



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JULIANA ROCHA DOS SANTOS

**TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL COM USO DE MACRÓFITA
FLUTUANTE DO GÊNERO *PISTIA STRATIOTES***

Caruaru-PE

2019

JULIANA ROCHA DOS SANTOS

**TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL COM USO DE MACRÓFITA
FLUTUANTE DO GÊNERO *PISTIA STRATIOTES***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
na Universidade Federal de Pernambuco -
Campus Acadêmico do Agreste, como requisito
básico para a conclusão do Curso de
Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves

Caruaru-PE

2019

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

S237t Santos, Juliana Rocha dos.

Tratamento de efluente têxtil com uso de macrófita flutuante do gênero *Pistia stratiotes*. / Juliana Rocha dos Santos. – 2019.

46 f. : 30 cm.

Orientadora: Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019.

Inclui Referências.

1. Resíduos industriais. 2. Macrófitas aquáticas. 3. Efluentes líquidos. I. Gonçalves, Elizabeth Amaral Pastich (Orientadora). II. Título.

JULIANA ROCHA DOS SANTOS

**TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL COM USO DE MACRÓFITA
FLUTUANTE DO GÊNERO *PISTIA STRATIOTES***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 13/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves – Orientadora
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Luís Medeiros de Lucena
Universidade Federal de Pernambuco

Dr^a. Marileide Lira de Araújo Tavares
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos – Coordenador da Disciplina
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços para que eu chegassem até aqui.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por sempre estar ao meu lado, pela dádiva da vida, por ter sido sempre minha fonte de apoio e conforto. Por ter colocado pessoas maravilhosas em meu caminho, que trouxeram e trazem em si a pureza do seu amor, me dando calma e força para seguir em frente durante toda essa caminhada.

Agradeço aos meus pais, Risonildo Severino e Ana Paula Bernardino, por todo amor doado e cada ensinamento de valores compartilhado. Agradeço pela paciência e apoio que me deram durante toda minha graduação.

A minha irmã, Poliana Rocha e minha madrinha, Marluce Oliveira, que sempre me incentivaram e não mediram esforços para me ajudar no que fosse necessário.

Agradeço aos amigos que fiz durante a graduação que me acompanharam durante toda essa caminhada, sem ajuda deles nada disso seria possível.

Aos amigos de longas datas que com palavras bonitas me acalmaram quando necessário, torceram e vibraram comigo em cada vitória concedida.

Agradeço a meu namorado, Vinícius de Assis, que esteve sempre comigo me apoiando e auxiliando em todos os momentos.

A todos os integrantes do Laboratório de Engenharia Ambiental, em especial a Raquel Ferreira, Ana Paula Feitosa, Cristiane Carvalho e Thiago Gomes, que contribuíram na obtenção de cada resultado exposto nessa pesquisa.

E por fim, agradeço imensamente a minha orientadora, Elisabeth Pastish, por ter confiado em meu potencial quando aceitou me orientar, por todo seu profissionalismo, atenção prestada, incentivo e sua amizade.

“Para que todos vejam e saibam, considerem e juntamente entendam que a mão do SENHOR fez isso”.

(Isaías 41:20)

RESUMO

O Agreste Pernambucano se firma como o maior produtor de confecções de todo o Nordeste e o segundo em âmbito nacional, atrás apenas de São Paulo. No entanto, essa produção em massa da indústria têxtil vem trazendo sérios prejuízos ambientais devido aos efluentes gerados desse sistema. O efluente derivado do setor têxtil apresenta uma elevada concentração de poluentes, que necessitam serem previamente tratados antes do seu lançamento em corpos hídricos. As macrófitas aquáticas vêm se mostrando uma alternativa rentável e eficiente nesse âmbito. O mecanismo de tratamento advém da sua capacidade de remoção da carga poluente por meio da absorção direta pelo seu desenvolvido sistema radicular. Nesse contexto, o presente estudo avaliou o potencial da macrófita aquática do gênero *Pistia stratiotes*, quanto a sua capacidade de tratamento de efluentes derivados da indústria têxtil. O trabalho de pesquisa avaliou duas amostras distintas, T1- contendo 5 litros de solução nutritiva padrão e três unidades da macrófita estudada, e T2- contendo 5 litros do efluente têxtil a uma concentração de 50%, juntamente com três unidades da *Pistia stratiotes*. Ambos os experimentos foram mantidos cobertos com telas de proteção e realizados em triplicatas. Observou-se que a melhor taxa de reprodução ocorreu na temperatura média de 25°C. O aumento obtido do oxigênio dissolvido foi devido à atividade fotossintética das microalgas que surgiram durante o experimento. A remoção da turbidez foi de 79,62% no efluente têxtil, e ocorreu devido a ação conjunta da sedimentação, precipitação e adsorção realizada pelas macrófitas dos sólidos suspensos. A *Pistia stratiotes* demonstrou-se eficiente também na remoção da demanda química de oxigênio e na cor do efluente analisado. No entanto, foi ineficiente no controle da condutividade elétrica e da salinidade do meio.

Palavras-chave: Efluente têxtil. Macrófita. *Pistia stratiotes*.

ABSTRACT

Agreste Pernambucano is the largest producer of clothing in the whole of the Northeast and the second in Brazil, behind only São Paulo. However, this mass production of the textile industry has been causing serious environmental damage due to the effluents generated from this system. The effluent derives from the hypore with a high concentration of pollutants, which photoring the behavior for the release them in water bodies. As aquatic macrophytes have been shown to be a profitable and efficient alternative in this scope. The treatment mechanism comes from its ability to remove the workload through direct pressure through your system root system. In this context, the present study evaluated the potential of the aquatic macrophytic of the genus *Pistia stratiotes*, regarding its capacity of treatment of effluents of the textile industry. The research work evaluated two distinct samples, T1 - containing 5 liters of nutritive protein and the macrophytic units studied, and T2 - containing 5 units of the textile effluent at a concentration of 50%, followed by three units of *Pistia stratiotes*. Both experiments were covered with protective screens and carried out in triplicates. The best reproduction rate was observed at the mean temperature of 25 ° C. The increase of dissolved oxygen was due to the photosynthetic activity of the microalgae that emerged during the experiment. The turbidity removal was 79.62% without textile effluent, and occurred due to the joint action of sedimentation, precipitation and adsorption by macrophytes of the suspended solids. A *Pistia stratiotes* was also demonstrated in the chemical oxygen demand and in the effluent analysis. However, it was inefficient in the control of the electrical conductivity and salinity of the medium.

Keywords: Textile Effluent. Macrophytes. *Pistia stratiotes*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Classificação dos principais grupos ecológicos de macrófitas aquáticas.....	22
Figura 2.	Exemplar da espécie de macrófita aquática do gênero <i>Pistia stratiotes</i>	24
Figura 3.	Representação do processo de tratamento do efluente, absorção direta das macrófitas aquáticas.....	25
Figura 4.	Fotografia das macrófitas da espécie <i>Pistia stratiotes</i>	27
Figura 5.	Fotografia da casa de vegetação, localizada na UFPE-CAA	29
Figura 6.	Fotografia da unidade experimental utilizada no experimento.....	29
Figura 7.	Desenho esquemático do experimento.....	30
Figura 8.	Fotografia da adaptação das redes de proteção nos recipientes, etapa T1	30
Figura 9.	Fotografia da adaptação das redes de proteção nos recipientes, etapa T2	30
Figura 10.	Gráfico da concentração de oxigênio dissolvido (OD). a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.....	32
Figura 11.	Gráfico da variação da temperatura. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.	33
Figura 12.	Gráfico da taxa de crescimento em termos de quantidade de macrófitas. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2:macrófitas e efluente têxtil.....	33
Figura 13.	Gráfico da análise de pH. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.	34
Figura 14.	Gráfico da análise de Turbidez. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.	35
Figura 15.	Gráfico da análise da cor. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.	36
Figura 16.	Gráfico da análise da condutividade elétrica. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.	36
Figura 17.	Gráfico da análise da salinidade. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.	37

Figura 18. Gráfico da análise de DQO, em mg.L⁻¹. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Gráfico da remoção dos parâmetros obtidos por Henry-Silva et al.(2008)	26
Tabela 2.	Composição da solução nutritiva padrão (Hoagland e Arnon, 1950)	28
Tabela 3.	Parâmetros e frequência de análise durante o procedimento experimental.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2.	JUSTIFICATIVA	15
3.	OBJETIVOS	16
3.1	Geral	16
3.2	Específicos.....	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO	17
4.1	Indústria têxtil.....	17
4.2	Efluente têxtil	17
4.3	Corantes Têxteis	19
4.4	Legislação ambiental	19
4.5	Macrófitas aquáticas	20
4.6	Pistia stratiotes.....	23
4.7	Macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes.....	24
5	METODOLOGIA.....	27
5.1	Coleta.....	27
5.2	Montagem do experimento	28
5.3	Parâmetros	31
6	RESULTADOS	32
6.1	Oxigênio dissolvido (OD), Temperatura e Taxa de Crescimento	32
6.2	Potencial de Hidrogênio (pH).....	34
6.3	Turbidez.....	34
6.4	Cor	35
6.5	Condutividade elétrica e Salinidade	36
6.6	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	37
8	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O Polo de Confecções do Agreste pernambucano, considerado o segundo maior polo têxtil do Brasil, tem ganhado destaque crescente na economia nacional, devido ao crescimento demasiado de sua produção têxtil. A origem desse Polo teve início em meados da década de 40 e 50, como uma forma de sobrevivência da população local após passarem por uma crise agrícola de cotonicultura, associada também as dificuldades em produzir outros produtos, já que a região está localizada no semiárido nordestino, o que dificulta o plantio por possuir faixas muito secas (LIRA, 2006).

Atualmente a produção têxtil conta com mais de 19 mil micro e macro unidades fabris, formais e informais, empregando cerca de 130 mil pessoas espalhadas dentre os centros urbanos e rurais da região pernambucana (SEBRAE, 2012). Os três municípios que ganharam maior destaque na atividade produtiva de confecção são as cidades de Santa Cruz do Capibaribe, Toritama e Caruaru.

