



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



ELAINE COSTA ALMEIDA BARBOSA

**ESTUDO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DAS MACRÓFITAS
AQUÁTICAS LENTILHA D'ÁGUA (*Lemna* sp.) E DA ORELHA DE ONÇA (*Salvinia
auriculata* Aubl.) E DA SUA BIOMASSA PARA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
BRIQUETES**

JOÃO PESSOA

2019

ELAINE COSTA ALMEIDA BARBOSA

**ESTUDO DO POTÊNCIAL FITORREMEIADOR DAS MACRÓFITAS
AQUÁTICAS LENTILHA D'ÁGUA (*Lemna sp.*) E DA ORELHA DE ONÇA (*Salvinia
auriculata* Aubl.) E DA SUA BIOMASSA PARA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
BRIQUETES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Riuzuani Michelle B. Pedrosa Lopes

Dra. Riuzuani Michelle B. Pedrosa Lopes
Orientadora

Dra. Silvia Layara Floriani Andersen
Coorientadora

JOÃO PESSOA

2019

ELAINE COSTA ALMEIDA BARBOSA

**ESTUDO DO POTÊNCIAL FITORREMEIADOR DAS MACRÓFITAS
AQUÁTICAS LENTILHA D'ÁGUA (*Lemna sp.*) E DA ORELHA DE ONÇA (*Salvinia
auriculata* Aubl.) E DA SUA BIOMASSA PARA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE
BRIQUETES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração Energias Renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em ____ de _____ de 2019.

Riuzuani Michelle B. Pedrosa Lopes

Dra. Riuzuani Michelle B. Pedrosa Lopes
UFPB
Orientadora

Dra. Silvia Layara Floriani Andersen
UFPB
Coorientadora

Prof. Dra. Marta Célia Dantas Silva
UFPB
Examinadora Interna

Prof. Dra. Sayonara Andrade Eliziário
UFPB
Examinadora Externa

JOÃO PESSOA

2019

Dedico este trabalho a meus pais, que me deram força e coragem para chegar cada vez mais longe, ao meu esposo Gláucio que foi o meu sempre fiel companheiro nesta jornada e as minhas princesas Lívia e Beatriz, que o amor que nos une me faz compreender cada vez mais o significado da palavra família.

AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho, me sinto no dever pessoal de fazer alguns agradecimentos às pessoas e instituições que, de forma mais direta, tornaram possível a realização de mais uma etapa da minha vida acadêmica e também de uma conquista pessoal. Neste sentido, antes de tudo, agradeço a Deus, inspirador e consolador em todos os momentos da minha vida.

A meus pais, Álvaro Correia de Almeida e Maria da Guia Costa Almeida sempre presente, sempre participando me dando todo carinho e amor e que se não fosse pelo incentivo de vocês não teria chegado até aqui.

A minha irmã Elisândra Costa Almeida Professora da UFPB que me motivou a realizar este trabalho.

Aos meus querido irmãos Elisângela Costa Almeida, Elizabeth Costa Almeida, Eneide Costa Almeida, Álvaro Correia de Almeida Filho e Álvaro Correia de Almeida Júnior, por todo carinho.

Aos meus cunhados Lohane, Gilberto e Ivânio, por estarem sempre presentes.

A minhas sobrinhas Betssandra minha afilhada querida e amada, te amo como uma filha, e aos meus sobrinhos Maria Luiza, Maria Clara, José Eduardo, Álvaro Neto, Maria Júlia (minha pipoquinha), Luiz Gustavo e o pequeno Gabriel, sempre lembrado mesmo longe.

Aos meus avôs, Alaíde Correia de Almeida, Manuel Nicolau Costa e Inácia Maria Porto Costa, sempre lembrando em minhas lembranças de infância.

Ao meu esposo querido e amado que foi meu companheiro de toda minha caminhada, obrigado amor sem você não teria conseguido, pois estava comigo em todo este caminho, meu colega, meu professor, meu amor.

As minhas queridas princesas Livia e Beatriz amo vocês, frutos do meu amor.

A minha colega Sara Almeida de Figueiredo pela companhia, paciência e apoio neste trabalho.

As professoras Carmem Lúcia Moreira Gadelha e Janeeyre Ferreira Maciel pela disponibilidade dos laboratórios para as análises químicas e microbiológicas.

Aos técnicos Elson do LABSAN/CT - UFPB e Genilson do LMA/DEA –UFPB, pela ajuda e orientação nas análises laboratoriais.

Ao Roberto dos Santos Moura e sua esposa que cederam o local e a estrutura para a realização deste projeto. Sua simplicidade e amizade fizeram que conseguisse realizar este

sonho. Minha eterna gratidão.

Ao Sr. Romulo Fonseca Vieira pelas amostras doadas a pesquisa. Sempre prestativo.

A direção do Jardim Botânico Benjamim Maranhão conhecido como Mata do Buraquinho, na pessoa Juliana pela compreensão da utilização da água do rio em mata de reserva para as pesquisas. Ao Sr. Sérgio pela ajuda prestada.

Ao aluno Lucas Gabriel Cosmo pela ajuda neste trabalho.

A Prof. Silvia Layara Floriani Andersen pelo carinho e ajuda nas análises laboratoriais, muito obrigado por toda atenção e o apoio nesta etapa.

Aos colegas de curso, que sempre estavam presentes. Sentirei saudade de todos.

E em especial a minha orientadora, professora Riuzuani Michelle B. Pedrosa Lopes, sem você não teria realizado esta etapa da minha vida. Acreditou em meu trabalho, deu força e acima de tudo, dedicação conhecimento, sempre presente. Realmente uma verdadeira orientadora.

A todos que contribuíram direta e indiretamente neste processo, Meu muito OBRIGADO!!!.

“O amor ao próximo é a fonte renovável de energia que nos impulsiona a fazer o bem.”

Ivenio Hermes

RESUMO

A despoluição das águas utilizando a fitorremediação esbarra no problema da proliferação das plantas, que apesar de eficazes nesse processo pode causar desequilíbrio ecológico. Esse impasse pode ser minimizado com uma forma de manejo que preveja a retirada dessas plantas do seu ambiente aquático tão logo termine seu ciclo fitorremediador. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi investigar e analisar se as macrófitas aquáticas como a Lentilhas d'água (*Lemna Sp.*) e a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) no processo de fitorremediadoras, como também o seu potencial para a fabricação de briquetes a partir da sua biomassa para fins energéticos. Sendo assim, foi escolhida a água do rio Jaguaribe na cidade de João Pessoa-PB, por ser um rio que mostra um certo grau de eutrofização e presença de lançamento de esgoto doméstico sem tratamento. Os tanques para o acompanhamento das análises foram instalados na cidade do Conde, onde foi realizada o acompanhamento do crescimento vegetativo. As análises da qualidade da água e os procedimentos foram realizados conforme as metodologias do Methods for the Examination of Water and Wastewater, em duplicatas para garantir a aquisição de dados mais precisos para as análises físico-química e microbiológicas. No processo de obtenção da biomassa foram realizadas as análises em duplicatas, visando determinar a composição imediata, do poder calorífico dos briquetes. Os resultados da pesquisa demonstraram mais de 90% da capacidade de ação fitorremediadora das macrófitas aquáticas estudadas, especificamente quanto à remoção microbiológica, em torno de 98% de eficácia para os Coliformes totais, 100% para os Coliformes termotolerantes e mais de 91% para as bactérias Heterotróficas. Quanto aos valores energéticos obtidos para poder calorífico foi de 15,57 MJ/kg (Lentilha d'água) e de 15,40 MJ/kg (Orelha de Onça), resultados satisfatórios se comparada a outras espécies de macrófitas aquáticas e até mesmo com algumas espécies de lenhas. Desta forma, este dados técnicos e científicos comprovam que a utilização das macrófitas aquáticas como fitorremediadoras tem o potencial de produção energética renovável eficiente, contribuindo assim para solução de dois problemas ambientais, a poluição de rios e diversificação da matriz energética produtiva.

Palavras-Chave: Energias Renováveis, Fitorremediação, Qualidade da Água, Poder Calorífico.

ABSTRACT

The decontamination of the water using phytoremediation runs into the problem of plant proliferation, which, although effective in this process, can cause ecological imbalance. This impasse can be minimized with a management approach that foresees the withdrawal of these plants from their aquatic environment as soon as their phytoremediation cycle ends. In view of the above, the objective of this work was to investigate and analyze whether aquatic macrophytes such as Water Lentils (*Lemna Sp.*) And Ear of Onca (*Salvinia auriculata Aubl.*) In the phytoremediation process, as well as their potential for manufacture of briquettes from their biomass for energy purposes. Therefore, the water of the Jaguaribe River was chosen in the city of João Pessoa-PB, because it is a river that shows a certain degree of eutrophication and the presence of untreated domestic sewage. The tanks to follow the analyzes were installed in the city of Conde, where vegetative growth was monitored. Water quality analyzes and procedures were performed in accordance with the methodologies of the Methods for the Examination of Water and Wastewater, in duplicates to ensure the acquisition of more accurate data for physicochemical and microbiological analyzes. In the process of obtaining the biomass were carried out the analyzes in duplicates, aiming to determine the immediate composition, the calorific power of the briquettes. The results of the research demonstrated more than 90% of the phytoremediative action capacity of the aquatic macrophytes studied, specifically regarding microbiological removal, around 98% of total coliform efficacy, 100% for thermotolerant coliforms and more than 91% for Heterotrophic bacteria. The energy values obtained for calorific value were 15.57 MJ / kg (Water lentil) and 15.40 MJ / kg (Ear of Onça), satisfactory results when compared to other species of aquatic macrophytes and even with some species of firewood. In this way, this technical and scientific data prove that the use of aquatic macrophytes as phytoremediation plants has the potential of efficient renewable energy production, contributing to the solution of two environmental problems, the pollution of rivers and diversification of the productive energy matrix.

Keywords: Renewable Energy, Phytoremediation, Water Quality, Calorific Power.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEAR	Centro de Energias Alternativas e Renováveis
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDS	Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
LABMAQ	Laboratório de Materiais e Química Ambiental
LMA	Laboratório de Microbiologia dos Alimentos
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Regulamentadora
NMP	Número Mais Provável
PCS	Poder Calorífico Superior
PE	Pernambuco
PR	Paraná
PVC	Policloreto de Vinila
RJ	Rio de Janeiro
SP	São Paulo
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático do processo de conversão energética da biomassa...	20
Figura 2 - Grupos de Macrófitas Aquáticas.....	25
Figura 3 - Macrófitas Aquáticas Flutuantes (Enraizadas ou livres).....	26
Figura 4 - Sistemas baseados em macrófitas aquáticas emergentes nas suas três formas de apresentação.....	26
Figura 5 - Sistemas baseados em Macrófitas Submersas.....	26
Figura 6 – Aguapé ou Eichhornia crassipes	27
Figura 7 - a) Desenho esquemático da Lentilha d’água (Lemna sp.); b) exemplar real da espécie	28
Figura 8 - a) Desenho esquemático da Orelha de Onça (Salvinia auriculata Aubl.); b) exemplar real da espécie.....	29
Figura 9 - Rio Tietê.....	31
Figura 10 - Mecanismo da Fitorremediação.....	35
Figura 11 - Trecho do Rio Jaguaribe dentro da Mata do Buraquinho.....	37
Figura 12 - Localização cartográfica do rio Jaguaribe.....	38
Figura 13 - Local da coleta da água de cultivo.....	38
Figura 14 - a) Lentilha d’água (Lemna sp.); b) Orelha de Onça (Salvinia auriculata Aubl.).....	39
Figura 15 - Corte Esquemático dos tanques sem as macrófitas aquáticas.....	40
Figura 16 – Moinho Caseiro Eberte.....	42
Figura 17 - a) Utilização da água a 100°C; b) Retirando o excesso de água para a briquetagem.....	43
Figura 18 - a) Forma de PVC; b) Prensa	44
Figura 19 - Briquetes após prensagem e secagem em estufa; a) Orelha de Onça; b) Lentilha d’água.....	44
Figura 20 - a) Macrófita Lentilha d’água (Lemma sp) no início do cultivo; b) Com 7 dias; c) Com 14 dias; d) Com 21 dias no final do cultivo.....	46
Figura 21 - a) Macrófita Orelha de Onça (Salvinia auriculata Aubl.) no início do cultivo; b) Com 7 dias; c) Com 14 dias; d) Com 21 dias no final do cultivo.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo dos briquetes com a utilização de lenha.....	33
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da Fitorremediação.....	35
Tabela 3 – Resultados da temperatura das amostras da água de cultivo da Lentilha d’água (<i>Lemna sp.</i>) e da Orelha de Onça (<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.).....	49
Tabela 4 – Eficiência da fitorremediação para as amostras da água de cultivo da Lentilha d’água (<i>Lemna sp.</i>) e da Orelha de Onça (<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.).....	55
Tabela 5 – Teor de umidade da Lentilha d’água (<i>Lemna sp.</i>) e da Orelha de Onça (<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.).....	56
Tabela 6 – Análises da composição imediata dos briquetes fabricados a partir da biomassa da Lentilha d’água (<i>Lemna sp.</i>) e da Orelha de Onça (<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.).....	56
Tabela 7 – Poder calorífico dos briquetes fabricados a partir da biomassa da Lentilha d’água (<i>Lemna sp.</i>) e da Orelha de Onça (<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.).....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Estágios de desenvolvimento e consumo de energia.....	19
Gráfico 2 - Evolução da estrutura e oferta de energia.....	22
Gráfico 3 - Capacidade instalada mundial para bioenergia dos anos 2007 a 2017.....	23
Gráfico 4 - Comparativo entre o peso inicial e o peso final.....	48
Gráfico 5 - Variação do comportamento do padrão pH nas amostras de da água de cultivo.....	49
Gráfico 6 – Variação do comportamento do padrão Turbidez nas amostras de da água de cultivo.....	50
Gráfico 7 – Variação do comportamento do padrão DBO nas amostras de da água de cultivo.....	51
Gráfico 8 – Variação do comportamento do padrão Coliforme totais nas amostras da água de cultivo	52
Gráfico 9 – Variação do comportamento do padrão Coliforme termotolerantes nas amostras de da água de cultivo.....	53
Gráfico 10 – Variação do comportamento do padrão Bactérias Heterotróficas nas amostras de da água de cultivo.....	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Energias Renováveis	16
2.2 Biomassa para Transformação Energética	17
2.3 Utilização da Biomassa nas Industrias	19
2.4 Macrófitas Aquáticas como Fonte de Biomassa	23
2.5 Macrófitas Aquáticas	24
2.5.1 LENTILHA D'ÁGUA (<i>Lemna sp.</i>).....	28
2.5.2 ORELHA DE ONÇA (<i>Salvinia Auriculata Aubl.</i>).....	29
2.6 Proliferação das Macrófitas Aquáticas	30
2.7 Briquetagem da Biomassa	32
2.8 Fitorremediação	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Água utilizada no Cultivo das Macrófitas Aquáticas	36
3.2 Macrófitas Aquáticas Cultivadas	39
3.3 Local e Condições do Cultivo para o Experimento	39
3.4 Procedimentos Experimentais	40
3.4.1 EFICIÊNCIA DA ATIVIDADE FITORREMEIADORA	41
3.5 Coleta da biomassa e preparo do material e análise do Poder Calorífico	41
3.6 Fabricação dos Briquetes	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Acompanhamento do crescimento vegetativo	45
4.2 Análises Físico-Químicas e Microbiológicas da água	48
4.3 Análise Imediata e poder calorífico	56
5 CONCLUSÃO	59
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Durante a maior parte da história da humanidade, o destino final dos efluentes sempre foi no caminho dos rios. Principalmente com o processo acelerado de crescimento urbano nas grandes cidades, onde o aumento de resíduos e esgotos domésticos e industriais, tornaram-se um problema social e ambiental, devido à falta de saneamento básico.

