados em lavouras de arroz através do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.)**. Dissertação, Universidade Federal do Pampa, 2013.

SANT'ANNA JUNIOR, G.L.; Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.- Rio de Janeiro: **Editora Interciência**, 2010.

SCHAER-BARBOSA, MARTHA; DOS SANTOS, MARIA ELISABETE PEREIRA; MEDEIROS, YVONILDE DANTAS PINTO. Viabilidade do reuso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.

SIH/ANEEL-AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Informações hidrológicas brasileiras**. Brasília: ANEEL, 1999.

SIPAÚBA-TAVARES, L.H.; FERNANDES DE BARROS, A.; DE SOUZA BRAGA, F. M.. Effect of floating macrophyte cover on the water quality in fishpond. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, p. 101-106, 2003.

SOUSA, Cyntya Eustáquio de et al. **Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB**. 2015.

SUSTENTÁVEL, Consumo. Manual de educação. **Brasília: Consumers International/MMA/MEC/IDEC**, 2005.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. Reúso da água: conceitos, teorias e práticas. 2^a ed. – São Paulo, **Blucher**: 2010

VISHNOI, Sukha Ram; SRIVASTAVA, P. N. Phytoremediation—green for environmental clean. In: **Proceedings of Taal 2007: the 12th World lake conference**. 2007. p. 1021.

ZIMMELS, Y.; KIRZHNER, F.; MALKOVSKAJA, A. Application of Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel. **Journal of environmental management**, v. 81, n. 4, p. 420-428, 2006.