Devido ao constante crescimento da produtividade têxtil, as lavanderias industriais surgiram no setor têxtil, como apoio às indústrias de confecções de jeans. Estas, por sua vez, consomem uma quantidade elevadíssima de água durante todo o processo de lavagem e tingimento, gerando efluentes líquidos com uma enorme diversidade e complexidade de produtos químicos (ITABORAHY e SILVA, 2008). Os corantes têm um papel dominante na composição dos efluentes têxteis, são compostos que apresentam grupos cromóforos, com capacidade de absorver a luz visível seletiva, característica essa que dá ao efluente coloração (KIMURA et al., 1999).

As diversas etapas durante a produção têxtil requerem um volume altíssimo de água. Exigência essa que não se enquadra no contexto da região do agreste pernambucano, por contar com baixos índices pluviométricos, valores entre 850 e 1.000 mm/ano e elevadas taxas de evaporação, superando as margens de 2.000 mm anuais (COSTA, 2003).

Ao longo da história, a crise iminente por recursos essenciais à vida como água, energia e alimentos nos leva a uma constante reflexão sobre a necessidade de poupar nossos recursos. Diante disso, nas últimas décadas a preocupação com o meio ambiente vem tomando cada vez mais espaço, termos como sustentabilidade aliadas com a chamada “publicidade verde” tem se tornado cada vez mais frequentes. Esses fatores servem para elucidar que a preocupação das empresas com o meio ambiente já não é mais facultativa, e sim uma questão de sobrevivência

que vai além do comunitário, mas também individual, ou seja, uma empresa que não se molda aos valores contemporâneos não tem espaço num mercado altamente competitivo.

Frente a essas questões, a fim de minimizar os impactos gerados nos corpos receptores desses efluentes tornam-se cada vez maior a busca por estudos de novas tecnologias e métodos para tratamento biológico, químico, ou em conjunto, que garantam uma maior eficácia e eficiência na redução dos contaminantes que possam causar algum dano ao meio ambiente. Como também a busca por custos cada vez mais acessíveis que possam atender tanto a empresas de pequeno e grande porte (SILVA, P., 2013).

Existem inúmeros métodos para o tratamento de efluentes industriais como filtração, coagulação e floculação, oxidação química, entre tanto outros métodos, no entanto, uma tecnologia que vem ganhado espaço é o tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas flutuantes. Essas plantas são caracterizadas pela alta capacidade de retenção de nutrientes e compostos orgânicos presentes no meio aquático (ESTEVES e MEIRELLES, 2011).

As macrófitas aquáticas contam com processos naturais para a remoção da carga poluente do efluente em tratamento, por meio da absorção direta regulam a assimilação de nutrientes, em destaque o nitrogênio e fósforo (BIUDES e CAMARGO, 2008 apud USEPA, 2000; ESTEVES, 1998).

2 JUSTIFICATIVA

O segmento têxtil em Pernambuco contribui significadamente para a economia regional e nacional, sendo um grande polo gerador de renda e emprego. Embora esteja presente em todo o Estado, é no Agreste pernambucano, principalmente nas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, que se encontra o grande Polo de Confecções do Agreste.

As lavanderias têxteis complementam a etapa da produção de vestuário utilizando a água e produtos químicos como principais insumos, no processo de lavagem e tingimento. O lançamento desses efluentes em corpos hídricos pode resultar em uma concentração alta de nutrientes, disseminando um processo de eutrofização artificial (ESTEVES e MEIRELLES, 2011).

Um processo biológico que vem ganhando espaço para o tratamento de efluentes é a utilização de macrófitas aquáticas flutuantes. Essas algas contam com uma intensa absorção direta de nutrientes e um rápido crescimento, potencializando a eficiência do tratamento (GRANATO, 1995).

Pensando nessa problemática, o presente trabalho buscou uma forma de tratamento alternativo para os efluentes gerados nesse setor. Objetivando a redução da carga poluidora nos corpos hídricos do agreste pernambucano foi avaliada a eficiência da macrófita aquática *Pistia stratiotes* quanto a sua capacidade de tratamento em efluentes têxteis

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a eficiência do tratamento de efluentes gerados por uma lavanderia têxtil do polo de confecções do agreste, através do uso da macrófita aquática do gênero *Pistia stratiotes*.

3.2 Específicos

- Avaliar a influência da temperatura na taxa de crescimento das macrófitas;
- Avaliar a *Pistia stratiotes* quanto a sua capacidade de remoção da DQO, condutividade elétrica, salinidade, turbidez e cor;
- Analisar o comportamento do oxigênio dissolvido e potencial de hidrogênio do efluente têxtil ao longo do experimento;

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Indústria têxtil

A manufatura dos tecidos é uma das tecnologias mais velhas do homem. A indústria têxtil, que abrange tanto a confecções, como o vestuário, é um grande gerador de empregos, contando com um altíssimo volume de produção e exportações em constante expansão, possuindo grande relevância dentro da economia internacional, nacional e regional (FUJITA e JORENTE, 2015).

No agreste do Estado de Pernambuco há uma elevada concentração de empresas no setor de confecções, conhecido como Polo de Confecções do Agreste. No segmento de vestuário cerca de 75% de toda atividade industrial concentrasse nessa região do Estado. Segundo o Sindvest-PE, Sindicato das indústrias de Confecções e Vestuário de PE, o Estado é o 2º maior produtor de confecções do Brasil (EBRAHIM, 2014).

Em função das indústrias têxteis, no Polo de Confecção do Agreste, as lavanderias emergiram com maior ênfase no município de Toritama, para o processo de lavagem (tratamento) de peças de jeans, com o uso de produtos químicos, aliado com água em elevadas temperaturas.

Atualmente a região conta com mais de 200 lavanderias, distribuídas principalmente nas cidades de Toritama e Caruaru, contando com cerca de 77 e 83 unidades registradas, respectivamente. Em 2013, no município de Caruaru, 22 lavanderias industriais não possuíam registro, e apenas 28 tinham licença ambiental na Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) (SILVA FILHO, 2013).

4.2 Efluente têxtil

Não é de hoje que a tintura em tecidos é utilizada como uma arte, atividade essa que se tornou indispensável dentro do setor de vestuário. A indústria têxtil conta com uma imensa variedade de corantes nesse processo, que são formados por uma mistura de compostos químicos com uma complexa estrutura molecular, tornando uma molécula de difícil degradabilidade (SOUZA e ROSADO, 2009).

Segundo Soares (1998 apud MISHRA E TRIPATHY, 1993) as lavanderias utilizam diversos produtos químicos durante seu processo produtivo, com inúmeras composições

químicas, oscilando desde compostos poliméricos a inorgânicos. De acordo com o tipo de fibra processada o efluente gerado na indústria têxtil varia, contendo características que podem ser divergentes dependendo dessa variável. O efluente proveniente do tingimento caracteriza-se pela elevada concentração de eletrólitos e elevada concentração, já o efluente gerado no alvejamento conta com uma pequena concentração de peróxido de hidrogênio e é alcalino (CARMO, 1991). A característica em termos de composição de cada efluente têxtil depende do tipo de corante utilizado, como também dos detergentes, solventes, sais e surfactantes empregados (SOARES, 1998 apud MISHRA e TRIPATHY, 1993).

O efluente têxtil gerado além de ser em grandes proporções é de fácil percepção, já que é caracterizado por apresentar espumas na sua superfície e uma forte coloração, mesmo quando se apresenta em pequenas quantidades de corante, como 1 mg.L^{-1} , e em casos dos corantes reativos ainda menos, cerca de 5 mg L^{-1} (BERTAZZOLLI e PELEGRENI, 2002). O efluente quando despejado em corpos hídricos gera uma considerável degradação ambiental, mesmo em maior ou menor concentração, impedindo a penetração dos raios solares, prejudicando no processo de fotossíntese, favorecendo para a contaminação desses mananciais e a morte dos seres aquáticos que habitam no meio (GUARATINI, C. e ZANONI, 2000).

Os setores produtores nas áreas de tinturaria, estamparia e engomagem ou desengomagem são os principais geradores de efluentes com concentrações de carga orgânica por matéria-prima ou produto (BASTIAN, 2009). Segundo Silva, G. et al. (2005), o grau de toxicidade, representado pelo fator de diluição por bactérias (fdb), nos efluentes têxtil encontra-se na faixa de 90 a 128.

De acordo com Oliveira, D. (2009), do ponto de vista ambiental, o setor têxtil tem se destacado por suas atividades consideravelmente poluidoras. Dentre as substâncias presentes no efluente têxtil podemos destacar os metais, a soda cáustica, gomas, detergentes, antiespumantes, cloro, amido, óleos, surfactantes, dispersantes, emulsificantes, solventes, sais orgânicos e inorgânicos e uma elevada variedade de corantes (ALINSAFI et al., 2006; DELLAMATRICE e MONTEIRO, 2006; LIU et al., 2007; MATHUR et al., 2007, SOUZA e ROSADO, 2009).

Esses efluentes gerados caracterizam-se pela alta demanda química de oxigênio (DQO), elevados valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), entre 150 a 800 mg/L, teor de sólidos de 1.000 a 1.600 mg/L, teor de sólidos suspensos de 50 a 200 mg/L, altas temperaturas, acidez ou alcalinidade devida ao uso intenso na água de diversas substâncias químicas orgânicas e inorgânicas (LIU et al., 2007).

4.3 Corantes Têxteis

Segundo Cervelin (2010 apud PEARCE et al., 2003) inúmeros compostos químicos têm sido sintetizados nos últimos anos, em torno de 10.000 pigmentos e corantes são industrialmente comercializados no mercado, no entanto, atualmente apenas cerca de 2.000 desses corantes são disponibilizados para a indústria têxtil.

Para a escolha do corante que se deve utilizar inúmeras variáveis devem ser observadas, como a sua disponibilidade e classificação, as propriedades de fixação devem ser compatíveis com o local de destino do material, questões financeiras como também as características estruturais e a natureza da fibra têxtil (GUARATINI, C. e ZANONI, 2000).

Martins (1997) mostra que os corantes são cancerígenos, e, portanto, é necessário um cuidado com todos os trabalhadores da indústria têxtil, até mesmo aqueles que trabalham de forma indireta.