Durante o crescimento tecnológico e consumista da humanidade, produção sempre foi sinônimo de uso de energia aliado a agressão aos ecossistemas. Como não há desenvolvimento sem uso de energia e recursos naturais, é premente a busca pelo equilíbrio entre a utilização de sistemas energéticos que considerem o meio ambiente como um recurso a ser preservado.

O chamado desenvolvimento sustentável apresenta um grande desafio, produzir bens com o menor impacto ambiental possível, tal produção dispense cada vez mais energia, e essa necessidade fomenta a busca por opções de uma diversificação da matriz energética do sistema produtivo comprometida com o meio ambiente.

No afã de maior produtividade um dos ambientes mais impactados é o meio aquático, contaminado biologicamente e com metais pesados, essa realidade ocorre em todo o Brasil. Dados do Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - IDS do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), revelam que os dez rios mais poluídos do Brasil são Rio Tietê - SP, Rio Iguaçu - PR, Rio Ipojuca - PE, Rio dos Sinos - RS, Rio Gravataí - RS, Rio das Velhas - MG, Rio Capibaribe -PE, Rio Caí - RS, Rio Paraíba do Sul - RJ e Rio Doce - MG, todos em sua maioria localizados nos grandes centros industriais. No caso do Rio Jaguaribe, que também se enquadra na mesma situação, ele possui toda sua extensão no perímetro urbano da cidade de João Pessoa (PB), necessitando de atenção no que se refere a recuperação de suas características originais.

Existem possibilidades de mitigação destes impactos causados por ações antrópicas, uma delas é a remediação destas áreas contaminadas. Este processo é comumente denominado em razão do principal mecanismo responsável pela melhoria da qualidade ambiental, onde nos casos em que as plantas representam o principal mecanismo da biorremediação ou quando são essenciais para desencadear o processo, denomina-se remediação natural pela vegetação ou fitorremediação natural (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Várias plantas, tanto terrestres como aquáticas, foram identificadas nas últimas décadas como altamente eficazes na absorção e acúmulo de vários elementos tóxicos e de

solos poluídos (LIAO; CHANG, 2004).

As macrófitas aquáticas estabelecem uma ligação entre o ambiente terrestre e o sistema aquático, sendo capazes de remover diferentes concentrações de metais pesados, como biomonitores de níveis ambientais de metais e funcionarem como filtros biológicos do ambiente aquático, se tornando evidente a necessidade da existência de campo para explorar a potencialidade das plantas aquáticas para a remoção de metais pesados em águas residuais contaminadas com metais (MISHRA et al., 2007; UPADHAYA et al., 2007).

De acordo com Oliveira Junior (2011), as macrófitas podem habitar desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, inclusive ambientes salgados, apresentando grande capacidade de adaptação, podendo até sofrer transformações mais profundas e desenvolver-se na superfície.

No Brasil existem várias espécies de macrófitas aquáticas, ou microalgas, entre elas a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), Lentilhas d'água (*Lemna* sp.), que são utilizadas como agentes fitorremediadores, pois tem boa absorção de contaminantes e poluentes, sendo utilizadas no tratamento da água e efluentes (SWAIN; ADHIKARI; MOHANTY, 2014).

A despoluição das águas utilizando a fitorremediação esbarra no problema da proliferação das plantas, que apesar de eficazes nesse processo de despoluição, sua proliferação pode causar um desequilíbrio ecológico. Esse impasse pode ser minimizado com uma forma de manejo que preveja a retirada dessas plantas do ambiente aquático tão logo ela termine seu ciclo fitorremediador. Entretanto, surge o problema de como destinar adequadamente a biomassa retirada da água, que é oriunda da matéria orgânica de origem vegetal sendo um recurso energético renovável. Vale salientar que o aproveitamento dessa biomassa é uma forma indireta de utilização de energia solar, pois ela é convertida em energia química através da fotossíntese (BRASIL, 2002).

A queima direta dessa biomassa é uma maneira de produção energética, contudo utilizar esse material em forma de briquetes é bem mais produtivo, uma vez que o briquete além de ocupar um menor espaço de armazenamento possui um poder calorífico mais concentrado.

Dessa forma a vertente da utilização energética das macrofitas é um campo a ser mais estudado no Brasil, visto que é um país com alto potencial hídrico e cuja as macrofitas são abundantes e em muitos casos tratadas como infestação. A possibilidade de explorar esses vegetais para produção energética, contribui substancialmente para a matriz energética hoje utilizada.

Sendo assim, o presente trabalho estudou o potencial fitorremediador das plantas Lentilhas d'água (*Lemna sp.*) e Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), como também uma destinação final para a biomassa produzida com fins de utilização energética, transformando a biomassa produzidas pelas plantas em briquetes combustíveis.

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar e analisar a potencialidade de fitorremediação das macrófitas aquáticas flutuantes Lentilhas d'água (*Lemna sp.*) e Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl) e sua utilização para a produção de briquetes para fins energéticos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o potencial biorremediador das macrófitas aquáticas Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) ;
- Analisar a qualidade da água durante o tempo da pesquisa para comprovar a eficiência do tratamento com fitorremediação;
- Investigar e analisar seu potencial energético a partir da sua biomassa;
- Produzir os briquetes a partir da biomassa das macrófitas aquáticas analisadas;
- Verificar o poder calorífico dos briquetes produzidos com as duas variedades de macrófitas aquáticas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energias Renováveis

A busca por novas fontes de energias renováveis como forma de suprir a demanda energética alcançada na atualidade, a redução os impactos ambientais e desaceleração das mudanças climáticas relacionadas com os derivados dos combustíveis fósseis tem se intensificado em todo o mundo, passando por um desenvolvimento tecnológico acelerado, marcada pela economia crescente. Esse desenvolvimento tem aumentado a necessidade da produção de energia para dar suporte a este ritmo de crescimento.

A política que tem a perspectiva do desenvolvimento sustentável como norteador de suas ações defende, que o crescimento sócio econômico, populacional e de bens de serviços deve respeitar a capacidade de renovação dos recursos, sem comprometer a capacidade de desenvolvimento das gerações futuras. Para dar suporte a esse processo sócioeconômico de expansão, houve a necessidade do desenvolvimento de novas fontes de energia para complementar o abastecimento do sistema energético que denominamos de energias renováveis.

A realidade brasileira nesse quesito é diferenciada, já que uma das principais fontes de energia utilizadas hoje no Brasil é a matriz hidráulica, que tem um custo elevado de implantação, sem falar das fortes interferências nos ecossistemas em que se instalam. Ademais, ela promove inundações e desmatamentos pouco controláveis e parcialmente calculáveis.

Embora a energia hidroeétrica seja considerada limpa, seu alto impacto ambiental direto e seu alto custo de implantação são pontos desfavoráveis em comparação com a exploração da energia solar, tanto a fotovoltaica como como a de refração por espelhos.

Atualmente no Brasil e no mundo há uma crescente busca por energias renováveis e limpas. A crise energética e o aquecimento global demonstram dois grandes desafios para o desenvolvimento sustentável em todo o mundo, fornecendo um interesse substancial na produção de bioenergia (DEPRÁ et al., 2018).

As energias renováveis são assim denominadas porque são fontes teoricamente inesgotáveis, resultantes da exploração de fonte solar, hidráulica, eólica, maremotriz dos mares e oceanos e energia das ondas, matérias orgânicas (biomassa), calor da Terra (energia geotérmica).

2.2 Biomassa para Transformação Energética

De acordo com Coelho (2012) a biomassa se trata de todo recurso oriundo de matéria orgânica, de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizado para produção de energia. Sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, biogás são formas de biomassa utilizadas como combustível (PACHECO, 2006).

A biomassa traz vários benefícios, quando realizada de forma sustentável, quer seja econômico, social e principalmente ambiental em comparação com os combustíveis

fosséis. Incluem o melhor manejo do solo, o fornecimento de energia mais barata a comunidades rurais e controle de resíduos urbanos.

Os homens desenvolveram e aprimoraram modos variados de transformação energética em prol da realização do trabalho necessário para a obtenção de seus fins. Inicialmente a energia dispendida foi a mecânica, trabalho braçal, realizada pelo próprio corpo humano, que através de processos bioquímicos retira dos alimentos as substâncias que o organismo necessita para subsistência.

A produção de fogo para obtenção da energia necessária para transformar os materiais, inicialmente foi obtida pela queima de lenha que nada mais é que biomassa. A utilização desse material para obtenção de energia reinou absoluta no mundo, tendo seu declínio com a descoberta do carvão mineral e posteriormente com a utilização do petróleo como principal base energética mundial, o que relegou a utilização desse material energético a residências e ambientes rurais (IEE-USP, 2018).

Estes estágios de desenvolvimento humano nas últimas décadas são caracterizados pelo aumento no consumo de fontes energéticas e são protagonistas na história da humanidade, uma vez que, quanto maior o desenvolvimento social, maiores são suas necessidades energéticas, e tudo isso sendo uma constante durante séculos, até atingir os elevados pontos de consumo (WENCESLAU, 2013).

Goldemberg e Lucon (2008) no Gráfico 1 mostram um panorama geral sobre a utilização e consumo de energia desde as sociedades primitivas até a sociedade urbano industrial dos séculos XIX e XX, caracterizando não só as principais atividades humanas, mas também seu respectivo consumo energético.

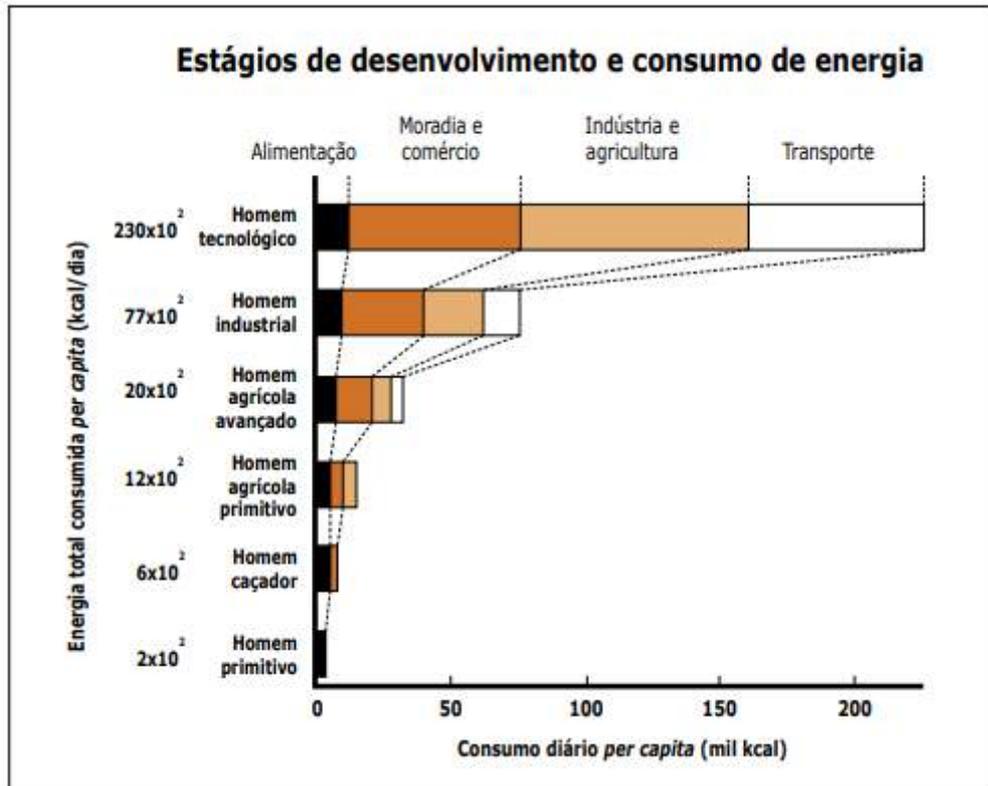


Gráfico 1: Estágios de desenvolvimento e consumo de energia
Fonte: COOK (2008).

Mesmo com a forte utilização do petróleo, a presença da biomassa para obtenção de energia se mantém como importante opção na produção energética, sobretudo quando a necessidade é eminentemente térmica, como em siderúrgicas, cimenteiras, usinas sucroalcooleiras, padarias e pizzarias.

2.3 Utilização da Biomassa nas Indústrias

A utilização de energia elétrica nos processos industriais hoje é massiva, grande parte das máquinas que constituem os modernos parques industriais são constituídos por equipamentos eminentemente elétricos, contudo vários desses processos utilizam caldeiras e fornos para produção.

Siderúrgicas, cimenteiras e cerâmicas fazem uso de fornos de alta potência para a obtenção de seus produtos finais.

A região Nordeste produz seus tijolos a partir do barro que é cozido em fornos à lenha, entretanto olarias do Ceará já estão diversificando seus combustíveis com a utilização de biomassa obtida a partir de restos de poda, cascas de castanha e coco entre outros (DIÁRIO DO NORDESTE, 2018).

Na indústria sucroalcooleira a utilização da biomassa do bagaço de cana é uma realidade que vem barateando os custos de produção do setor. O bagaço da cana apresenta um alto teor calorífero sendo utilizado para alimentar as caldeiras das usinas e também gerar eletricidade para empresa e repasse do excedente dessa energia para a rede elétrica (CONAB, 2011)

Não são apenas as grandes indústrias que utilizam a biomassa como principal fonte energética, as pequenas indústrias também utilizam esse potencial energético, como exemplo pode ser citado as panificadoras e as pizzarias que utilizam lenha em seus fornos.

De acordo com sua origem, a biomassa pode se diferenciar, pois segundo Pereira (2015), quer seja natural ou residual. Natural quando a biomassa não sofre intervenção humana, ou seja, que tenha sido gerada diretamente na natureza e a residual que deriva dos descartes produzidos pela indústria ou grandes centros urbanos, ou ainda de plantações energéticas.

E ainda seguindo este princípio, as características da biomassa a ser empregada dependerá do seu tipo de rota de conversão, conforme Figura 1:

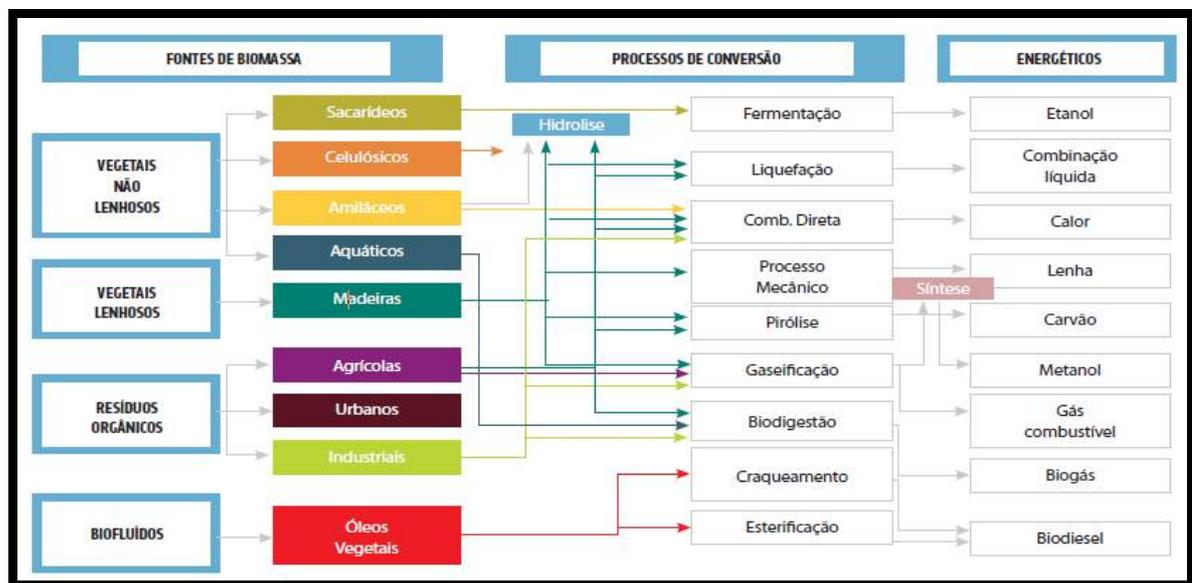


Figura 1 - Diagrama esquemático do processo de conversão energética da biomassa

Fonte: Biomassa e Bioenergia (2013)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2017), a biomassa energética apresenta rotas significativamente diversificadas, com extensa variedade de fontes. Existe uma grande quantidade de tecnologias para os processos de conversão, que incluem desde a simples combustão para obtenção de energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos complexos para obtenção de combustíveis líquidos e gasosos e outros produtos.

A biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos, de vegetais lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, sendo também o caso das macrófitas aquáticas, e também resíduos orgânicos, nos quais encontram-se os resíduos agrícolas, urbanos e industriais. Como também, podem obter biomassa dos biofluidos, como os óleos vegetais como: mamona e soja por exemplo (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Aproximadamente metade da produção da terra depende da biomassa para cozimento de alimentação, aquecimento e iluminação, mostrando que o uso tradicional, passou nos últimos anos a ser considerado também uma forma moderna e limpa de fornecimento energético que vem sendo adotada cada vez mais por países desenvolvidos (RIBEIRO, 2016).

Assim conforme o Gráfico 2 da matriz energética, nacional, mostra uma prospecção de 60 anos, visualizando as mudanças no setor, principalmente ligado a outras fontes primárias renováveis e derivados da cana-de- açúcar.

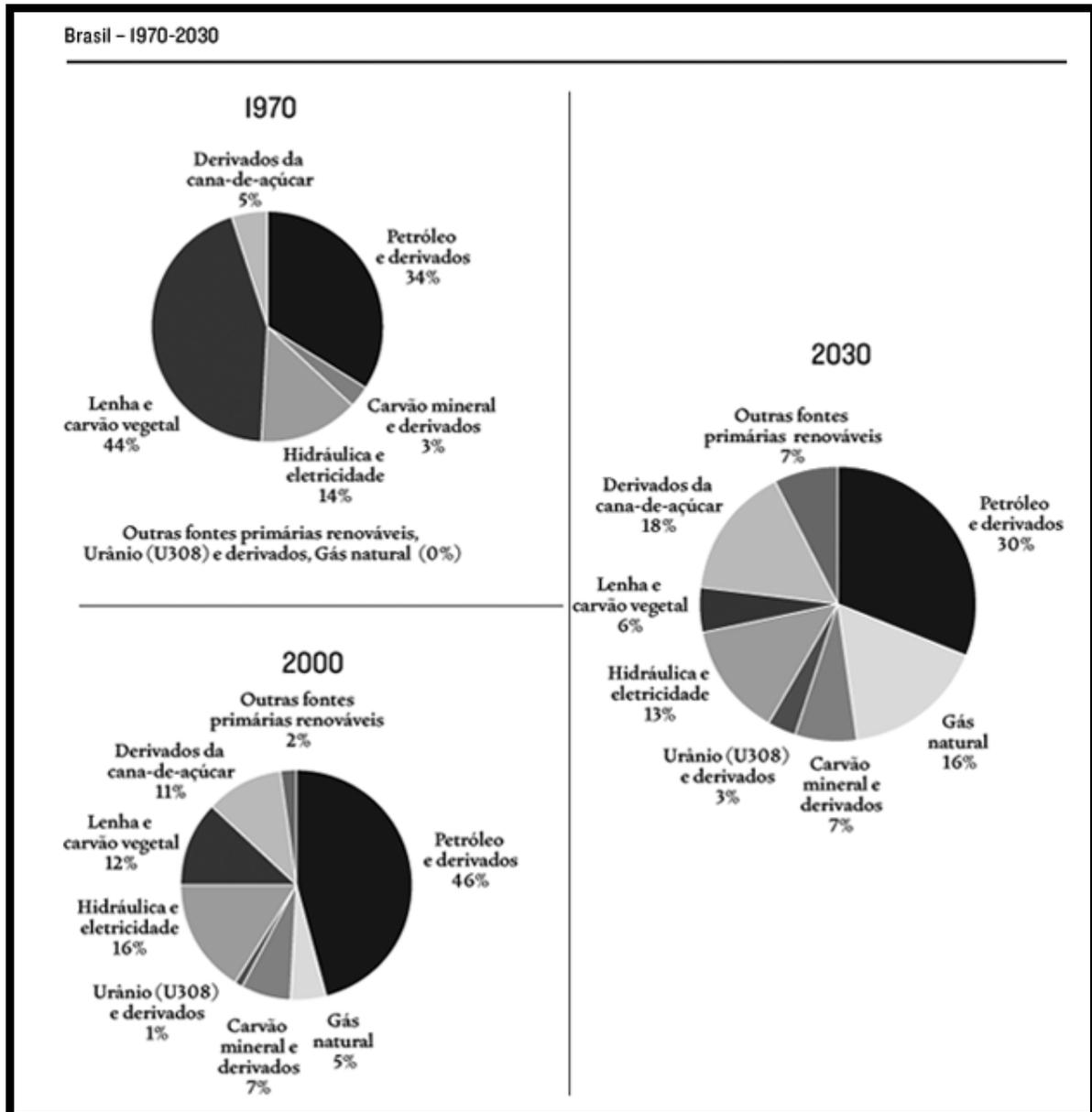


Gráfico 2 - Evolução da estrutura e oferta de energia
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018).

Apesar da baixa eficiência quanto ao manejo a biomassa apresenta melhoria da sua produção, em que as novas tecnologias podem aumentar a quantidade e qualidade da energia em relação ao volume de matéria orgânica empregada. Essas novas tecnologia mostram que a biomassa pode ser atrativa ecologicamente e também economicamente, tornando-se verdadeiramente uma fonte competitiva (RIBEIRO, 2016).

O Gráfico 3, mostra o crescimento na área nos últimos 10 anos, o que reforça o seu amplo potencial de crescimento energético, renovável e o grande apelo ambiental e social alinhado ao fator econômico.

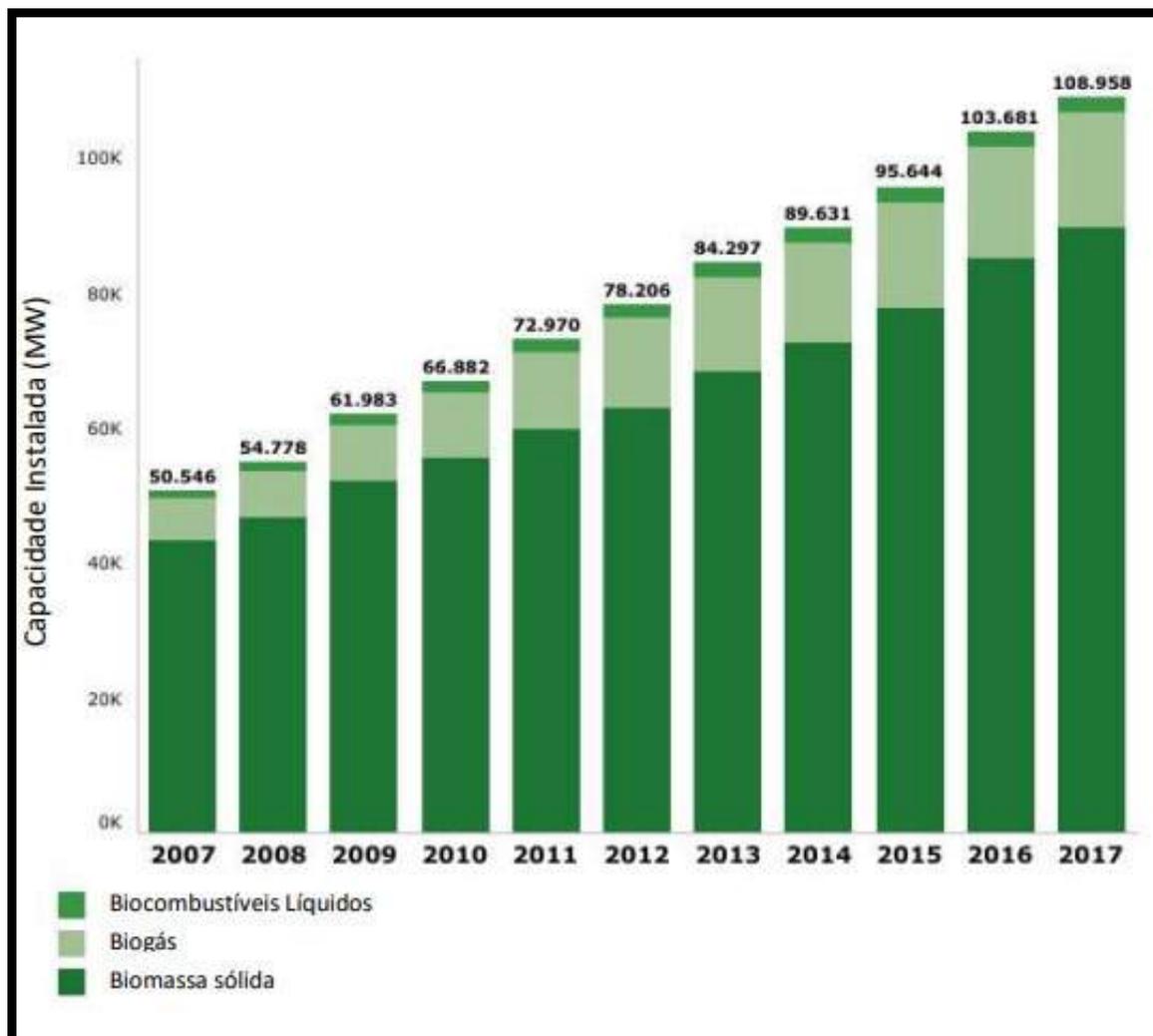


Gráfico 3 - Capacidade instalada mundial para bioenergia dos anos 2007 a 2017

Fonte: Irena (2018) apud Figueiredo (2018)

2.4 Macrófitas Aquáticas como fonte de Biomassa

As fontes de biomassa diferenciam de acordo com suas características individuais e de suas origens. E esta diferenciação deve ser avaliada quando se pretende utilizá-la como fonte de energia. A vantagem da utilização da biomassa sobre outras fontes energéticas, reside no fato dela ser renovável, advinda principalmente de vegetais, podem ser cultivadas para fins energéticos.

No caso das macrófitas aquáticas, são utilizadas em vários estudos para a produção de bioetanol, mas existem muitas possibilidades, como por exemplo, a produção de briquetes. Para utilizá-las como fonte energética, podem ser cultivadas em tanques e lagos artificiais ou coletadas dos corpos d'água durante o processo de limpeza e dragagem.

Segundo Shutz et al. (2015) as macrofitas aquáticas surgem como uma alternativa sustentável pela elevada proliferação e de sua possibilidade de cultivo ou obtenção de

ambientes eutrofizados. Este autor ratifica em seus estudos a possibilidade das macrófitas serem facilmente cultivadas em lagoas abertas quando objetiva-se a de produção de biomassa. Em corpos hídricos naturais e em ambientes construídos, quando em proliferações excessivas as macrofitas são fisicamente removidas. Entretanto, essa biomassa necessita de um tratamento ambientalmente adequado (THOMAZ, 2002).

As macrofitas podem ser utilizadas segundo Pompêo (2017), para ração animal, biogás, fertilizante agrícola, tais possibilidades de utilização fomentam a necessidade de ampliar os estudos sobre a exploração econômica das macrofitas e o desenvolvimento de manejos que equilibrem esse potencial econômico com a sustentabilidade adequada.

2.5 Macrófitas Aquáticas

Segundo Wetzel (1993), as macrófitas aquáticas ou plantas aquáticas, cuja morfologia é (macro= grande, fita=planta). São na maioria vegetais terrestres desta forma tem uma grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de ambientes. Pedralli (1990), classifica em 5 grupos ecológicos, que são baseados em seu biótipo (Figura 2).

A - Macrófitas aquáticas emersas: enraizadas no sedimento, porém as folhas crescem para fora da água. Ex: Junco, Taboa;

B - Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex: Lírio d'água, Vitória-régia;

C - Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: enraizadas, crescendo totalmente debaixo d'água. Ex: Elódea, Cabomba;

D - Macrófitas aquáticas submersas livres: Permanecem flutuando debaixo d'água. Podem se prender a pecíolos e caules de outras macrófitas. Ex: Utriculária;

E - Macrófitas aquáticas flutuantes: Flutuam livremente na superfície da água. Ex: Alface d'água, Aguapé.

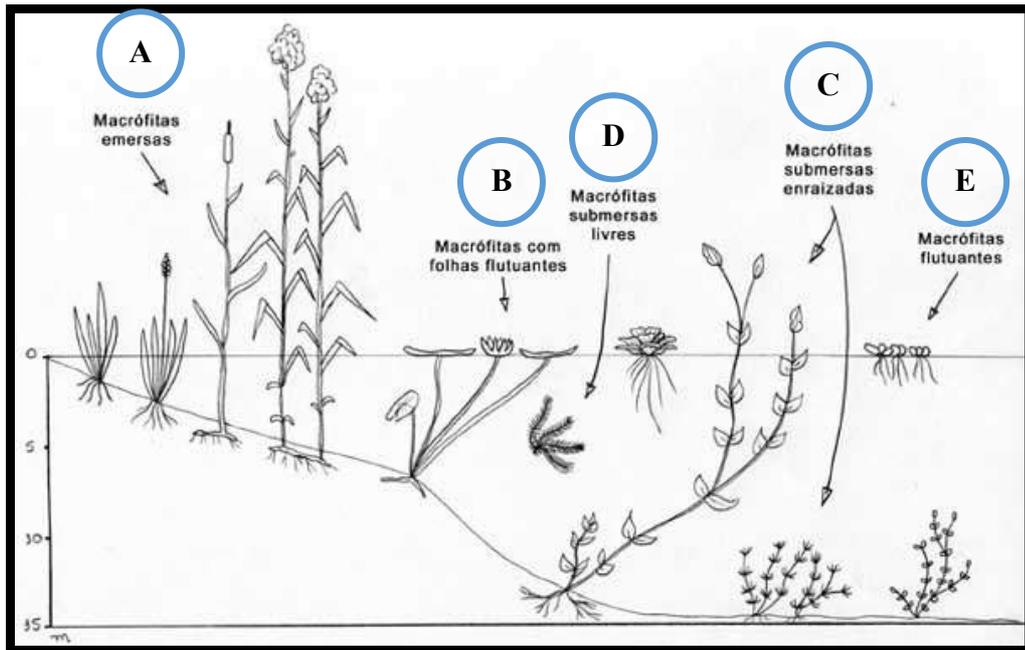


Figura 2 - Grupos de Macrófitas Aquáticas
Fonte: Pedralli (1990).