4.4 Legislação ambiental

Para cada tonelada de tecido trabalhado são utilizados em média de 100 m³ de água, formando 100 kg de matéria orgânica, no contexto de demanda química de oxigênio (DQO) (REZENDE et al., 2009).

De acordo com Oliveira, E. (2007), em decorrência da poluição constante de corpos hídricos por diferentes meios e com grau de toxicidade variável, os países elaboraram legislações que regulam padrões, condições e exigências máximas para uma série de parâmetros físicos, químicos e biológicos que devem ser analisados. Segundo Martins (1997), existe atualmente uma grande preocupação com o meio ambiente por parte dos empresários, procurando adequar-se à legislação ambiental, evitando assim desastres ecológicos que denigram a imagem da empresa.

Conforme a legislação federal vigente, Resolução CONAMA n. 430, de 11 de maio de 2011, Art. 16, define que o efluente só poderá ser lançado em corpos hídricos, desde que obedeçam às condições previstas, que são:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) Temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Inmhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja

- praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) Óleos e graxas:
 Óleos minerais: até 20 mg/L;
 Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- f) Ausência de materiais flutuantes;
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60%;

O grau de poluição dos efluentes pode ser definido por meio de análises laboratoriais específicas identificando o conteúdo químico presente e se o efluente atende ou não as normas ambientais impostas pela legislação (SILVA, P., 2013).

4.5 Macrófitas aquáticas

Segundo Esteves (1998 apud WEANER, 1938), que propôs uma das primeiras definições do termo macrófitas, ele afirmava que estas são plantas herbáceas que se desenvolvem na água, em solos saturados com água ou cobertos por água. De acordo com o International Biological Program (IBP), é a denominação mais adequada para caracterizar vegetais que habitam desde brejos, terrenos alagados, até ambientes verdadeiramente aquáticos.

Com a regressão do ambiente terrestre para o aquático as macrófitas apresentam ainda várias características terrestres de vegetais, como a presença de cutícula, porém muito reduzida, e de estômatos, que, no entanto, não funcionais na maioria das espécies. Desenvolveram também várias adaptações que lhes permitiram sobreviver no novo meio, estas adaptações foram tanto de natureza anatômica, como fisiológica, sendo menos evidentes entre as emergentes, e mais evidentes nas submersas. (ESTEVES, 1998).

De acordo com Esteves (1998) as macrófitas aquáticas podem habitar os mais diferenciados ambientes, dentre os quais se destacam:

1. Fitotelmos - espécies que crescem na água acumulada na bainha de bromeliáceas.
2. Fontes termais - nascentes com água de até 60°C
3. Cachoeiras - espécies restritas a estes ambientes.
4. Lagos, lagoas, represas e brejos - maioria das espécies de macrófitas aquáticas.
5. Rios, riachos e corredeiras.

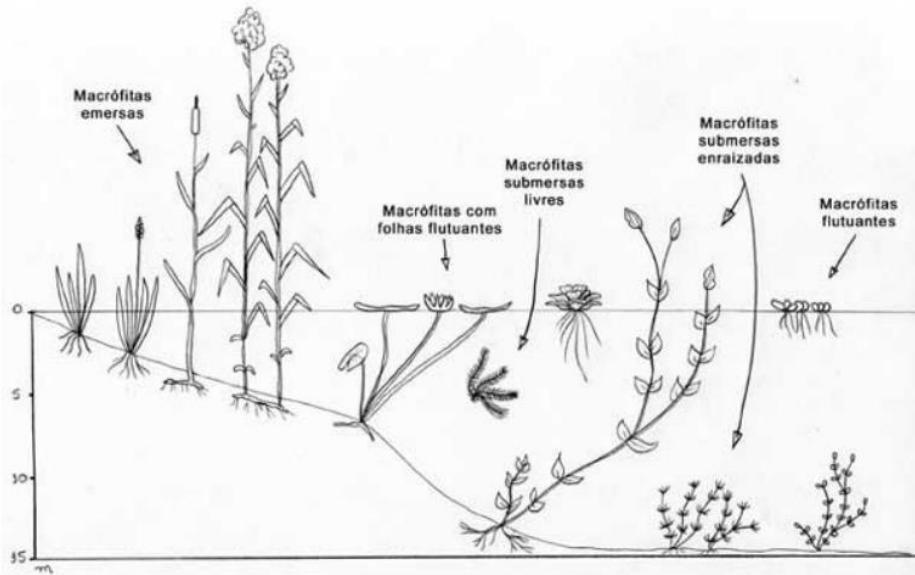
6. Ambientes salobros, como: estuários, lagunas e lagos de regiões áridas.
7. Ambientes salgados, como baías e recifes de corais e praias arenosas e rochosas.

Essas algas, devido a sua heterogeneidade, podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura. A primeira variável a ser considerada nessa classificação é o grau de adaptação das macrófitas aquáticas no meio, ou seja, aquelas que são verdadeiramente aquáticas, as macrófitas submersas, e aquelas que variam seu ambiente entre emersas e submersas (ESTEVES, 1998).

Segundo Esteves (1998) os principais grupos ecológicos de macrófitas aquáticas são:

- (i) Macrófitas aquáticas emersas: plantas enraizadas no sedimento e com folhas fora d'água.
- (ii) Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: plantas enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água.
- (iii) Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: plantas enraizadas no sedimento, que crescem totalmente submersas na água. Podem crescer, via de regra, até 11 m de profundidade, dependendo da disponibilidade de luz. A maioria tem seus órgãos reprodutivos flutuando na superfície ou aéreos.
- (iv) Macrófitas aquáticas submersas livres: são plantas que têm rizóides pouco desenvolvidos e que permanecem flutuando submersas na água em locais de pouca turbulência. Geralmente ficam presas aos pecíolos e talos das macrófitas aquáticas de folhas flutuantes e nos caules das macrófitas emersas. Durante o período reprodutivo emitem flores emersas.
- (v) Macrófitas aquáticas flutuantes: são aquelas que flutuam na superfície da água. Geralmente seu desenvolvimento máximo ocorre em locais protegidos pelo vento.

Figura 1. Classificação dos principais grupos ecológicos de macrófitas aquáticas.



Fonte: Página da Universidade Federal de São Carlos¹

Esses grupos ecológicos podem ser distribuídos de forma ordenada partindo da margem do lago para seu interior, ou seja, dando início com as macrófitas emergentes, deslocando-se para as de folhas flutuantes até as submersas enraizadas (ESTEVES, 1998).

Algumas dessas espécies possuem um alto potencial reprodutivo, sua reprodução pode ocorrer de forma sexuada, no entanto, sua principal forma de propagação se dá de forma assexuada, esse alto índice reprodutivo junto com a falta de predadores e condições climáticas favoráveis, elevado grau de eutrofização (aumento da oferta de fosfato e compostos nitrogenados), velocidade da correnteza e espaço entre plantas são condicionantes para o desenvolvimento e produção excessiva das macrófitas aquáticas (FERREIRA, 2014 apud KISSMANN, 1991; CARVALHO et al., 2012; ESTEVES, 1998).

Esse crescimento excessivo traz inúmeros problemas no ambiente aquático, como o impedimento da navegação, recreação, abastecimento urbano, obstrução ou redução do fluxo de entrada de água nas turbinas de hidroelétricas, criação de condições para o crescimento de mosquitos e caramujos transmissores de doenças e redução da concentração de oxigênio do meio (ESTEVES, 1998).

A comunidade de macrófitas aquáticas, como uma importantíssima fonte de energia para o ecossistema e geradora de uma alta produtividade de biomassa, encontra na região litorânea condições favoráveis para seu desenvolvimento. A alta produtividade proporciona

¹ Disponível em http://www.ufscar.br/~probio/info_macrof.html Acesso em nov. 2018

uma grande diversidade de animais, uma vasta quantidade de nichos ecológicos, promove a colonização de invertebrados e micro-organismos, que auxiliam na decomposição da matéria orgânica acumulada e ciclagem dos nutrientes e (ESTEVES, 1998; QUINTÃO, 2012 apud TUNDISI e MATSUMURA, 2008).

Segundo Marques (1999) e Henry e Camargo (2008), por possuírem uma rápida taxa de crescimento e uma significativa capacidade de absorver e adsorver substâncias tóxicas e processar nutrientes, as macrófitas aquáticas podem ser uma opção favorável para a recuperação de recursos hídricos, além de auxiliarem na redução dos impactos gerados pelos resíduos líquidos que deságuam nos ecossistemas aquáticos.

4.6 *Pistia stratiotes*

A *Pistia stratiotes*, uma espécie de macrófita aquática flutuante, possui sua origem incerta, sendo atribuída à América do Sul ou África, é amplamente distribuída ao longo dos trópicos, no Brasil está presente as margens de todos os rios e lagos (AMARAL et al., 2008; SOUSA, 1995; LORENZI, 1982).

Segundo Amaral et al. (2008), essa espécie de planta aquática, pertence à família Araceae, é classificada como macrófita aquática flutuante ou semi enraizada quando apresenta-se em águas rasas. Também é conhecida como alface-d'água, lentilha d'água, erva-de-Santa Luzia, flor-d'água, golfo, camolotinho, mururé-pajé, pajé e pasta, variando sua denominação de acordo com cada região do Brasil (LORENZI, 1982).

A *P. stratiotes* é composta por inúmeras raízes finas e longas, seu caule é pequeno e possui folhas sésseis, em formato de roseta, são espatuladas, esponjosas, espessamente pubescente, arredondada, apresenta-se em forma de cunha, variando de 5 a 10 cm de comprimento, possui coloração esverdeada aveludada na face superior e na parte inferior coloração pálida e esbranquiçada (LORENZI, 1982; ESCOTO, 2017 apud MANJUNATH e KOUSAR, 2016).

Figura 2. Exemplar da espécie de macrófita aquática do gênero *Pistia stratiotes*.



Fonte: Página do Plants rescue²

A reprodução pode ocorrer tanto de forma sexuada, como assexuada, reprodução por brotos com formação de plantas geneticamente idênticas produzidas a partir do rompimento das conexões entre ramos (ESCOTO, 2017 apud CARDOSO et al., 2005).