Apesar das macrófitas aquáticas flutuantes possuir a eficácia no tratamento de efluentes urbanos e de efluentes provenientes de animais, existe um ineficiente aproveitamento da biomassa vegetal produzida nesses sistemas de tratamento, devendo-se realizar uma poda periódica para que a remoção de nutrientes seja mais eficaz. O excedente das macrófitas aquáticas pode ser aproveitado como fertilizantes da água, ou mesmo como fonte alternativa de proteína para animais (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2006).

Apresentam um crescimento intenso com a potencialidade de alterar a qualidade da água e interferir nos usos múltiplos do sistema, por haver uma condição térmica e luminosa favorável às espécies da região tropical têm crescimento durante o ano todo (POMPÊO, 2017).

As espécies tem um grande potencial no que se refere a matéria-prima. O cultivo de macrófitas aquáticas para o tratamento de efluentes vem se desenvolvendo consideravelmente como uma tecnologia limpa, incluída no conceito de ecologia industrial (BARBOSA et al., 2017).

Outro fator importante é a escolha do sistema a ser trabalhado, segundo Andrade, Tavares e Mahler (2007), podem ser: Sistemas baseados em Macrófitas Aquáticas Flutuantes (Enraizadas ou livres) (Figura 3); Sistemas baseados em macrófitas Aquáticas Emergentes (Figura 4) e Sistemas baseados em Macrófitas Submersas (Figura 5).

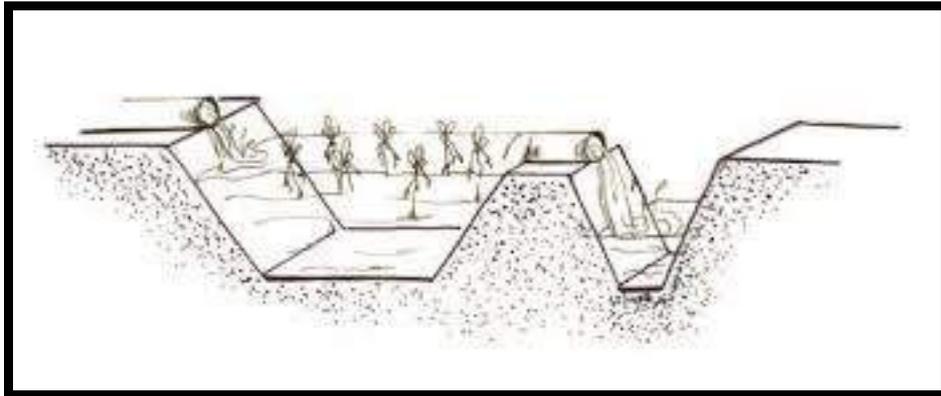


Figura 3 - Macrófitas Aquáticas Flutuantes (Enraizadas ou livres)
Fonte: Andrade, Tavares e Mahler (2007).

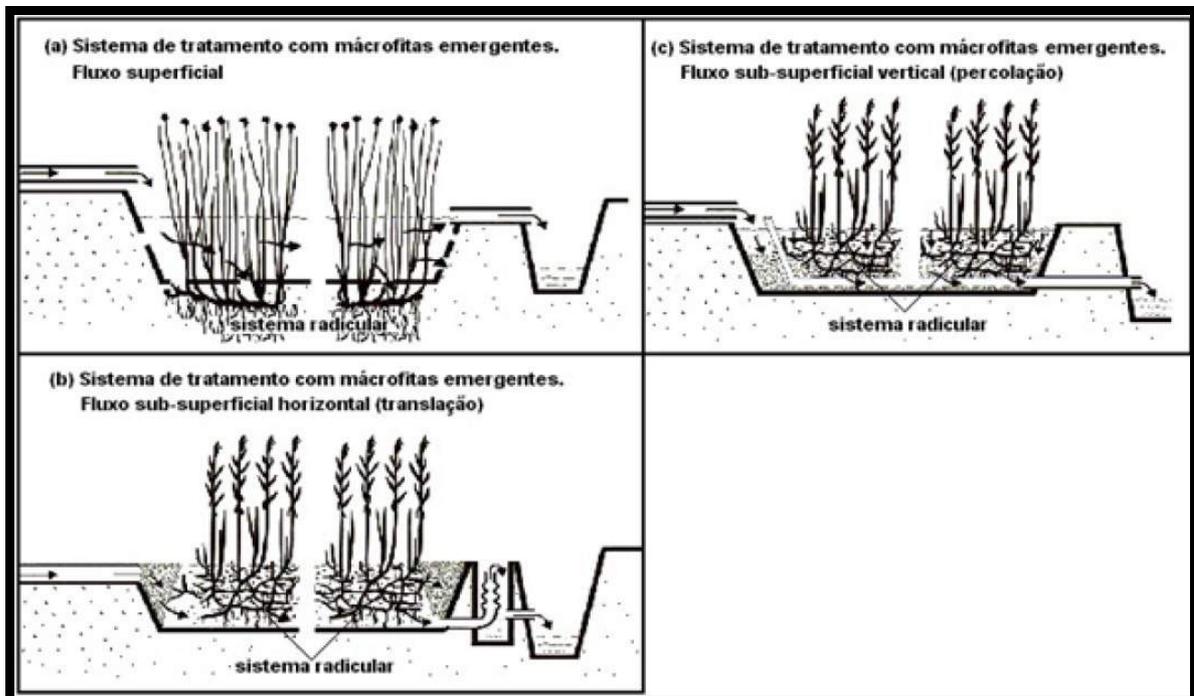


Figura 4 - Sistemas baseados em macrófitas Aquáticas Emergentes nas suas três formas de apresentação
Fonte: Dinardi et al. (2003).

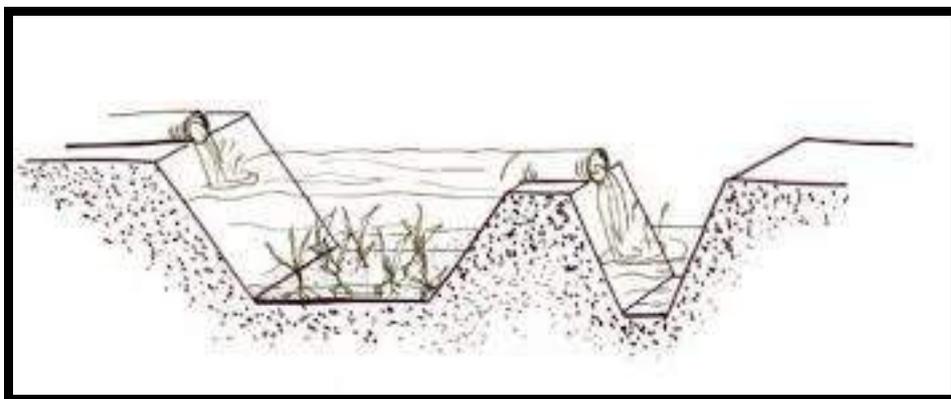


Figura 5 - Sistemas baseados em Macrófitas Submersas
Fonte: Andrade, Tavares e Mahler (2007).

Marcondes e Tanaka (1997), disseram que a espécie *Eichhornia crassipes* ou Aguapé (Figura 6), possuem a capacidade de aumentar sua massa verde, em 15% ao dia, e que esse percentual é dobrado semanalmente, podendo acumular cerca de 800kg por hectare em um dia. Dessa forma pode produzir 480 toneladas de massa verde por hectare em um ano caso apresente perfeitas condições, além do aumento de volume de 4,8% ao dia. Um lago cheio de aguapés pode perder de duas a oito vezes menos água por evapotranspiração do que se estivesse com a superfície desocupada pela espécie.



Figura 6 – Aguapé ou *Eichhornia crassipes*
Fonte: Autora (2018).

Estudos foram realizados com a espécie Aguapé (*Eichhornia crassipes*), principalmente pela sua capacidade de diminuir consideravelmente microrganismos patogênicos, porém muitas outras espécies vem sendo estudadas para verificar o potencial de cada uma no que se refere a fitorremediação. Como mostra o estudo realizado por Mafei (1988), onde revela algumas qualidades do Aguapé, uma delas é que ao filtrar e metabolizar a matéria orgânica, o aguapé acaba com o ambiente favorável à proliferação de bactérias e vírus patogênicos e de outros microrganismos que se reproduzem consumindo oxigênio do meio aquático e são responsáveis pela elevação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O.), fenômeno típico das águas de esgoto e desfavorável à vida dos organismos superiores.

2.5.1 LENTILHA D'ÁGUA (*Lemna* sp.)

A *Lemna* sp. ou Lentilha d'água (Figura 7) como é popularmente chamada, é uma planta aquática flutuante da família das Lamnaceae que constitui-se de quatro gêneros: Spirodela, *Lemna*, Wolffia e Wolffia (LANDOLT; KANDELER, 1987).

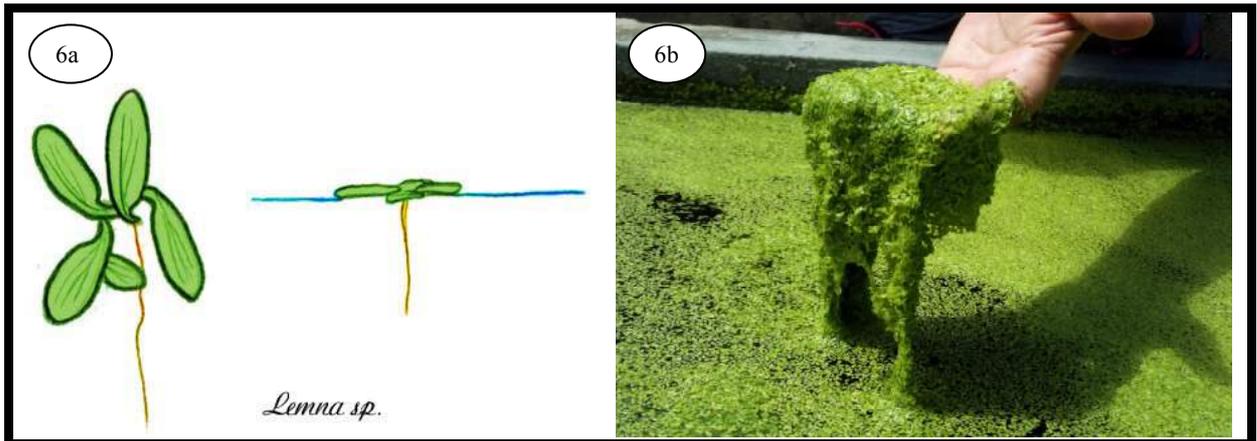


Figura 7 – a) Desenho esquemático da Lentilha d'água (*Lemna* sp.); b) exemplar real da espécie
Fonte: UFSCAR (2017); Autora (2018).

Segundo Journey, Skillicorn e Spira (1993), são monocotiledôneas classificadas como plantas superiores, ou macrófitas, sendo frequentemente confundidas com algas. Apesar de ter pouca biomassa é capaz de se adaptar a qualquer variação climática, e podem ser encontradas em todo o mundo, principalmente em regiões tropicais e temperadas (LANDOLT; KANDELER, 1987).

A *Lemna* sp ou Letilha d'água possui apenas uma raiz e pode ser utilizada para despoluir água como filtro biológico, ela retém bactérias do grupo Coliformes, metais pesados e também quando se tem um grande volume de nutrientes. Também são utilizadas em tanque de piscicultura para abrigo dos alevinos e ornamentação.

Jordão (1983), descreve sobre os benefícios da cobertura da *Lemna* sp ou Lentilha d'água na redução de alguns processo, como:

- Diminuição do crescimento de algas;
- Diminuição da ação de mistura pelo vento;
- Variação de temperatura é menor;
- Matéria em suspensão sedimenta com mais eficiência.

A *Lemna* sp se reproduz muito rápido, segundo Hancock e Budhavarapu (1993) dobra o seu tamanho em números de flondes (folhas) entre dois a quatro dias, isso em

condições ideais que são alta concentração de nutrientes, elevada luminosidade e temperatura. Entre os fatores que influenciam a produção da biomassa da *Lamnaceae* são a concentração de nutrientes, efeito dos ventos, pH, oxigênio dissolvido, densidade de plantas e salinidade.

2.5.2 ORELHA DE ONÇA (*Salvinia auriculata* Aubl.)

A *Salvinia auriculata* Aubl. ou Orelha de Onça (Figura 8) é uma pteridófito da família das *Salviniaceae*, macrófita flutuante muito encontrada em água doce, planta do tipo feto, perene, flutuante, com folhas ovais de 2,5 cm, fibrosa, cujos pelos repelem a água. As raízes são folhas modificadas que ficam por baixo das folhas flutuantes e que servem para coleta de água e nutrientes. Em condições favoráveis igual a *Lemna* também se prolifera rapidamente em tempo muito reduzido.

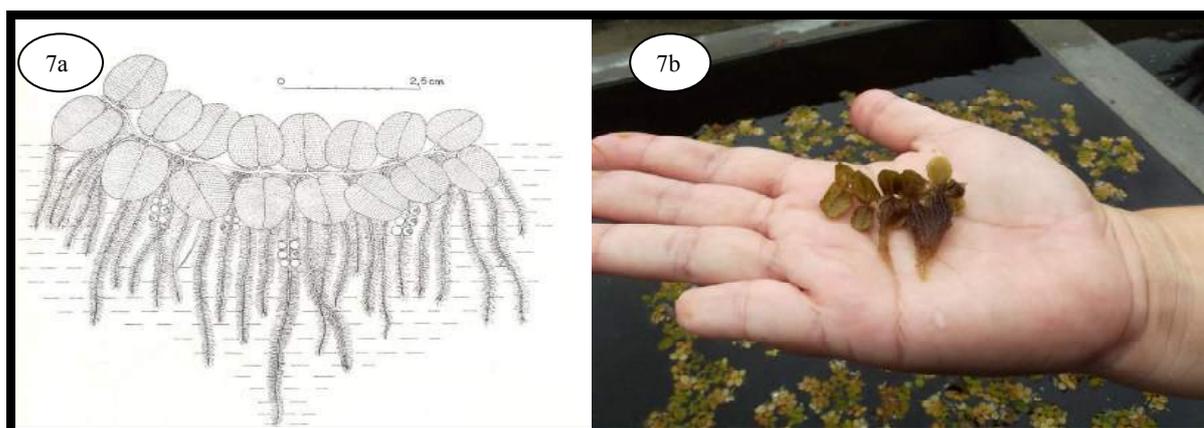


Figura 8 – a) Desenho esquemático da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.); b) exemplar real da espécie
Fonte: HOEHNE (1948); Autora (2018).

Segundo Suñe et al. (2007) a sua sensibilidade a diferentes agentes tóxicos justificam a utilização como bioindicadores de poluição. Desta forma, muitos estudos estão sendo realizados para verificar sua eficiência na recuperação do meio ambiente, principalmente para detectar possíveis contaminações.

Como em vários estudos a *Salvinia auriculata* Aubl. ou Orelha de Onça foi considerada como erva daninha pela sua capacidade de reprodução rápida como citado por Henry-Silva e Camargo (2006), por proliferar de forma indesejada em diversos ecossistemas aquáticos.

2.6 Proliferação das Macrófitas Aquáticas

As macrófitas mesmo com pouca biomassa estão presentes em todos os tipos de ambientes aquáticos, onde necessitam para o seu desenvolvimento altas concentrações de nutrientes e fluxo de energia. As mesmas apresentam grande capacidade de adaptação e amplitude ecológica, sendo encontradas nas margens e nas áreas rasas de rios, lagos e reservatórios, mas também em cachoeiras e fitotelmos, nas regiões costeiras, em água doce, salgada e salobra (ESTEVES, 1998).