Durante a fase adulta seu desenvolvimento prioriza a produção de estalões, e enquanto jovem foca no crescimento de suas folhas (SILVA, C., 1981). Segundo Escoto (2017 apud MANJUNATH e KOUSAR, 2016) essa espécie tem se destacado bastante em estudos recentes que mostram sua eficácia no tratamento de efluentes industriais pelo método da absorção direta.

4. 7 Macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes

O efluente gerado pelas indústrias têxteis necessita ser submetido a um tratamento para se adequar as exigências impostas pela legislação local, com isso o tratamento com uso de plantas aquáticas vem se destacando diante da sua eficácia, simplicidade e economia, com visão da redução das cargas poluidoras inorgânicas, substâncias tóxicas, metais pesados e microrganismos patogênicos. (GRANATO, 1995; ALMEIDA e ALMEIDA, 2005).

Segundo Granato (1995) o uso das macrófitas como agente purificador, é um método alternativo para despoluição do efluente contaminado. O método conta também com um presumível aproveitamento da biomassa gerada e uma fácil retirada do meio aquático, em casos com excesso de população que necessitam serem removidas.

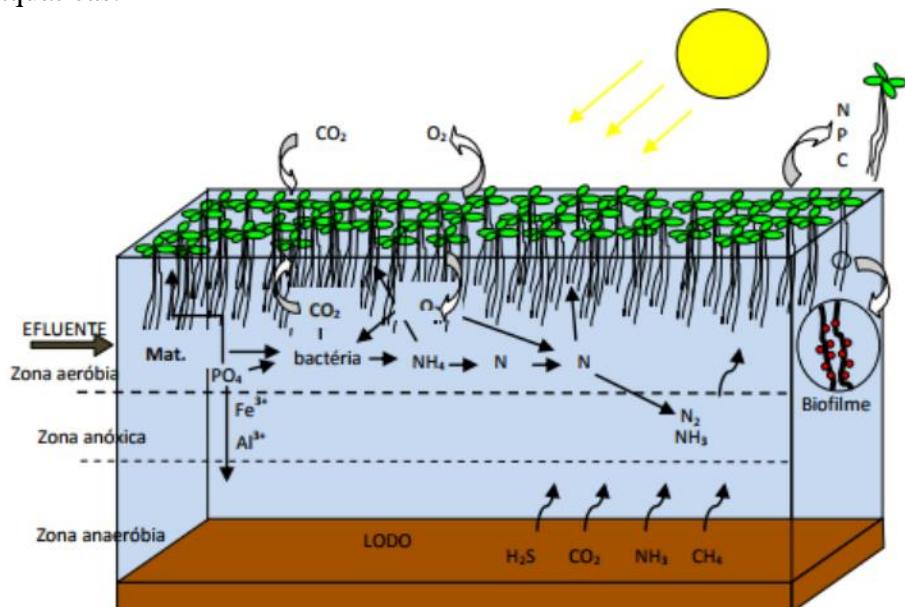
² Disponível em <<http://www.plantsrescue.com/tag/pistia-crispata/>> Acesso em nov. 2018

Os principais pontos que contribuem positivamente, quanto ao uso e desempenho dessa técnica de tratamento são a alta capacidade que as macrófitas têm em tolerar diferentes características químicas e físicas do efluente utilizado, uma fácil adaptação ao clima local, rápido crescimento, eficiência na assimilação e estoque de nutrientes na biomassa. (TANNER, 1996).

As macrófitas utilizam o método de absorção direta, como processo regulatório na remoção dos nutrientes presentes no efluente, principalmente o nitrogênio e o fósforo. O método ocorre essencialmente no sistema radicular das macrófitas aquáticas, determinadas espécies possuem a também capacidade de absorção direta pelas suas folhas (ESTEVES, 1998).

A figura 3 ilustra o processo de absorção direta utilizado pelas macrófitas aquáticas. Além do processo biológico realizado, há também uma liberação constante de oxigênio através de suas raízes, potencializando o tratamento do efluente (VALENTIM, 2003).

Figura 3. Representação do processo de tratamento do efluente, absorção direta das macrófitas aquáticas.



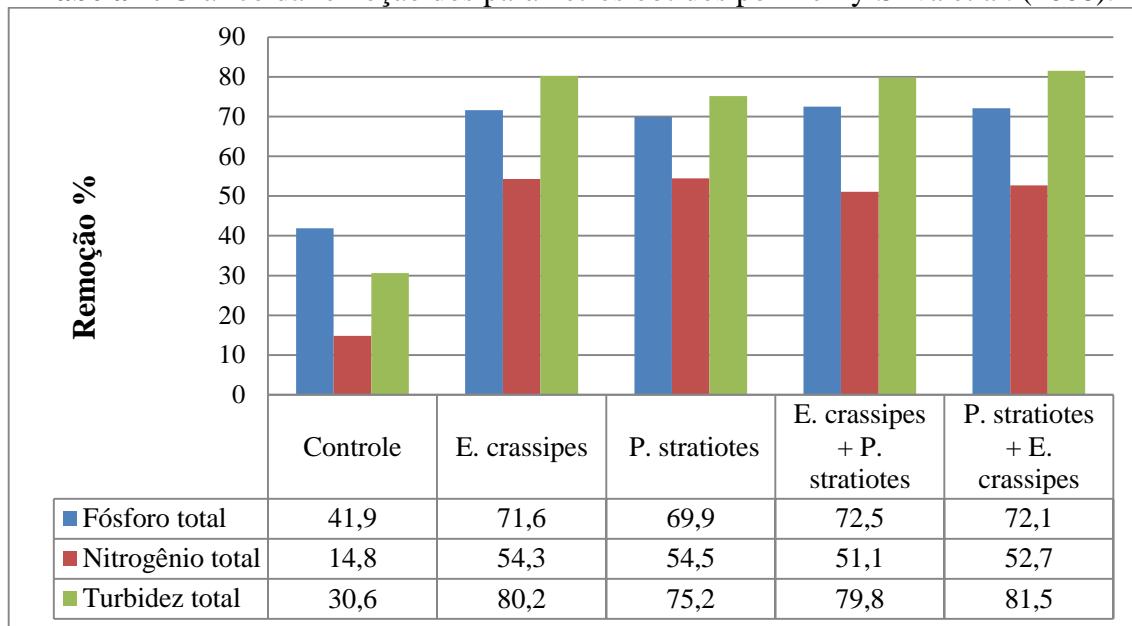
Fonte: Mohedano (2010)

A eficiência desse método pode variar em função de inúmeros fatores, como a carga de nutrientes do efluente, temperatura, características dos microrganismos, clima, tempo de retenção hidráulica e também a espécie de macrófita aquática utilizada no tratamento (BIUDES e CAMARGO, 2008; LIMA, 2010 apud LEE et al., 2009).

Segundo estudos realizados por Henry-Silva et al. (2008), avaliou o tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes, as espécies utilizadas foram a *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. O sistema utilizado para o tratamento foi um sistema

composto entre as duas espécies, constituído de 12 unidades de avaliação com macrófitas e três para controle do experimento (sem macrófitas). Ambas as macrófitas utilizadas no experimento demonstraram-se eficientes quanto a remoção do fósforo, nitrogênio e turbidez. A tabela 1 ilustra os valores em porcentagem obtidos durante os dias de análise por Henry-Silva et al. (2008).

Tabela 1. Gráfico da remoção dos parâmetros obtidos por Henry-Silva et al. (2008).



Fonte: Autora (2018), baseado em Henry Silva et al. (2008).

5 METODOLOGIA

5.1 Coleta

A primeira etapa foi caracterizada pela coleta dos materiais necessários para o experimento. As macrófitas escolhidas foram a espécie *Pistia stratiotes*, presente em grande abundância no Agreste Pernambucano em diversos corpos hídricos. A espécie escolhida foi coletada em seu ambiente natural no açude de Apipucos, que é naturalmente colonizada por diversas espécies de macrófitas aquáticas, inclusive a *Pistia stratiotes*, que fica localizada na cidade de Recife- PE, Utilizando recipientes plásticos, as macrófitas foram coletadas e encaminhadas para o Campus do Acadêmico do Agreste (CAA), da Universidade Federal de Pernambuco.

Figura 4. Fotografia das macrófitas da espécie *Pistia stratiotes*



Fonte: Autora (2018)

Após a coleta, iniciou-se a climatização das macrófitas para ajuste do seu novo habitat, utilizando uma solução com todos os nutrientes necessários para sua sobrevivência. A tabela 2 dispõe da composição da solução nutritiva padrão (Hoagland e Arnon, 1950) utilizada.

Tabela 2. Composição da solução nutritiva padrão (Hoagland e Arnon, 1950)

Solução estoque	Concentração (g.L ⁻¹)
Solução 2 de Hoagland e Arnon	-
Fosfato Monoamônico (NH ₄ H ₂ PO ₄)	115
Nitrito de Potássio (KNO ₃)	101,1
Nitrito de Cálcio [Ca(NO ₃) ₂]	164
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄)	120,3
Solução complementar	-
Ácido Bórico (H ₃ Bo ₃)	2,86
Cloreto de Maganés (MnCl ₂ .4H ₂ O)	1,81
Sulfato de Zinco (ZnSO ₄ .7H ₂ O)	0,22
Sulfato de Cobre (CuSO ₄ .5H ₂ O)	0,08
Ácido Molibdênio (H ₂ Mo ₄ .H ₂ O)	0,02
Solução Sulfato de Ferro [FeSO₄.7H₂O]	9,15

Fonte: Autora (2018), baseado em Hoagland e Arnon (1950)

A segunda parte da coleta, referente agora ao efluente têxtil, foi coletada em garrafões de 20L em uma lavanderia de jeans de porte médio localizada no município de Caruaru-PE, e também conduzida até o Campus do Acadêmico do Agreste (CAA), da Universidade Federal de Pernambuco, onde foi feita a montagem do experimento no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA).

5.2 Montagem do experimento

A montagem do experimento foi executada em uma casa de vegetação na Universidade Federal de Pernambuco - Campus Agreste (figura 5), com o intuito de manter uma temperatura mais constante e evitar herbivoria.

Figura 5. Fotografia da casa de vegetação, localizada na UFPE-CAA



Fonte: Autora (2018)

Foram adicionadas três unidades da espécie analisada em recipientes retangulares (figura 6), e preenchidas com um volume de 5 litros de efluente têxtil, a uma concentração de 50%.

Figura 6. Fotografia da unidade experimental utilizada no experimento.

Dimensões: 33,7cm (C)x17,0cm(L)x12,8cm(H)



Fonte: Autora (2018)

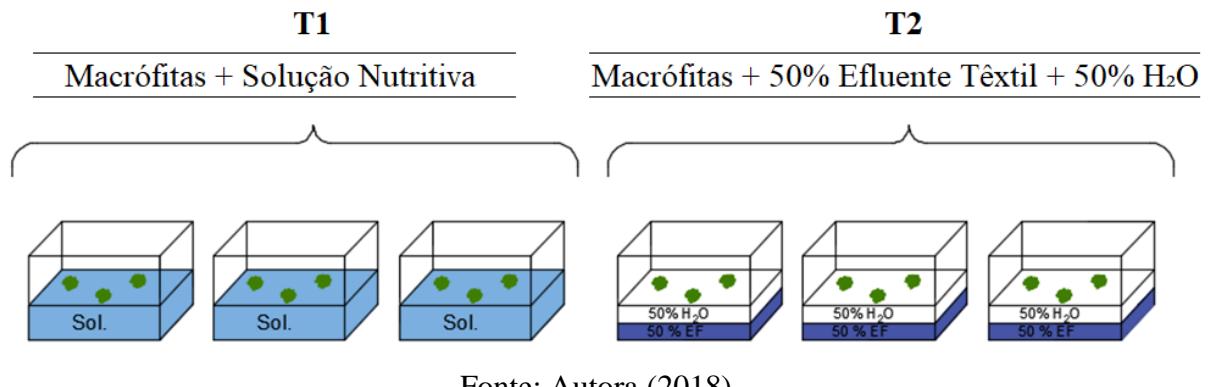
Para controle do experimento foram colocados também em recipientes retangulares 5 litros da solução nutritiva padrão (Hoagland e Arnon, 1950) e três unidades da macrófitas. Todo o experimento foi realizado em triplicada, com uma duração de oito dias.

A figura 7 apresenta o esquema de montagem do experimento.

T1: Com três unidades de macrófitas e solução nutritiva, apenas utilizada como meio de comparação, objetiva avaliar a interferência das macrófitas no tratamento no efluente têxtil (Controle).

T2: Com três unidades de macrófitas e 50% de efluente têxtil, 50% H₂O (Tratamento).

Figura 7. Desenho esquemático do experimento



Fonte: Autora (2018)

Em todos os recipientes foram colocadas redes de proteção com o objetivo de evitar que animais invadissem e posteriormente interferissem nos resultados analisados.

Figura 8. Fotografia da adaptação das redes de proteção nos recipientes, etapa T1



Fonte: Autora (2018)

Figura 9. Fotografia da adaptação das redes de proteção nos recipientes, etapa T2



Fonte: Autora (2018)

5. 3 Parâmetros

O comportamento da macrófita *Pistia statioites*, quanto a sua capacidade de tratamento do efluente têxtil, e sua taxa de crescimento foi analisado segundo os parâmetros apresentados abaixo, juntamente com a frequência de cada parâmetro utilizado durante todo o experimento.

Tabela 3. Parâmetros e frequência de análise durante o procedimento experimental.

Parâmetro	Frequência de análise
pH	Diariamente
Oxigênio dissolvido	Diariamente
Condutividade elétrica	Diariamente
Salinidade	Diariamente
Taxa de crescimento	Diariamente
Temperatura	Diariamente
Turbidez	Diariamente
Cor	4 vezes durante o experimento
DQO	3 vezes durante o experimento

Fonte: Autora (2018)

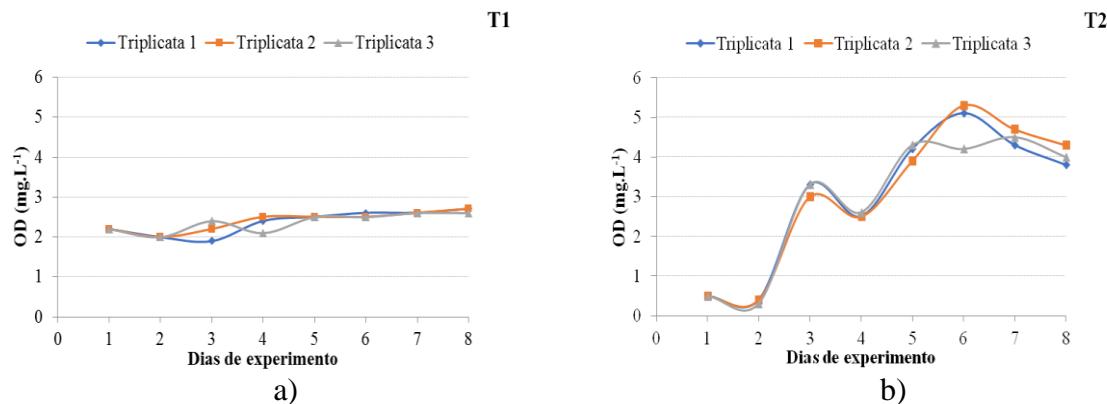
6 RESULTADOS

6.1 Oxigênio dissolvido (OD), Temperatura e Taxa de Crescimento

Um parâmetro primordial para a avaliação da qualidade da água é a concentração de oxigênio dissolvido. O oxigênio é essencial na prática de todos os processos químicos e biológicos, e pode variar sazonalmente como também ao longo do dia. Os parâmetros que influenciam diretamente na variação da concentração de oxigênio, são a temperatura e a salinidade. A solubilidade dos gases cresce junto com a redução da temperatura, e diminui com a salinidade do meio (ROCHA, 2002).

Durante o período analisado, a concentração de oxigênio dissolvido foi crescendo ao longo do experimento (Figura 10). Esse aumento possivelmente se deve tanto pela difusão do oxigênio do ambiente para a água, como também, devido à fotossíntese realizada pelas microalgas presentes no meio.

Figura 10. Gráfico da concentração de oxigênio dissolvido (OD). a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.

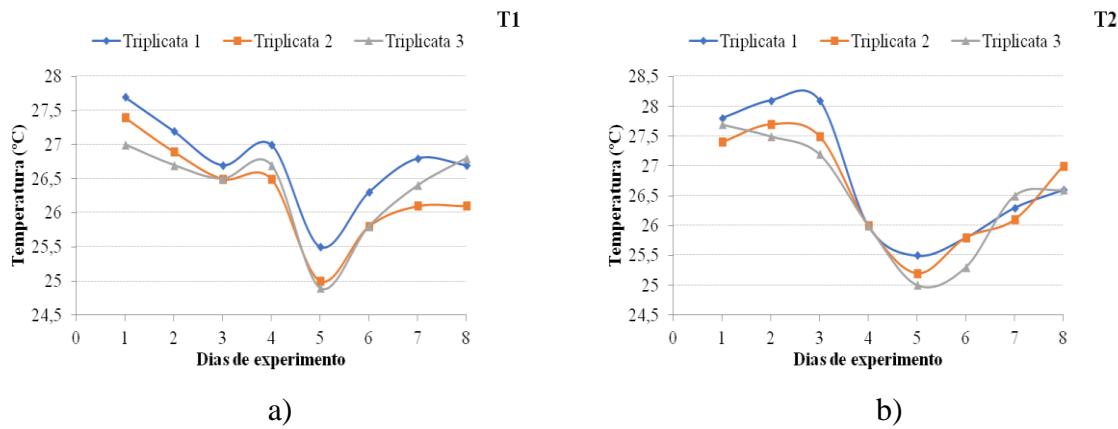


Fonte: Autora (2018)

Como se pode observar nas tabelas anteriores, houve um acréscimo expressivo da concentração de oxigênio durante os dias 5 e 6 do experimento, essa variação pode ser explicada pelas baixas temperaturas apresentadas durante esses dias.

A figura 11 ilustra a variação da temperatura durante os dias de experimento.

Figura 11. Gráfico da variação da temperatura. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.

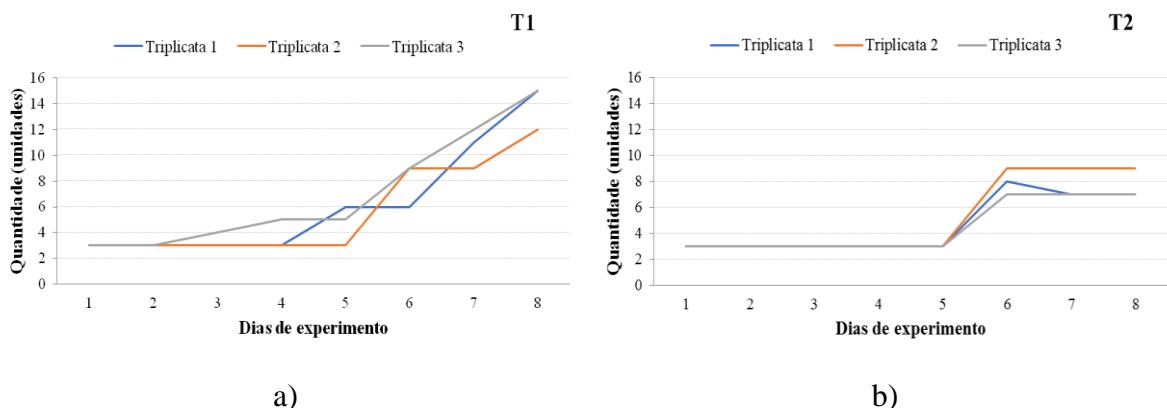


Fonte: Autora (2018)

Segundo Cancian et. al (2009), as temperaturas de 15 e 30 °C são valores limitantes de temperatura para o crescimento vegetativo da espécie analisada, e que para o melhor desempenho equivalente a seu crescimento ocorre a uma temperatura em torno de 25 °C.

A figura 12 apresenta a taxa de crescimento da macrófita *Pistia stratiotes* em termos de quantidade em ambos os sistemas durante o período analisado, onde é possível observar que as maiores variações da taxa de reprodução ocorreram entre os dias 5 e 6, onde nesses dias a média de temperatura se deu em torno dos 25 °C, segundo Cancian (2007), temperatura ideal para o melhor desempenho da macrófita *Pistia stratiotes*.