Estas macrófitas começam a crescer devido a baixas concentrações de DBO, e a causa deve-se a quantidade excessiva de poluição em decomposição. Ao consumirem esta demanda, as plantas se alimentam desta carga bioquímica e crescem cada vez mais, e devem continuar, pois sua utilização vem recuperando rios e lagos onde suas raízes podem observar grandes quantidades de substâncias tóxicas, como também formam uma densa rede capaz de reter as mais finas partículas em suspensão (LÊDO, 2015). Servem também para a proteção de algumas espécies, pois proporcionam abrigo para desova e proteção das fases jovens de organismos aquáticos, promovendo heterogeneidade espacial, o que favorece a maior biodiversidade local, entre outros efeitos desejáveis (BARKO; ADAMS; CLLESCERI, 1986).

O grande crescimento destas macrófitas, pode impedir a penetração de luz solar e evitar o crescimento de algumas espécies de algas que são necessárias no ambiente aquático. Entretanto sua importância ecológica tem sido enfatizada por vários pesquisadores e está relacionada basicamente ao aumento da heterogeneidade espacial, que propicia a criação de habitats para macroinvertebrados (ESTEVES; CAMARGO, 1986).

Secundo Thomaz (2002), a colonização por macrófitas pode ser máxima somente nos estágios mais avançados da sucessão, como se acredita que ocorra na maioria dos ecossistemas lênticos. Geralmente estes problemas existem quando sobressaltos no crescimento de sua biomassa, e em alguns casos gerados pela ação antrópica, onde acomete a um grande descontrole na distribuição de nutrientes, principalmente decorrente do lançamento in natura dos esgotos domésticos e industriais (POMPÊO, 2017).

Essa ação antrópica causa desequilíbrio aumentando o volume destas macrófitas, assim a capacidade de resiliência da água fica comprometida fazendo com que esse aumento de biomassa seja revertido, ou seja, retirado e muitas vezes com o auxílio de equipamentos pesados para fazer esta dragagem, que nada mais é do que a remoção desse excesso de material que fica no leito dos rios. O crescimento rápido destas macrófitas pode atingir um

valor expressivo de biomassa que pode cobrir todo o espelho d'água ou fundo do rio.

Tomazela (2015) avalia a proliferação das macrófitas em Sorocaba no rio Tietê, onde a vegetação forra a superfície dos rios com mantos verdes que impedem a pesca e atrapalham a navegação. Os aguapés (Figura 9) se acumulam nas barragens e causam o entupimento de comportas em hidrelétricas.



Figura 9 - Rio Tietê

Fonte: Estadão de São Paulo (2015).

Algumas propostas vem sendo apresentadas como discussões sobre as estratégias de controle, descarte e aproveitamento da biomassa das macrófitas aquáticas, além de apresentar algumas experiências brasileiras no controle do crescimento. Há também a preocupação de apresentar uma solução, como a criação de um centro de monitoramento e manejo da qualidade da água, com ênfase no estudo das macrófitas aquáticas, particularmente em reservatórios empregados no abastecimento público (POMPÊO, 2017).

No Brasil não existe uma lei específica que normatiza a utilização de macrófitas para o tratamento da água, apenas na Resolução CONAMA nº 467 que “dispõe sobre critérios para a autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para o controle de organismos ou contaminantes em corpos hídricos superficiais e dá outras providências” (BRASIL, 2015).

2.7 Briquetagem da Biomassa

Denomina-se briquetagem a fabricação de briquetes, um produto com um potencial calorífico altíssimo e que é obtido a partir da aglutinação de materiais e resíduos vegetais. São fabricados por meio do processo de pressão mecânica e que resultam da compactação de resíduos lignocelulósicos, e são utilizados na geração de energia na forma de calor ou eletricidade. Os briquetes têm densidade de 650-1200 kg/m³, diâmetro de aproximadamente 60 mm e comprimento de 25 a 300 mm. Têm Poder Calorífico Superior (PCS) na faixa de 16.92 a 17.64 MJ/kg e umidade entre 5 e 10%. A quantidade de cinzas depende da fonte de matéria prima utilizada. Para exportação esse biocombustível sólido deve atender às normas técnicas do cliente ou do país importador (ROCHA, 2014, DIAS et al., 2012).

O material aglutinante no briquete é a lignina, naturalmente encontrada no material vegetal que pode ser potencializada através da elevação da temperatura do material a ser briquetado ou por aplicação de pressão, é imprescindível a presença de umidade entre 5% a 10%, além das partículas a serem briquetadas estarem entre 5 e 10 mm (DIAS et al., 2012)).

No processo de moagem ocorre a quebra das partículas, e também da lignina, aumentando a área de contato, fazendo com que haja a compactação e, conseqüentemente a tornando um produto mais resistente. A água quente, ou seja, esta temperatura na água serve para ativar os ligantes naturais, como a lignina da biomassa destas macrófitas, esse pré-aquecimento promoverão a deformação de partículas termoplásticas, que por sua vez promoveram as ligações permanentes, e desta forma, a temperatura máxima no pré-tratamento deve estar restrita a faixa de 250 a 300°C de modo a evitar danos à biomassa (DIAS et al., 2012).

O processo de fabricação dos briquetes é chamado de briquetagem e segundo Alves Júnior et al. (2003), é uma das alternativas tecnológicas para o melhor aproveitamento dos resíduos de biomassa, consistindo num processo de trituração e compactação que utiliza elevadas pressões para transformar os referidos resíduos em blocos denominados de briquetes, os quais possuem melhor potencial de geração de calor (energia) em relação aos resíduos in natura.

Conforme Silva, Carneiro e Lopes (2017), o processo de fabricação dos briquetes devem seguir os seguintes parâmetros:

- Avaliação do material que será briquetado, com levantamento das propriedades após briquetagem, características físicas e químicas;

- Avaliação do processamento de briquetagem com aglomerante ou sem; processo à quente ou à frio;
- Cálculo do percentual de adição dos aglomerantes e agente redutor;
- Definição do pré-processamento para secagem, avaliação granulométrica para mistura; teor de umidade;
- Condição de estocagem e armazenamento após processamento;
- Finalmente avaliação da viabilidade econômica e custo benefício do processamento.

A utilização de briquetes traz grandes vantagens por sua baixa umidade, alto poder calorífico, menor produção de fuligem e cinzas, baixo custo e maior rentabilidade. Em um comparativo com a utilização de lenha, apresentada na Tabela 1, pode se perceber a rentabilidade do briquete.

Tabela 1 - Comparativo dos briquetes com a utilização de lenha

Estabelecimento	Consumo Mensal (t)	
	Briquetes	Lenhas
Padarias forminho	1,5	3,08
Pizzaria forno 06 pizzas	2,0	3,92
Lareiras média	1,0	1,96
Caldeiras 2	15	29,4
Caldeiras 4	30	58,8
Fogões a lenha	1,0	1,96

Fonte: NacBriquetes (2010)

Assim o potencial de utilização de macrófitas aquáticas como fonte de biomassa para a fabricação de briquetes tem relevância, quando comparados a outros trabalhos, como os de Munjeri et al. (2016), no qual sugeriram, ademais, o uso de algas para a fabricação de briquetes por comunidades ribeirinhas, em que a proliferação excessiva dessas espécies aquáticas trazem transtornos tanto aos rios como as comunidades. Os briquetes ecológicos com a matéria das macrófitas sugeridas são possíveis soluções para estes problemas ambientais, mas também de repensar este material de uma forma ambiental, social e econômico.

2.8 Fitorremediação

O termo “remediação” é utilizado para na melhoria de qualidade ambiental, mas quando referido a determinado ser vivo fazendo parte deste processo, é denominado biorremediação natural (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Segundo Zancheta et al. (2011), a técnica conhecida como fitorremediação por ser uma alternativa viável, faz crescer a utilização de plantas como biorremediadores, por isso promove manutenção da fertilidade do solo. Já Pires et al. (2005) afirma ser uma técnica atrativa, pois tem a possibilidade de promover a descontaminação do local in situ, bem como ao baixo custo, quando comparada à remoção do solo para seu tratamento.

Neste contexto, Andrade, Tavares e Mahler (2007) citam alguns mecanismos que esta técnica envolve:

- Fitoextração: após a absorção do poluente contido no meio, ocorre o armazenamento no tecido vegetal, o que facilita o descarte do material;
- Fitotransformação ou Fitodegradação: o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou em sua superfície, passando a formas menos tóxicas (catabolismo ou anabolismo);
- Fitovolatilização: o poluente é absorvido e convertido em forma volátil, que é liberada na atmosfera;
- Fitoestimulação: a presença das plantas estimula a biodegradação microbiana mediante fortalecimento de tecidos vegetais e/ou exsudato radiculares, este inclui a secreção de íons, oxigênio livre, água, enzimas, mucilagem e uma diversidade de metabólitos primários e secundários com carbono em sua composição;
- Fitoestabilização: o poluente é imobilizado por meio de sua lignificação ou humificação.

Dependendo da técnica empregada, a fitorremediação pode exercer sua natureza química ou de suas propriedades do poluente, a Figura 10 ilustra o funcionamento dos mecanismos da fitorremediação.

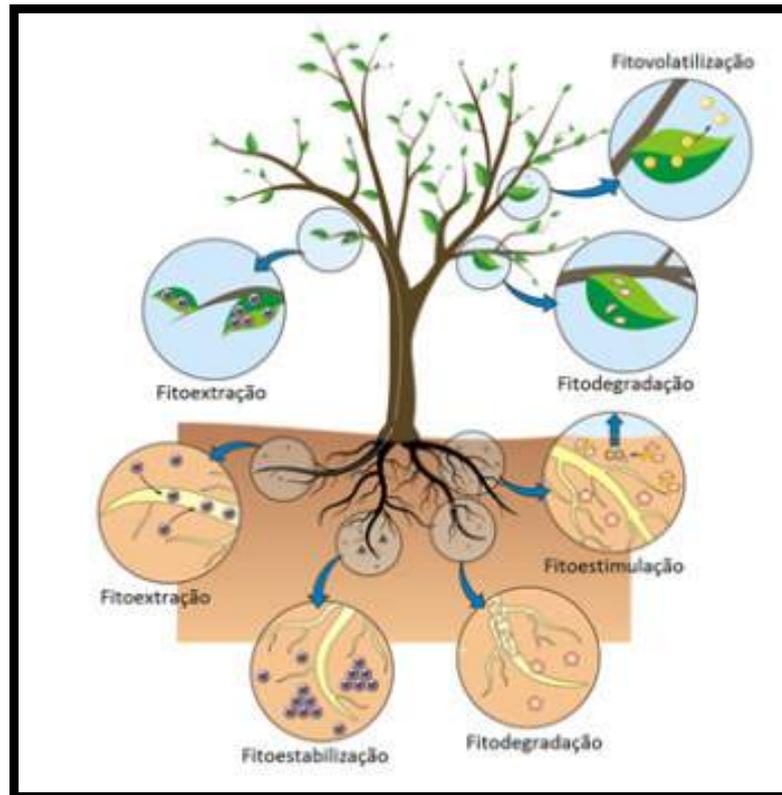


Figura 10 - Mecanismo da Fitorremediação
Fonte: SORIANO (2014).

A fitorremediação em meio aquático é um grande desafio na sociedade atual, já que a maioria dos rios estão poluídos por resíduos domésticos, industriais e agrícolas, o que causa eutrofização dos reservatórios, aumentando a carga de sedimentos depositados, bem como a concentração de metais pesados (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A Tabela 2 ilustra as vantagens e desvantagens segundo Andrade, Tavares e Mahler (2007):

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da Fitorremediação

Vantagens	Desvantagens
O investimento em capital e o custo de operação são baixos	Os resultados são mais lentos do que aqueles observados com outras tecnologias
É aplicável in situ e o solo pode ser posteriormente reutilizado	O crescimento de algumas plantas é dependente da estação, do clima e do solo, envolvendo o adequado fornecimento de água e nutrientes, além de textura do solo, pH e salinidade
Aplica-se a grande variedade de poluentes, incluindo alguns recalcitrantes	A concentração das substâncias contaminadas podem ser tóxica, impedindo o estabelecimento/desenvolvimento dos vegetais e, conseqüentemente, o uso da tecnologia

É técnica esteticamente bem aceita pela sociedade e pode ser adotada com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego pesado	Aplica-se apenas à superfície do solo ou da água existentes em pouca profundidade
As plantas podem ser mais facilmente monitoradas do que, por exemplo, os microrganismos	Existem necessidade de disposição da biomassa vegetal, quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis ou metabolizados a compostos também tóxicos
Aplica-se a áreas extensas onde outras tecnologias são proibitivas	É incapaz de reduzir em 100% a concentração do poluente
Em Alguns casos, representa uma solução permanente, pois poluentes como os orgânicos podem ser mineralizados	Em alguns casos, podem ser produzidos metabólitos mais tóxicos do que os compostos originais. É também possível haver imobilização apenas temporária dos poluentes
O material vegetal produzido pode ser convertido em matéria-prima destinada a atividades como confecção de móveis, geração de energia e produção de fibras	Caso não sejam tomados os devidos cuidados, pode favorecer o transporte do poluente ou a inserção e o bioacúmulo na cadeia trófica, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios em seres vivos

Fonte: Baseado em Cunningham et al., (1995) e Pletsch et al., (2000).

Desta forma, verificou-se que é um processo que demanda estudos mais aprimorados, pois para que se tenha uma boa eficiência, é preciso verificar principalmente os pontos negativos com a intenção de corrigir ou minimizar os efeitos causados ao meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Água utilizada no Cultivo das Macrófitas Aquáticas

O rio Jaguaribe se caracteriza como o principal rio urbano da cidade de João Pessoa. De acordo com Dieb e Martins (2017), na sua bacia hidrográfica estão inseridos 32 dos 64 bairros da capital paraibana, além de 41 assentamentos não planejados, constituindo uma área de drenagem de aproximadamente 4.824,52 ha dentro do município.

O rio Jaguaribe tem, aproximadamente, 21 km de extensão, sua atual nascente situa-se ao sul da malha urbana, nas proximidades da Comunidade Boa Esperança; dali o rio segue em direção à planície costeira, permeando a cidade (DIEB; MARTINS, 2017).

Dantas et al. (2001), ressalta a presença de grande variedade de macrófitas

aquáticas flutuantes presentes nas águas desse rio, destacando a família qual pertence o aguapé, confirmando, assim, o seu estado de eutrofização. O mesmo rio sofre com o assoreamento e a erosão, lançamento de esgoto doméstico sem tratamento (Figura 11), o que prejudica a qualidade de suas águas e que em decorrência deste alto nível de poluição, vem sofrendo com um aumento no processo de eutrofização (SANTOS et al., 2016).



Figura 11 – Trecho do Rio Jaguaribe dentro da Mata do Buraquinho
Fonte: Autora (2018).

Tendo em vista que um dos objetivos da pesquisa foi verificar o potencial despoluidor das espécies de plantas estudadas, foi importante utilizar a água de um rio contaminado, para isso escolheu-se o rio Jaguaribe (Figura12) localizado no município de João Pessoa – Paraíba.

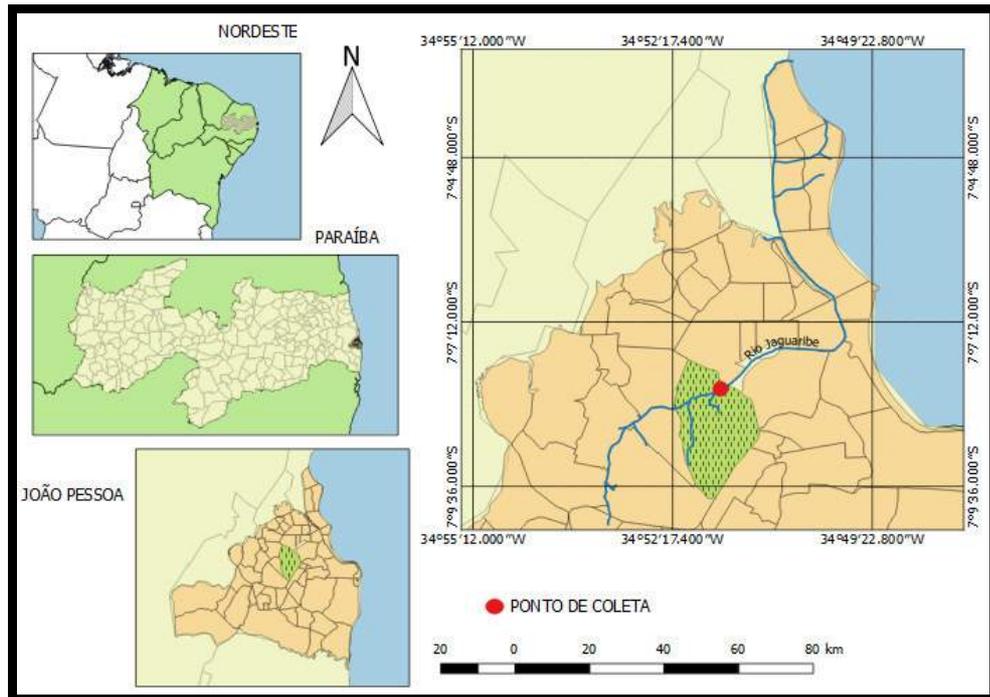


Figura 12 - Localização cartográfica do rio Jaguaribe
Fonte: Autora (2018).

Foi selecionado o trecho da Mata do Buraquinho que se encontra dentro do Jardim Botânico Benjamim Maranhão (Figura 13) para a coleta da água utilizada na pesquisa. Considerou-se a escolha desse trecho pela segurança de estar em uma área protegida e por ter fácil acesso.



Figura 13 –Local da coleta da água de cultivo
Fonte: Autora (2018).

3.2 Macrófitas Aquáticas Cultivadas

As plantas utilizadas na pesquisa foram a Lentilha d'água (*Lemna sp.*) da família das Lamnaceas (Figura 14 a) e a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) da família das Salviniaceae (Figura 14 b), categorizadas como plantas aquáticas flutuantes.



Figura 14– a) Lentilha d'água (*Lemna sp.*); b) Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.)
Fonte: Autora (2018).

3.3 Local e Condições do Cultivo para o Experimento

Os experimentos de fitorremediação foram realizados no Sítio Ipiranga, no município de Conde – PB na viveiricultura Engecampo. O empreendimento fica às margens da PB 018 na granja Arcanjo Gabriel, tendo está uma área de 1,5 hectares e topografia plana, sem dificuldades de acesso.

Para a presente pesquisa e avaliação da qualidade da água foram utilizados dois tanques de alvenaria medindo 2,5 m de comprimento 1,0 m de largura e 1,0 m de profundidade.

No primeiro tanque foi colocada a Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e no segundo a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), conforme Figura 15.



Figura 15 - Corte Esquemático dos tanques sem as macrófitas aquáticas
Fonte: Autora (2018).

Também foi mantida uma amostra controle da água do rio Jaguaribe para ser feita a comparação desta água sem a fitorremediação com as macrófitas utilizadas.

Esta etapa foi realizada no mês de abril de 2018 em um período que estava entre transição do verão e o outono no Brasil, mas por ser a pesquisa realizada no Nordeste Brasileiro as temperaturas se mativeram constantes durante o período em que foi feito o cultivo das plantas em estudo, o que não representou influências significativas para o crescimento das espécies.

3.4 Procedimentos Experimentais

O Procedimento experimental foi dividido em três etapas, na primeira foi feito o acompanhamento do crescimento vegetativo das plantas; na segunda as análises físico-químicas e microbiológicas da água de cultivo; e na terceira etapa as análises do potencial energético das biomassas cultivadas das duas espécies de macrófitas.

A etapa do desenvolvimento vegetativo de cada planta foram avaliadas em 4 coletas. A primeira no início da pesquisa e as demais em 7, 14 e 21 dias de crescimento. Também foi realizado o registro do peso inicial e final da biomassa das espécies cultivadas.

Para as análises da água, foram realizadas 4 coletas ao longo do período experimental. As primeiras realizadas no início do experimento e as demais aos 7, 14 e 21 dias de detenção.

As análises da qualidade da água e os procedimentos seguiram de acordo com Métodos para análises de água e esgoto (Methods for the Examination of Water and Wastewater), para as análises de Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO - Método de Wincler, Determinação de pH - Método Potenciométrico. Faixa: 2 - 14 Método 4500 A e B, Determinação de turbidez – Método nefelométrico - Método – 2130 B e foram levadas para o laboratório de Saneamento - LABSAN do Centro de Tecnologia – CT.

As análises de Determinação de coliformes totais e Escherichia coli – Método de tubos múltiplos NMP/100 mL PTA-018 – rev 27/15 e Determinação de Bactérias Heterotróficas – Método - Contagem em Placas UFC - método 9215 B, foram para o Laboratório de Microbiologia de Alimentos – LMA do Departamento de Engenharia de Alimentos - DEA, onde foram realizadas as análises em duplicatas.

3.4.1 EFICIÊNCIA DA ATIVIDADE FITORREMEIADORA

Para a avaliação do potencial fitorremediador das macrófitas estudadas foi calculada a eficiência da atividade fitorremediadora para cada espécie, através da seguinte equação (Equação 1) (ALVES et al., 2017).

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

E = Eficiência de remoção;

C_i = Concentração inicial do parâmetro/poluento na água;

C_f = Concentração final do parâmetro/poluento na água.

3.5 Coleta da biomassa e preparo do material e análise do Poder Calorífico

Após o início do declínio vegetativo das macrófitas estudadas iniciou-se a morte desses vegetais, que é quando as plantas passam pelo processo de escurecimento das mesmas chamada de necrose, e por consequência a contaminação das águas, nesse momento foi necessário a coleta da biomassa para o aproveitamento energético.

A biomassa foi retirada dos tanques, pesada, armazenada em sacos plásticos levada para o laboratório de Materiais e Química Ambiental - LABMAQ do CEAR da UFPB, onde foram feitas as análises em duplicatas, visando a determinação da composição imediata e do seu poder calorífico .

Foram realizadas os procedimentos de acordo com as normas ASTM - Métodos padrão para análise próxima de carvão e coque (Standard Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke) - D3172, E872 e E1755. As análises realizadas foram para determinação do teor de umidade utilizando a balança de umidade AND MF – 50 (105°C); para materiais voláteis e cinzas, ambas utilizando um forno mufla marca Quimis, por último desta sequência de análises, foi determinando o carbono fixo seguindo as mesmas normas.

Para a determinação do poder calorífico da biomassa dos briquetes das duas espécies de macrófitas, seguiu a norma ASTM D5865, utilizando a bomba calorimétrica adiabática modelo IKA C 200.

3.6 Fabricação dos Briquetes

Os briquetes foram produzidos obedecendo as etapas que seguem:

Inicialmente a biomassa retirada dos tanques passou por uma secagem natural, exposta ao sol durante 10 dias, onde se reduziu sua umidade dando ao material uma aparência de folha seca.

Depois foi levado ao laboratório LABMAQ para termino da secagem em estufa à 105 °C. Após o material seco, foi triturado em um moinho caseiro (Figura 16) comumente utilizado para moagem de temperos, resultando em tamanhos menores que 10mm.



Figura 16 – Moinho Caseiro Eberle
Fonte: Mercado livre (2019)

Neste caso, o material proveniente da moagem foi umedecido com água a 100 °C, essa etapa intencionou liberar a lignina presente no material vegetal com o intuito de otimizar o potencial aglutinante do farelo vegetal, não sendo necessário nenhum tipo de aglutinante, sendo suficiente apenas o próprio material presente na biomassa para uma ótima compactação e aglutinação (Figuras 17a e 17 b).

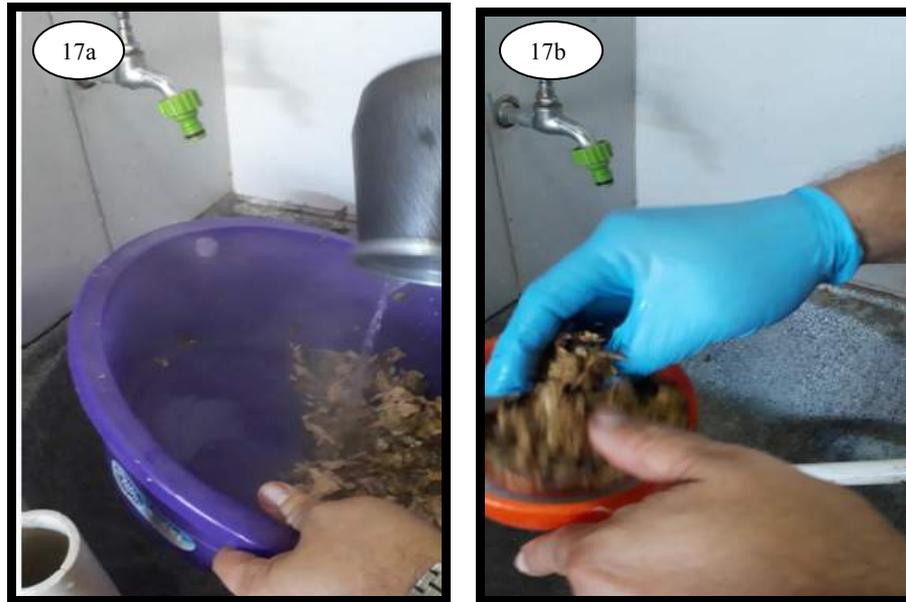


Figura 17 – a) Utilização da água a 100°C; b) Retirando o excesso de água para a briquetagem
Fonte: Autora (2018).

Logo após umedecidos em água morna, aproximadamente 100°C, os farelos com uma granulometria em média de 5 mm, foram introduzidos em uma forma de Policloreto de Vinila - PVC cilíndrica de 106 mm de comprimento, 47,9 mm de diâmetro externo, 40 mm de diâmetro interno e paredes de 3,95 mm (Figura 18a)

A forma com o farelo foi colocada em uma prensa cuja base era empurrada por um macaco hidráulico com capacidade para 2 toneladas, na base a forma era prensada contra um embolo de 35 mm de diâmetro que compactava o material dentro da forma e expulsava o excesso de água misturado ao farelo (Figura 18b).



Figura 18 – a) Forma de PVC; b) Prensa
Fonte: Autora (2018).

Os briquetes ficaram em média com 100 mm de altura por 30 mm de diâmetro. Em laboratório, utilizando uma estufa a 105 °C, os briquetes foram secos, o que lhes conferiu um aspecto de madeira reconstituída, bem parecido ao Aglomerado de média densidade, conforme Figura 19.

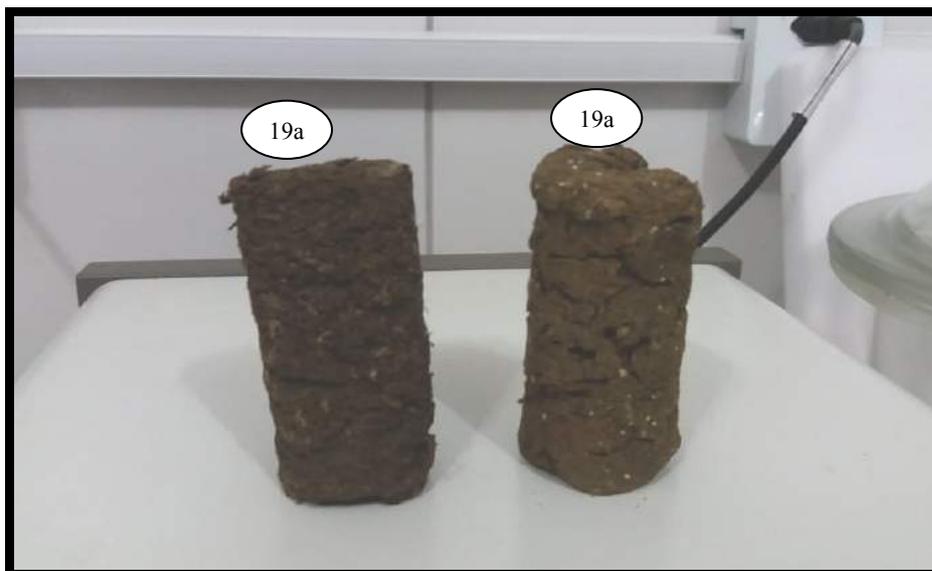


Figura 19 – Briquetes após prensagem e secagem em estufa; a) Orelha de Onça; b) Lentilha d'água.
Fonte: Autora (2018).

Os briquetes depois de prontos, foram levados novamente a estufa para última secagem, em seguida foram feitas as análises de umidade utilizando a balança de umidade AND MF -50, desta forma, foram encaminhadas para a verificação do seu potencial energético.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Acompanhamento do crescimento vegetativo

Poucos trabalhos foram realizados ressaltando o ciclo de vida dos diversos tipos de macrófitas aquáticas, principalmente sobre a Lentilha d'água (*Lemna* sp.) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), mas todas as macrófitas aquáticas tem um ciclo de vida relativamente curto. A estratégia de reprodução inclui, em alguns casos, tanto a reprodução sexuada quanto assexuada, permitindo maior êxito no crescimento e propagação. A variação do crescimento depende das condições climáticas, concentrações de nutriente, espaço livre entre as plantas e condições de mistura e turbulência (MACEDO et al., 2015).

Na primeira semana de acompanhamento, foi verificado que a massa das macrófitas dobrou de tamanho, mostrando um elevado percentual de crescimento, o que indica a ocorrência de fitoextração decorrente do acúmulo de poluentes presentes na água.

Visualizando o crescimento da macrófita Lentilha d'água (*Lemna* sp.), verifica-se na Figura 20a, a quantidade da macrófitas no início do cultivo nos tanques que só ocupava metade da lâmina d'água do tanque; a Figura 20b mostra que a mesma macrófitas tomou toda extensão do tanque com apenas 7 dias de cultivo; a Figura 20c mostra que duplicou a biomassa com 14 dias de cultivo e começou uma mudança em sua coloração também; já a Figura 20d demonstra o final do cultivo com 21 dias, onde não houve um aumento considerável em comparação com a semana anterior de cultivo, mas sua coloração mudou, ficando mais amarelada e com aparência mais gelatinosa.