Figura 12. Gráfico da taxa de crescimento em termos de quantidade de macrófitas. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.



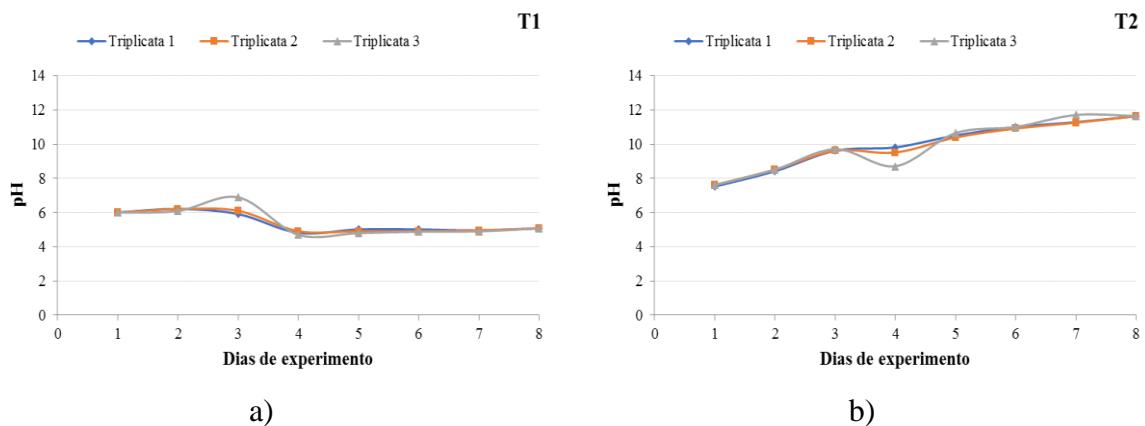
Fonte: Autora (2018)

6.2 Potencial de Hidrogênio (pH)

A figura 13 ilustra o acompanhamento do pH durante os dias de análise, em ambos os experimentos. Nas amostras contendo efluente têxtil foi observado um acréscimo acentuado do pH, com média de valores iniciais e finais, entre 7,5 e 11,65, enquanto que nas amostras contendo solução nutritiva os valores do pH obtiveram uma pequena variação, com mínima e máxima de 4,8 e 6,45, respectivamente.

Os altos valores do pH observados no efluente têxtil podem ser explicados pela atividade fotossintética realizada pelas microalgas presentes no sistema, quando ocorre a retirada do ácido carbônico do meio e consequentemente aumento do pH. Além disso, o efluente têxtil possui como característica o pH elevado, variando entre 8 e 13.

Figura 13. Gráfico da análise de pH. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.



Fonte: Autora (2018)

6.3 Turbidez

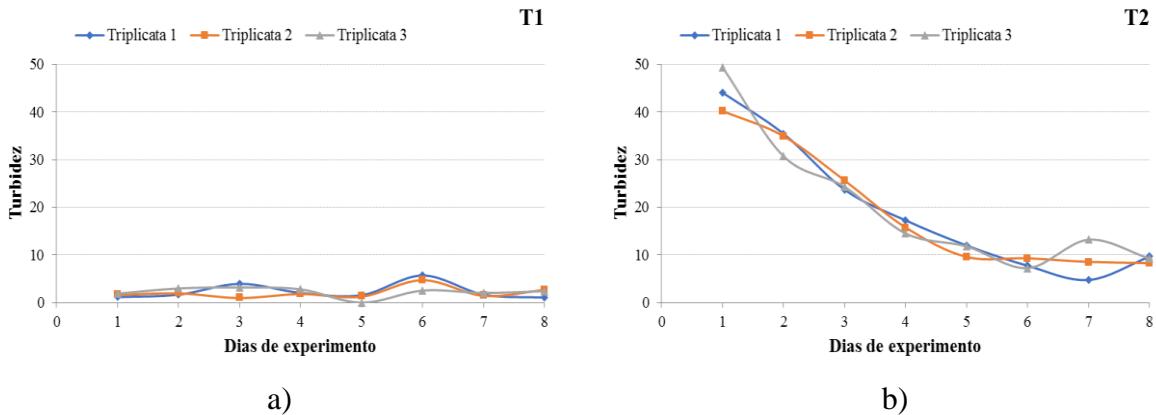
A turbidez caracteriza-se como o obstáculo de bloqueio para a penetração da luz no sistema, é um requisito de qualidade da água e confere-se essencialmente a presença de materiais particulares em suspensão, que dificultam a transmissão da luz no ambiente.

Ao longo dos dias de experimento, a turbidez do efluente têxtil teve uma acentuada redução em seus valores, com uma média máxima das três amostras de 44,5 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) no primeiro dia e uma média mínima de 9,07 NTU no oitavo dia. Os valores obtidos da turbidez na solução nutritiva já se apresentaram baixos desde o primeiro dia de análise, mantiveram-se com valores estáveis, entre 3,9 e 1,36 NTU (Figura 14).

A redução encontrada nos valores da turbidez no efluente têxtil pode ser explicada pelo eficiente desenvolvimento radicular das macrófitas da espécie *Pistia stratiotes*, que juntamente com uma pequena coluna d'água nos recipientes utilizados no experimento, formam em conjunto, um meio com condições cômodas para adsorção e precipitação dos sólidos em suspensão (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006).

A turbidez também está ligada com o aumento da taxa de crescimento das macrófitas aquáticas em termos de quantidades. O aumento do número de indivíduos serve como uma espécie de barramento contra ações do vento, o que favorece a diminuição dos valores da turbidez com a sedimentação do material particulado em suspensão (THOMAZ et al., 1999).

Figura 14. Gráfico da análise de Turbidez. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.



Fonte: Autora (2018)

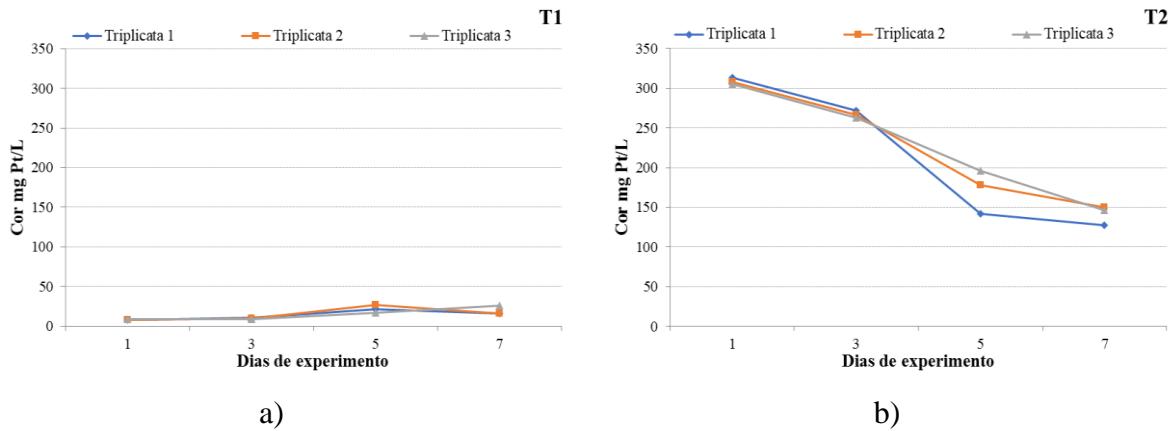
6.4 Cor

O comportamento da cor ao longo do experimento está ilustrado na figura 15, o parâmetro foi medido a cada dois dias nas amostras. Nas amostras, os maiores valores obtidos da cor são referentes ao efluente têxtil, a média máxima das três réplicas desse experimento ocorreu no primeiro dia com um valor de 308,7 mgPt/L, e a média mínima observada ao final do experimento alcançou um valor de 141 mgPt/L.

As macrófitas aquáticas da espécie estudada, *Pistia stratiotes*, mostraram uma eficiência de 54,32% na redução da coloração do efluente têxtil.

As variações dos valores obtidos nas amostras com solução nutritiva podem ser explicadas devido à presença de microalgas no sistema, que juntas formam uma espécie de “nata” interferindo diretamente nos resultados desse parâmetro.

Figura 15. Gráfico da análise da cor. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.

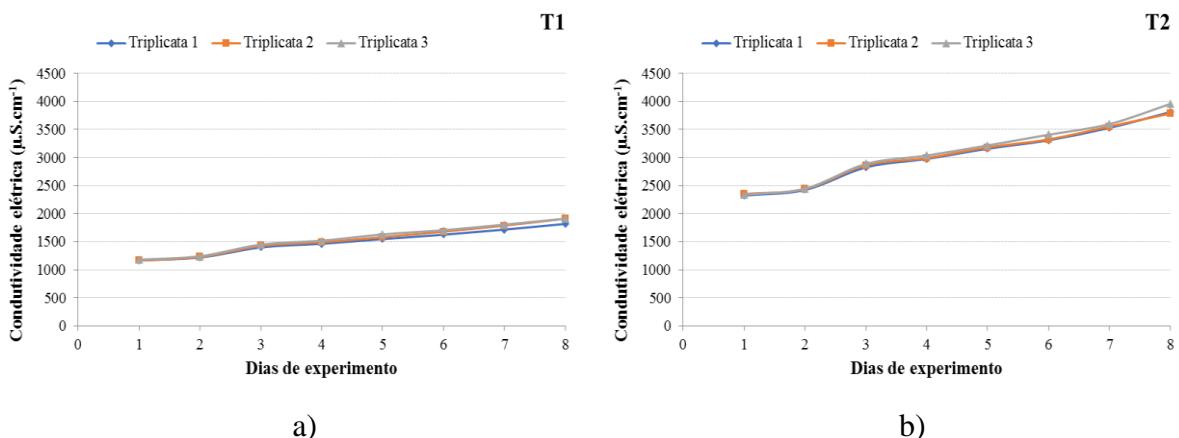


Fonte: Autora (2018)

6.5 Condutividade elétrica e Salinidade

A condutividade elétrica expressa numericamente à capacidade do sistema em transportar corrente elétrica. Durante os dias analisados foi observada nas amostras de efluente têxtil uma elevada condutividade elétrica e, um acréscimo contínuo desse parâmetro desde os primeiros dias de análise. Nas amostras contendo solução nutritiva encontram-se valores menores, no entanto, também em um faixa crescente (Figura 16).