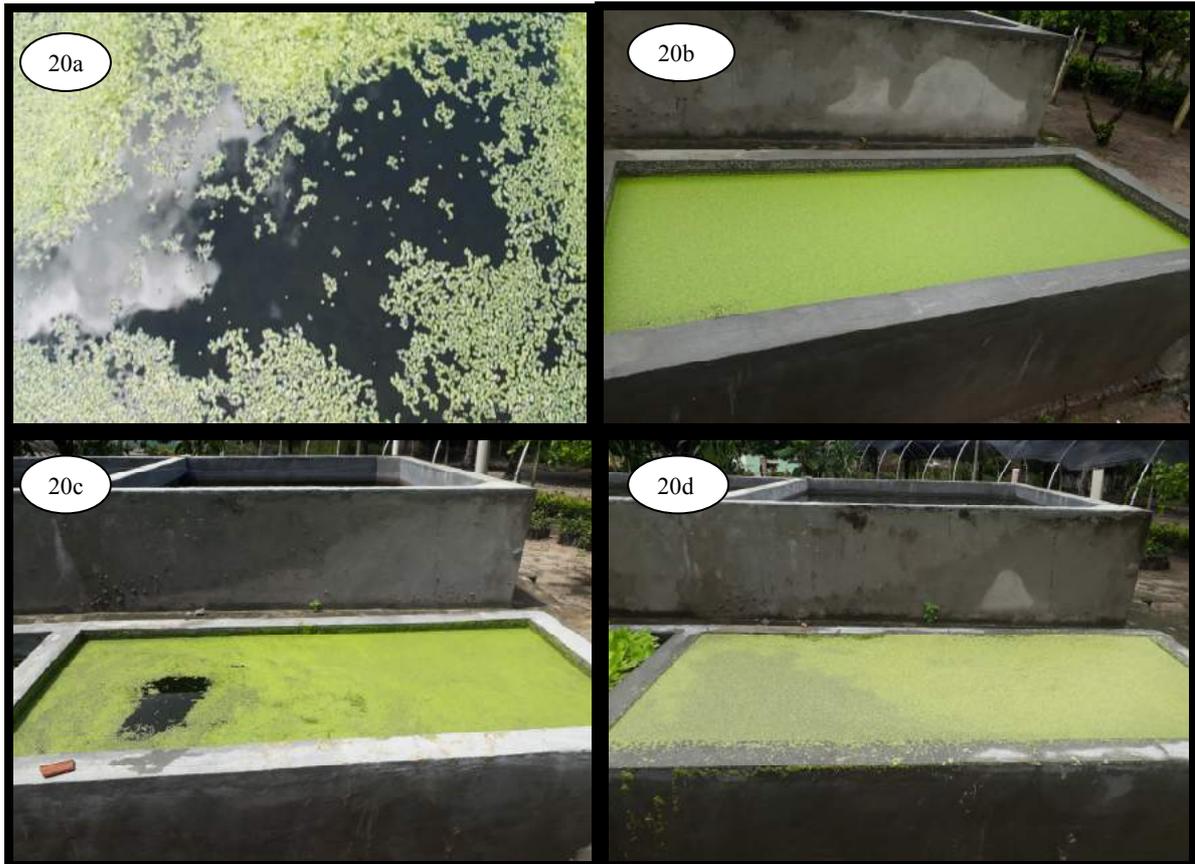


Figura 20 – a) Macrófita Lentilha d'água (*Lemna* sp) no início do cultivo; b) Com 7 dias; c) Com 14 dias; d) Com 21 dias no final do cultivo.

Fonte: Autora (2018).

A turbidez das águas, a composição dos sedimentos, a disponibilidade de nutrientes, as condições climáticas, a eutrofização, entre outros fatores, são determinantes na distribuição e abundância destes tipos de macrófitas. Nos ambientes aquáticos tropicais, em geral, as condições climáticas tendem a favorecer o crescimento desses organismos; as altas temperaturas médias e as intensas radiações solares. Além desses fatores, ocorrem, ainda, pressões antrópicas que podem induzir o aparecimento de condições adequadas para o desenvolvimento desses vegetais, tais como a construção de reservatórios artificiais e a eutrofização (BIANCHINI JÚNIOR, 2003).

No caso da macrófita Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), a Figura 21a mostra o início de seu cultivo, chegando em torno de 30 cm da extensão na lamina d'água do tanque; a Figura 21b demonstra que sua biomassa dobrou em apenas 7 dias de cultivo, sem alteração de sua coloração; na Figura 21c com 14 dias de cultivo o crescimento chegou a toda extensão do tanque, o que visualmente foi o maior pico de seu crescimento e ainda sem mudança em sua coloração; com 21 dias de cultivo, conforme Figura 21d, teve mais um pouco de crescimento mas começou a mudança em sua colocação, saindo dos tons de verdes para uma cor mais próxima do marrom.

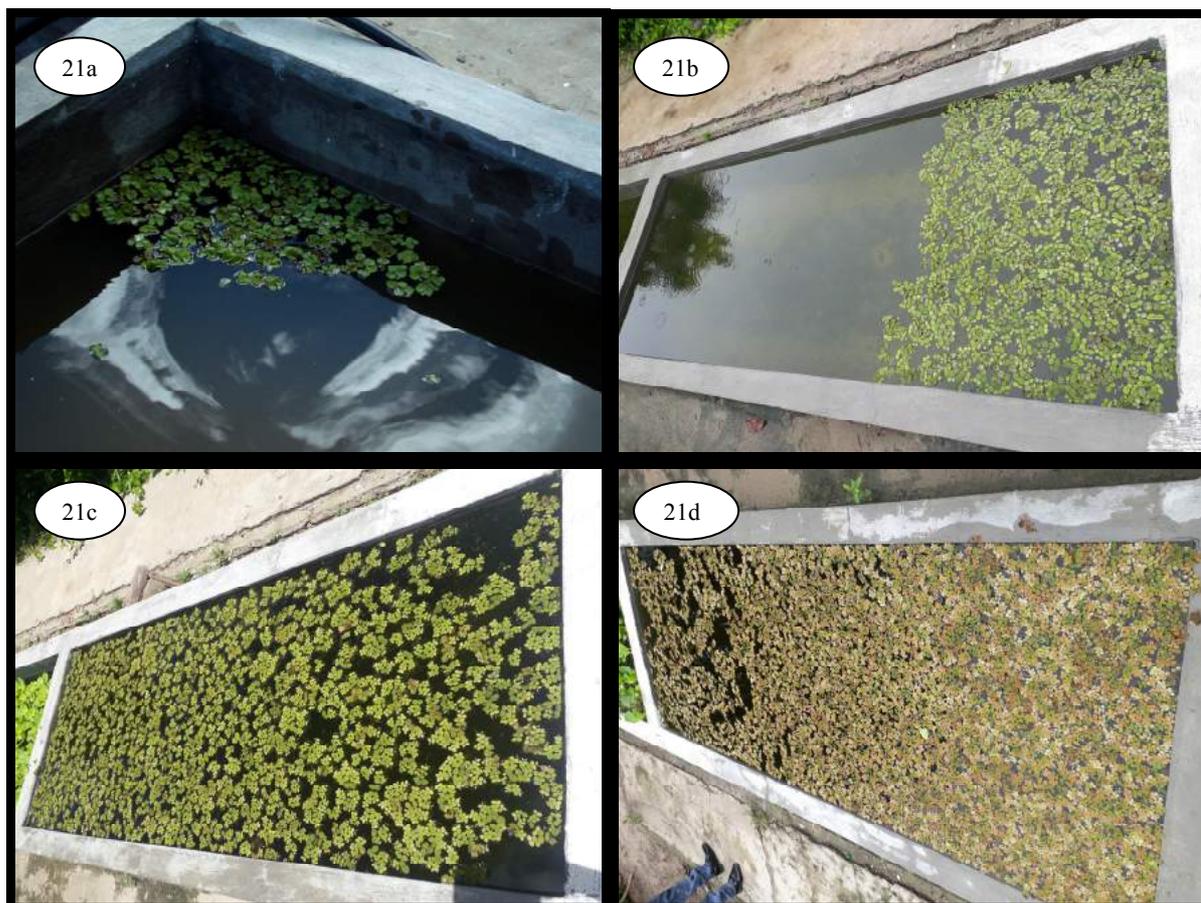


Figura 21 – a) Macrófita Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) no início do cultivo; b) Com 7 dias; c) Com 14 dias; d) Com 21 dias no final do cultivo.

Fonte: Autora (2018).

A princípio, a água quando colocada nos tanques se mostrou turva e com um odor forte, na primeira semana de introdução das macrófitas para o tratamento a água foi ficando límpida e teve uma certa diminuição no odor da água. O melhor resultado para as duas espécies foi com 14 dias de cultivo, mas até o final do tratamento com 21 dias de cultivo das macrófitas a água se encontrava visualmente límpida.

No final da última semana, pela proliferação e a mudança de cor das macrófitas em quantidade específica de água nos tanques, as plantas começaram um período de decomposição, demonstrando o final do ciclo de vidas destas espécies, aumentando a disponibilidade de matéria orgânica na água, alterando a qualidade da água em termos de DBO, da turbidez e de microrganismos presentes.

No decorrer do período de observação como também verificado pela diferença do peso inicial (início do cultivo) e do peso final (final do cultivo de 21 dias) da biomassa obtida de cada espécie de macrófitas (Gráfico 4), com um aumento acima de 1.087% da biomassa da Lentilha d'água e acima de 497% da biomassa da Orelha de Onça. Desta forma, a Lentilha

d'água teve o maior aumento da sua biomassa em comparação com a Orelha de Onça, no decorrer do tempo de cultivo.

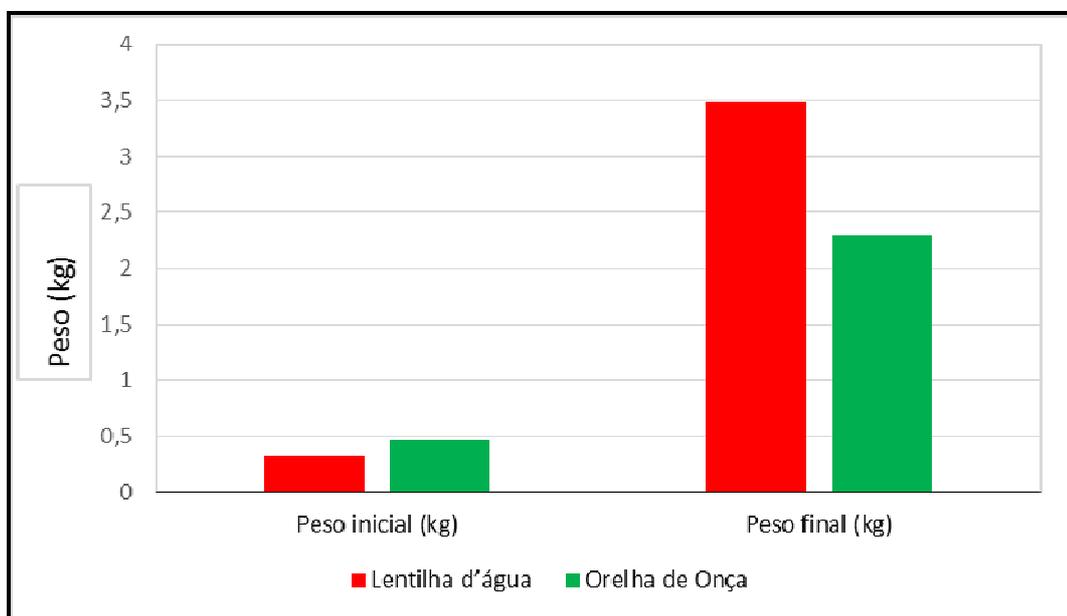


Gráfico 4 – Comparativo entre o peso inicial e o peso final
Fonte: Autora (2019).

4.2 Análises Físico-Químicas e Microbiológicas da água

Foram analisados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de cultivo, observou-se que a amostra controle (rio) se manteve sem apresentar alterações significativas. Quanto a água com os cultivos das duas espécies de macrófitas tiveram um aumento do pH, principalmente o da espécie Orelha de onça.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o rio Jaguaribe está enquadrado na classe 2 que se refere água doce, onde esta resolução estabelece um padrão para os valores de pH que tem uma variação entre 6,0 e 9,0, desta forma a amostra controle (Rio) e a Lentilha d'água se mantiveram dentro dos padrões estabelecidos, já a Orelha de Onça, em sua terceira semana apresentou um aumento do pH para 9,6 e com uma diminuição na última semana, o que pode ter acontecido pelo acúmulo das macrófitas no tanque e a falta de nutrientes.

Segundo Tavares (2004), uma planta dá origem a outra, sendo que esse processo pode ocorrer cerca de vinte vezes em um período curto de 10 dias a algumas semanas, resultando em um crescimento exponencial e que após este período a planta entra no período de senescência, ou seja, fica mais velha e começa o período de necrose, o que explica a cor

amarronzada que apresentou ao final da última semana.

Podemos observar no Gráfico 5 a diferença nesse parâmetro, onde visualmente a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) teve este aumento e que demonstra que nas duas últimas semanas o parâmetro pH ficou fora dos padrões estabelecidos para a qualidade da água.

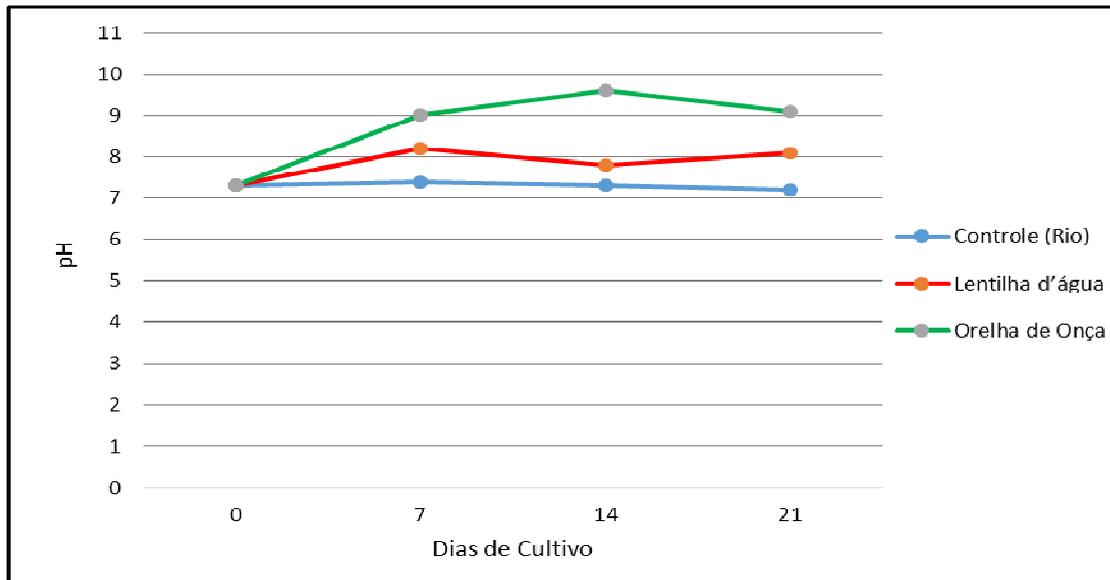


Gráfico 5 – Variação do comportamento do padrão pH nas amostras de da água de cultivo
Fonte: Autora (2019).

Em relação a temperatura (Tabela 3), não houve mudanças consideráveis nas três primeiras semanas, na última, houve uma diminuição, talvez pela alternância entre os dias chuvosos e ensolarados no período da pesquisa. Ainda no que se refere a temperatura, não há uma norma que a regulamente e disponha de um padrão aceitável.

Tabela 3 – Resultados da temperatura das amostras da água de cultivo da Lentilha d'água (*Lemna* sp) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.)

	Início	7 dias	14 dias	21 dias
Controle (Rio)	25,4	25,4	23,6	18,5
Lentilha d'água	25,4	25,9	22,4	19,3
Orelha de Onça	25,4	26	23	20,7

Fonte: Autora (2019).

A turbidez que é um parâmetro físico, também foi analisada, em relação a amostra controle (Rio) houve uma diminuição durante as últimas semanas, estes baixos níveis de turbidez observados ao final do cultivo deve ser relacionado à decantação do material

particulado presente na água (FIGUEIREDO, 2018).