Figura 16. Gráfico da análise da condutividade elétrica. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.



Fonte: Autora (2018)

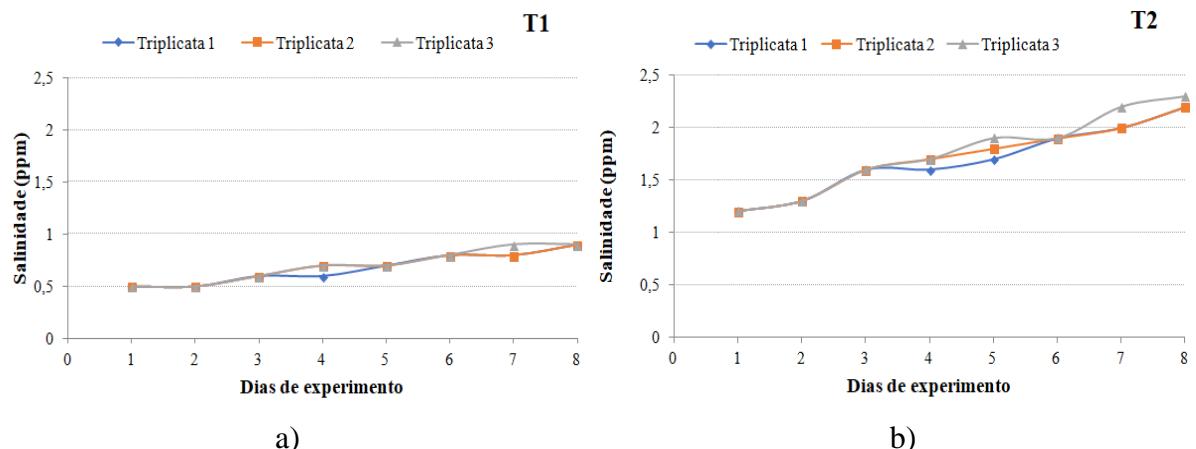
Os valores elevados de condutividade elétrica no efluente têxtil podem ser explicados devido à grande concentração de sais dissolvidos, principalmente os sais de sódio, sulfatos, cloretos e carbonatos, que são utilizados em quantidades excessivas durante o ciclo de produção

da indústria têxtil. Os sais quando presentes em meio aquoso não só dissolvem-se, como também ocorre a dissociação de suas moléculas, formando íons que refletem na capacidade de conduzir eletricidade (NIEWEGLOWSKI, 2006).

O aumento do parâmetro destacado em ambas as amostras, pode ter decorrido da liberação de sais dissolvidos para o sistema em função de uma possível perda de biomassa. A *Pistia stratiotes* também demonstrou uma baixa capacidade de absorção dos íons dissolvidos, o que reflete juntamente no aumento da condutividade elétrica (GENTELINI et al., 2008).

Similarmente, foi notado um comportamento semelhante no grau de salinidade dos experimentos, a condutividade da solução é proporcional à salinidade do meio. Isso explica o aumento gradual dessa variável nos experimentos durante os dias estudados. Nos recipientes contendo efluente têxtil, a presença de sais esteve em maior abundância do que nos recipientes utilizados para controle do experimento (Figura 17).

Figura 17. Gráfico da análise da salinidade. a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.



Fonte: Autora (2018)

6.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

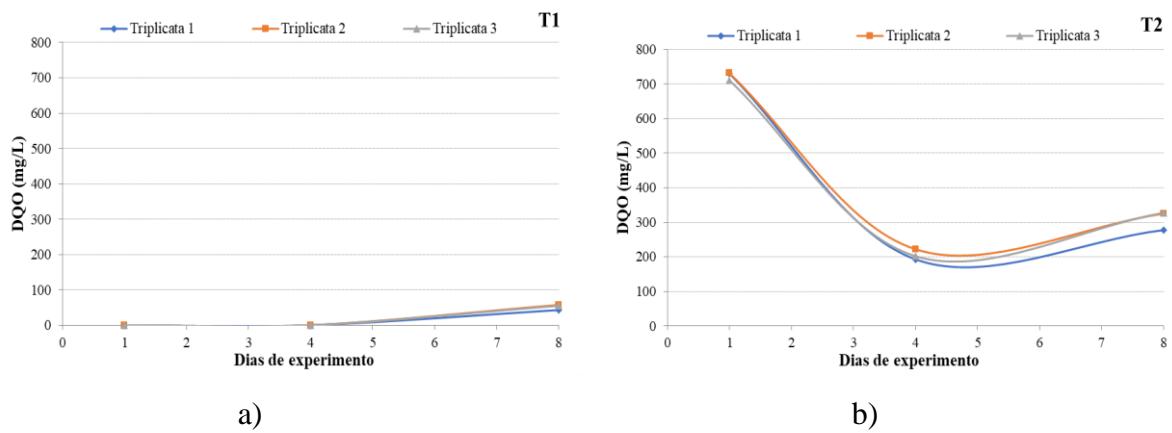
A demanda química de oxigênio refere-se à quantidade de oxigênio essencial para que a matéria orgânica se oxide sob condições definidas. Segundo Von Sperling (2005), é um parâmetro primordial na quantificação do nível de poluição de um corpo hídrico.

De acordo com os resultados obtidos durante os três dias de análise desse parâmetro, foi verificada uma redução significativa da demanda química de oxigênio (DQO) nas amostras com efluente têxtil. Para as triplicatas, 1, 2 e 3, observou-se uma eficiência de redução de

respectivamente 73,63 %, 69,66% e 69,59%, já no quarto dia de experimento, seguida por um aumento da DQO nos dias subsequentes.

Nas amostras para controle, com solução nutritiva, a presença de microalgas apresentadas ao decorrer do experimento pode ter conduzido variações nos valores da DQO nesses recipientes, que inicialmente encontravam-se em zero (Figura 18).

Figura 18. Gráfico da análise de DQO, em mg.L^{-1} . a) T1: macrófitas e solução nutritiva; b) T2: macrófitas e efluente têxtil.



Fonte: Autora (2018)

A eficiência da *Pistia stratiotes* neste parâmetro pode ter se dado por meio de absorção direta da carga orgânica simples presente no meio (PINAFFI et al., 2017 apud SHAH et al., 2015). Além disso, a sua elevada taxa de crescimento potencializa o desempenho na remoção da DQO.

7 CONCLUSÃO

Durante o estudo foi possível constatar que a *Pistia stratiotes* possui uma alta capacidade de se adaptar a diversos tipos de ambientes.

Observou-se que a temperatura influenciou ativamente na reprodução das macrófitas. Nos dias mais frios do experimento, com temperaturas próximas a 25 °C verificou-se as maiores taxas de reprodução da espécie.

Essa alta taxa de reprodução, em ambos os sistemas avaliados, refletiu positivamente na remoção da carga orgânica. A redução da demanda química de oxigênio (DQO) foi possível devido ao processo natural de absorção direta.

Analizando a média das três amostras estudadas para o tratamento de efluente têxtil houve uma remoção de 79,62% da turbidez. O resultado positivo obtido nesse parâmetro se deu essencialmente pela ação da sedimentação.

A concentração de oxigênio dissolvido em um meio pode variar sazonalmente, devido à temperatura do ambiente e a salinidade. Durante o experimento a presença do oxigênio nas amostras cresceu ao longo do período estudado devido à fotossíntese realizada pelas microalgas presentes em ambas as amostras analisadas, com maior ênfase nas triplicatas com efluente têxtil. Tal atividade, gerou também um aumento dos valores do pH nos sistemas avaliados.

A *Pistia stratiotes* foi eficiente na remoção da cor do efluente têxtil, com uma remoção superior a 50% do seu valor inicial. No entanto, demonstrou-se ineficiente na absorção dos íons de sais dissolvidos, refletindo então no aumento da condutividade elétrica e consequentemente da salinidade.

Diante do que foi exposto, conclui-se que a macrófita aquática do gênero *Pistia stratiotes* foi eficiente na remoção de alguns dos parâmetros analisados sob as condições a qual foram submetidas, no entanto é necessário a obtenção de estudos mais conclusivos quanto a utilização da *Pistia stratiotes* no tratamento de efluente têxtil.

REFERÊNCIAS

- ALINSAFI, A.; MOTTA, M.; LE BONTÉ, S.; PONS, M. N.; BENHAMMOU, A. Effect of variability on the treatment of textile dyeing wastewater by activated sludge. **Dyes Pigments**, London, v. 69, p. 31-39, 2006.
- ALMEIDA, R.A.; ALMEIDA, N.A.M. **Remoção de coliformes do esgoto por meio de espécies vegetais**. Revista eletrônica de enfermagem, v. 7, n. 3, pp. 306-317, 2005.
- AMARAL, M.C.R.; BITTRICH, V.; FARIA, A. D.; ANDERSON, L. O.; AONA, L. Y. S. **Guia de campo para plantas aquáticas e palustres do Estado de São Paulo**. Ribeirão Preto: Holos, 2008.
- BASTIAN, E.Y.O. **Guia Técnico Ambiental da indústria Têxtil**. São Paulo, CETESB – SINDITEXTIL, 2009.
- BIUDES, J. F. V.; CAMARGO, A. F. M. **Estudos dos Fatores Limitantes à Produção Primária por Macrófitas Aquáticas no Brasil**. Oecologia Brasiliensis. 12: 7-19, 2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n. 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 República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- CANCIAN, L. F.; CAMARGO, A. F. M.; SILVA, G. H. G. **Crescimento de Pistia stratiotes em diferentes regimes de temperatura e fotoperíodo**. Acta Bot. Bras. vol.23, n.2, pp.552-557. 2009.
- CANCIAN, L. F. **Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes Pistia Stratiotes e Salvinia molesta em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo**. 2007. 55f. Dissertação (Mestrado) Pós- graduação em Aqüicultura - Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- CARDOSO, L.R.; MARTINS, D.; MORI, E. S.; TERRA, M. A. **Variabilidade genética entre populações de Pistia stratiotes. Planta daninha**. Viçosa, MG, v.23, n. 2, p. 181-185, Jun. 2005.
- CARMO, D. L. **Tratamento de efluentes têxteis**. Rio de Janeiro, SENAI/CETIQT, 1991.

CARVALHO, S. L. B. V; MOTTA S. M. A; CARVALHO, M. N. O. **Remoção de Ferro Por Adsorção Pela Macrófita Aquática Eichhornia Crassipes**, 2012.

CERVELIN, P. C. **Avaliação da remoção do corante comercial reativo azul 5G utilizando macrófita Salvínia sp.** Toledo, PR, 2010.

COSTA, F. J. L. **Estratégias de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil.** Brasília, Banco Mundial, v. 1, p. 117, 2003.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. **Toxicidade de resíduos têxteis tratados por microorganismos.** Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology, Rio Grande, v. 1, p. 63-66, 2006.

EBRAHIM, R. **Polo de Confecções do Agreste: da Sulanca à industrialização.** Jornal do comercio, 2014. Disponível em: <<https://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/pernambuco/noticia/2014/12/14/polo-de-confeccoes-do-agreste-da-sulanca-a-industrializacao-160371.php>>. Acesso em 25 de nov. de 2018

ESCOTO, D. F. **Uso da Pistia stratiotes como fitorremediadora de recursos hídricos contaminados por clomazone.** Uruguaiana, 2017.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 2a ed. Interciência – FINEP: Rio de Janeiro, 602p, 1998.

ESTEVES, F. de A.; MEIRELLES, P. F. **Eutrofização artificial. Fundamentos de limnologia.** 3^a ed., Rio de Janeiro, Editora Interciência, p. 625-656, 2011.

FERREIRA, R. M. **Utilização das macrófitas aquáticas *Salvinia* sp e *Pistia stratiotes* para o tratamento alternativo de efluentes contaminados por metais.** Macaé, 2014.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. **A Indústria Têxtil no Brasil:** uma perspectiva histórica e cultural. Revista ModaPalavra e-Periódico vol.8, n.15, jan./jul, 2015.

GENTELINI, A. L.; GOMES, S. D.; FEIDEN, A.; ZENATTI4, D.; SAMPAIO, S. C.; COLDEBELLA, A. **Produção de biomassa das macrófitas aquáticas *Eichhornia crassipes* (Aguapé) e *Egeria densa* (*Egeria*) em sistema de tratamento de efluente de piscicultura orgânica1.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 2, p. 441-448, abr./jun. 2008. Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/2833/2408>> Acesso em 17 de nov. 2018.

GRANATO, M. **Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos.** Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1995. (Série Tecnologia Ambiental, 05).

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes têxteis.** Revista Quimica Nova, p.71-78, 2000.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M.; PEZZATO, L. E. **Digestibilidade aparente de macrófitas aquáticas pela tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*) e qualidade da água em relação às concentrações de nutrientes.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, n.3, p.642-647, 2006.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. **Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 37, p. 181-188, 2008.

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.L. **The water culture methods for growing plants without soil.** Berkeley, California Agriculture Experiment Station, 1950. 32p.

ITABORAHY, M. A.; SILVA, H. V. **Indústrias de confecção no município de Cianorte-PR e a necessidade de implantação de programas de gestão ambiental.** Maringá Management, v. 3, n. 1, 2008.

KIMURA, I. Y.; GONÇALVES, J. A. C.; STOLBERG, J.; LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. **Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana.** Polímeros: Ciência e Tecnologia. p. 51-57, 1999.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestante e nocivas Tomo I.** São Paulo, BASF Brasileira S.A. p. 608, 1991.

LEE, C. G.; FLETCHER, T. D.; SUN, G. **Nitrogen removal in constructed wetland systems.** Eng. Life Sci., v. 9, p. 11-22, 2009.

LIMA, P. C. G. **Estudo dos mecanismos de detoxificação e tolerância aos metais cromo e cobre em *Pseudokirchneriella subcapitata* e *Pistia stratiotes* e o uso das macrófitas *Typha* sp e *Phragmites* sp na remoção de nutrientes em wetlands construídas.** São Carlos, SP, 2010.

LIRA, S. **Os aglomerados de micro e pequenas indústrias de confecções do Agreste/PE: um espaço construído na luta pela sobrevivência.** Revista de Geografia, Recife, v.23, n.1, 2006.

LIU, R.; CHIU, H. M.; SHIAU, C.; YEH, R.Y.; HUNG, Y. **Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes.** Dyes Pigments, London, v. 73, p. 1-6, 2007. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.10.002>>. Acesso em: 10 de jul. 2018.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil:** terrestre, aquáticas, Parasitas, tóxicas e medicinais. Nova Odessa, 1982.

NIEWEGLOWSKI, A. M. A. **Indicadores de qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Toledo.** 2006. 218f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MANJUNATH, S.; KOUSAR, H. **Phytoremediation of textile industry effluent using Pistia stratiotes.** International Journal of Environmental Sciences, v. 5, n.2, p. 75-81, 2016.

MARQUES, D. M. **Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial.** In.: Campos, J.R. (Coord.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. 1^a Ed. Rio de Janeiro, ABES, p.409-435, 1999.

MARTINS, G. B. H. **Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina.** Santa Catarina, 1997.

MATHUR, N.; BHATNAGAR, P.; MOHAN, K.; BAKRE, P.; NAGAR, P.; BIJARNIA, M. **Mutagenic evaluation of industrial sludge from common effluent treatment plant.** Chemosphere, Oxford, v. 67, p. 1229-1235, 2007.

MISHRA, G.; TRIPATHY, M. **A critical review of the treatments for decolourization of textile effluent.** Colourage, n. 40, p. 35–38, 1993.

MOHEDANO, R. A. **Uso de macrófitas lemnáceas (*landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono.** 2010. 270 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2010.

OLIVEIRA, E. A. **Estudo do potencial de utilização da biomassa de *Luffa cylindrica* na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis.** Tese de doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

OLIVEIRA, D. M.; LEÃO, M. M. D. **Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagente de fenton.** Quim. Nova, Vol. 32, No. 9, p. 2282-2286, 2009.

PEARCE, C. I.; LLOYD, J. R.; GUTHRIE, J. T. **The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review.** Dyes Pigments 58, 2003.

PINAFFI, C.; SANTOS, C. H. **Redução da carga orgânica de dejetos líquidos de suínos por macrófitas aquáticas.** Colloquium Agrariae, vol. 13, n. Especial, p. 181-188, Jul–Dez, 2017. Disponível em: <<http://www.unoeste.br/site/enepe/2017/suplementos/area/Agrariae/Agronomia/REDU%C3%87%C3%83O%20DA%20CARGA%20ORG%C3%82NICA%20DE%20DEJETOS%20L%C3%83%8DQUIDOS%20DE%20SU%C3%82DNOS%20POR%20MACR%C3%82%93FITAS%20AQ%C3%82U%C3%8281TICAS.pdf>> Acesso em 20 de nov. 2018.

QUINTÃO, J. M. B. **Decomposição de macrófitas aquáticas em reservatórios com diferentes graus de trofia.** Brasília, DF, 2012.

ROCHA, J. V. F. **Concentração de oxigênio dissolvido na água.** Alunos online, 2002. Disponível em <<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/concentracao-oxigenio-dissolvido-na-agua.html>>. Acesso em 26 de nov. 2018

REZENDE, D.; CARVALHO, K. Q.; KREUTZ, C.; ARANTES, E. J.; PASSIG, F. H. **Avaliação do processo de tratamento de efluentes de uma lavanderia industrial de jeans.** Olam –Ciência e Tecnologia. n.2, n.especial, p.253, set. 2009, Rio Claro-SP.

SEBRAE -Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas. **Estudo econômico do arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano, 2012.** Disponível em <<http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Economico%20do%20APL%20de%20Confeccoes%20do%20Agreste%20-2007%20de%20MAIO%202013%20%20docx.pdf>> Acesso em: 26 de nov. 2018

SHAH, M.; HASHMI, H. N.; GHUMMAN, A. R.; ZEESHAN, M. **Performance assessment of aquatic macrophytes for treatment of municipal wastewater.** Journal of the South African Institution of Civil Engineering, v. 57, n. 3, p. 18-25, September/2015. Disponível em <<http://www.scielo.org.za/pdf/jsaice/v57n3/03.pdf>>. Acesso em 27 de nov. 2018.

SILVA, C. J. **Observações sobre a biologia reprodutiva de *Pistia stratiotes* L. (Araceae).** Acta Amazonica, v.11, n.3, p.487-504, 1981.

SILVA FILHO, A. R. A. **Desenvolvimento de Sistema Simplificado de Gestão Ambiental Aplicada a micro e pequenas empresas de beneficiamento de jeans.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

SILVA, G. L.; ALCÂNTARA, C, V.; SILVA, M. G. C.; SILVA, V. L.; MOTTA, M. **Avaliação da remoção de cor dos efluentes de indústrias têxteis em colunas empacotadas com argilas esmectitas da região do Araripe/PE.** 23º congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental. Campo Grande, MS, 2005.

SILVA, P. O. **Métodos de tratamento de efluentes da indústria têxtil.** Montes Carlos, 2013.

SOARES, J. L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas.** Florianopolis, 1998.

SOUSA, J. **Enciclopédia Agrícola Brasileira.** v. 1 A-B, EDUSP, 1995.

SOUZA, A. F.; ROSADO, F. R. **Utilização de fungos basidiomicetos em biodegradação de efluentes têxteis.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Paraná, v. 2, n. 1, p. 121-139, 2009.

TANNER, C. C. 1996. **Plants for constructed wetland treatment systems – A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species.** Ecological Engineering. 7: 59-83.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M.; SOUZA, D. C.; PAGIORO, T. A.; CARMO, M.; PIERINI, S.; RIBEIRO, R. e HEIL, SA. 1999. **Estudos de macrófitas aquáticas no reservatório de Itaipú: monitoramento e fatores ecológicos relacionados com as alterações da biomassa.** Maringá: UEM/Nupélia. 83 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA, T. T. **Limnologia.** Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Manual for Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. USEPA: Cincinnati, 166p., 2000.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação.** 2003. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WEANER, J. E.; CLEMENTS, F. E. **Plant Ecology.** New York, Mc Graw Hill, 1938.