Quanto a água de cultivo com a Lentilha d'água (*Lemna sp.*) houve uma diminuição da turbidez de mais de 50% já na segunda semana de tratamento, e de mais 76% da diminuição da turbidez com a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), bem maior do que o mesmo período com a amostra controle, mostrando a eficiência destas macrófitas no tratamento da água, o que continuou na terceira semana de tratamento (BARBOSA et al., 2018). E na última semana começou a aumentar a turbidez novamente, o que consubstancia um indicativo de que neste período, por falta de nutrientes no tanque ou pelo início do processo de morte das plantas, se tenha alterando a atividade de fitorremediação e desta forma aumentando sua turbidez (Gráfico 6).

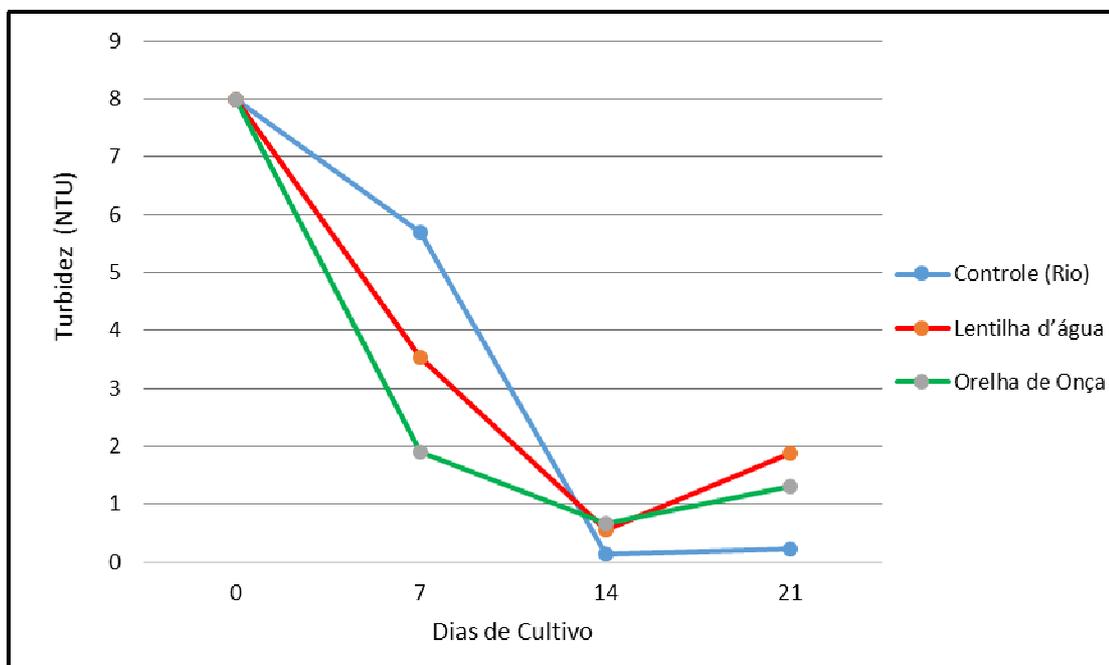


Gráfico 6 – Variação do comportamento do padrão Turbidez nas amostras de da água de cultivo
Fonte: Autora (2019).

No que confere a Resolução CONAMA 357/2005, o parâmetro de turbidez que se refere a águas doce classe 2, o limite permitido é de 40 NTU, o que demonstra que mesmo a amostra controle já estava dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, mesmo assim mostrou uma enorme eficiência quando utilizadas as macrófitas, principalmente na terceira semana, sendo esta a melhor semana de tratamento pelas macrófitas.

Outro parâmetro estudado foi a DBO, que segundo a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece como padrão até 3 mg/L O₂, que a amostra controle estava acima do permitido mas que de forma regular chegou a índices satisfatórios com o passar das semanas e

na fase final começou a crescer novamente, o que pode indicar que as plantas naturalmente apresentam um acréscimo de matéria orgânica à água o que difere da amostra controle.

Os resultados obtidos com as macrófitas também foram satisfatórios, chegando a mais de 80% de DBO na água para Lentilha d'água e 84% da Orelha de Onça na segunda semana, sendo a terceira semana onde obteve o melhor resultado de 91% de DBO para Lentilha d'água e 95% para Orelha de Onça. E da mesma forma que a turbidez na última semana começou a reduzir novamente, fenômeno explicado pela perda foliar e decomposição dos espécimes mais antigos o que elevou os níveis de carga orgânica na água, aumentando a demanda por oxigênio para a sua degradação (FIGUEIREDO, 2018).

Desta forma, conforme os padrões e em termos numéricos, a amostra controle apresentou 1,2 de DBO mg/L junto com a Lentilha d'água mostraram os melhores resultados finais em comparação com a Orelha de Onça. Mas como verificado visualmente no Gráfico 7, o melhor resultado é a da terceira semana e neste momento a Orelha de Onça obteve o melhor resultado comparado a amostra controle e a Lentilha d'água.

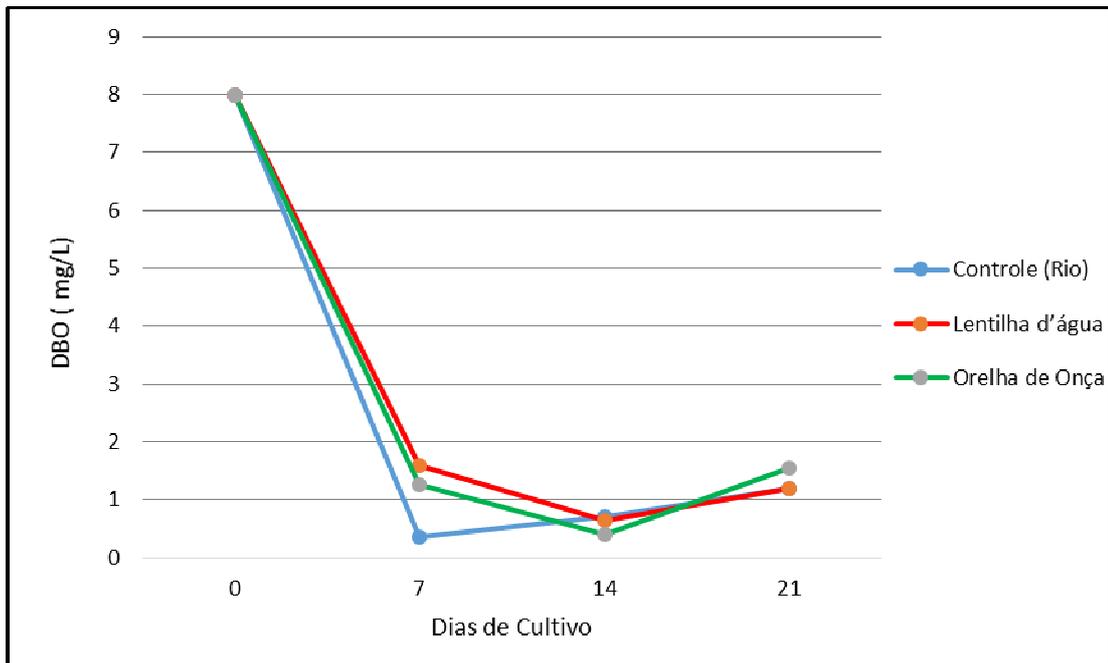


Gráfico 7 – Variação do comportamento do padrão DBO nas amostras de da água de cultivo
Fonte: Autora (2019).

As análises microbiológicas para Coliforme totais foi verificado, seguindo que por vários trabalhos realizado no rio Jaguaribe que demonstra a incidência de despejo de esgoto no mesmo, tal análise foi comparada utilizando as macrófitas.

Segundo o manual da FUNASA (2013), as bactérias do grupos coliformes são

bacilos gram negativos, em forma de bastonetes, aeróbios ou anaeróbios facultativos e que fermentam a lactose a 35-37 °C, produzindo gás e aldeído em um prazo de 24-48 horas.

Entre as análises realizadas, as microbiológicas apresentaram o melhor resultados, ressaltando a Lentilha d'água de quase 100% de diminuição dos Coliformes totais presentes na segunda semana, a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), também apresentou ótimo resultado, principalmente da segunda semana de tratamento até o final da pesquisa. As amostras, controle e Lentilha d'água (*Lemna* sp.) logo após começaram a multiplicar-se novamente, um dos motivos do aumento pode ter sido pelo aumento da matéria orgânica em decomposição e a temperatura que favorece ao seu crescimento.

No Gráfico 8 fica mais fácil de visualizar a evolução do tratamento para este tipo de microrganismo com as macrófitas.

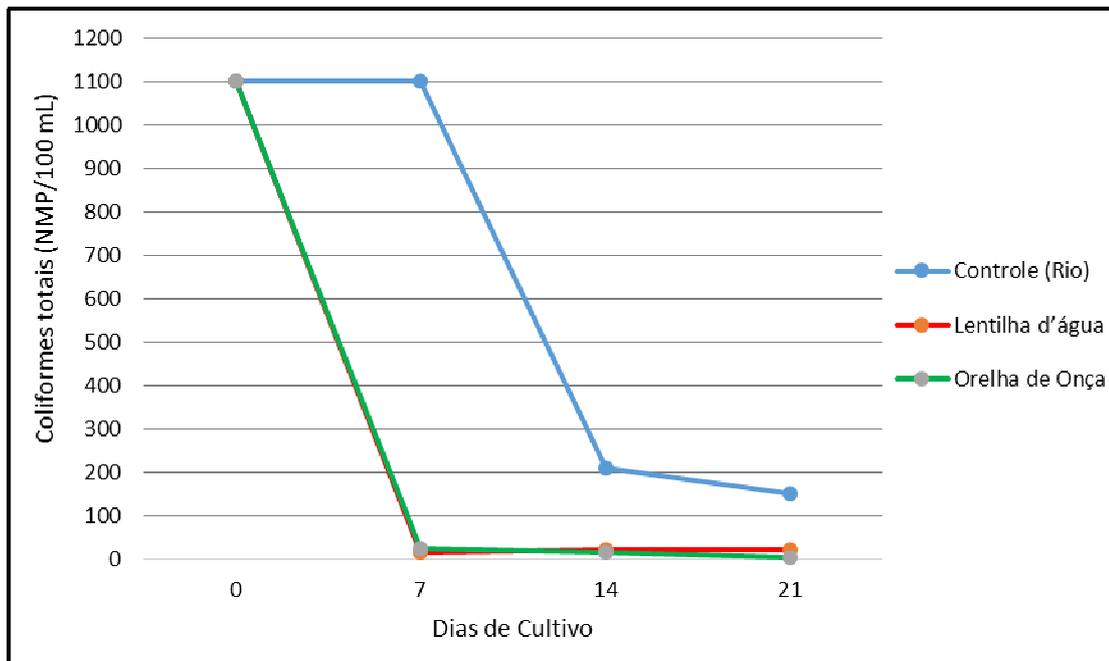


Gráfico 8 – Variação do comportamento do padrão Coliformes totais nas amostras de água de cultivo
Fonte: Autora (2019).

Muitas normas divergem quanto o verdadeiro parâmetro para água, a Resolução 357/2005 do CONAMA estabelece que para rio classe 2, o qual se insere o rio Jaguaribe, o padrão é de que não deverá ser excedido um limite de 200 Coliformes termotolerantes por 100 mililitros. Já a Resolução 274/200 do CONAMA em seu Art. 2, avalia conforme as categorias própria ou imprópria. Mas a água potável não deve conter microrganismo patogênicos e devem estar livres de bactérias indicadoras de contaminação fecal (FUNASA, 2013).

Os Coliformes termotolerantes, fazem parte dos grupos dos Coliformes totais e

incluem as bactérias grã negativas, que fermentam a lactose no periodo de 24 horas a uma temperatura entre 44 a 45 °C com a produção de gás. Estão presente nas fezes de seres de sangue quente e o mais provável contaminante dos rios das grandes cidades, por este tipo específico de microrganismo.

Verifica-se que a amostra controle já se apresentava com limite máximo permitido para as análises e o que permaneceu para as duas primeiras semanas, tendo um decaimento nas duas semanas seguintes. Neste caso, talvez pela falta de nutrientes que favorecem o crescimento bacteriano.

Conforme as análises realizadas para a variação do comportamento dos Coliformes termotolerantes presentes na água de cultivo, demonstraram um excelente remoção deste tipo de microrganismo, com as duas espécies de macrófitas, se comparada a amostra controle. Vale ressaltam o melhor aproveitamento da Lentilha d'água (*Lemna sp.*), conforme Tabela 10 e melhor visualizado no Gráfico 9.

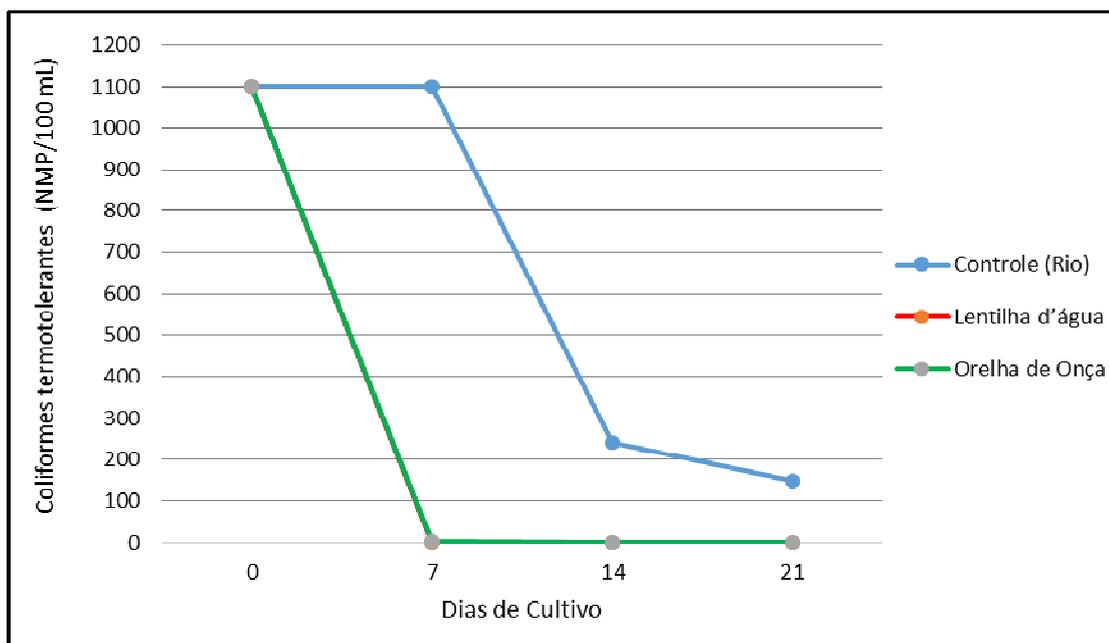


Gráfico 9 – Variação do comportamento do padrão Coliforme termotolerantes nas amostras de da água de cultivo

Fonte: Autora (2019).

Foi realizado também as análises para acompanhamento das bactérias heterotróficas na água de cultivo. A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, recomenda que a contagem padrão de bactérias não deve exceder a 500 Unidades Formadoras de Colônias por 1 mililitro de amostra (UFC/mL), tal como não tolerar em nenhuma amostra de água tratada a presença de coliformes termotolerantes e admitir a presença de coliformes

totais em algumas situações no sistema de distribuição (BRASIL, 2011).

Verifica-se pelo Gráfico 10 e pela Tabela 10 que a quantidade presente na água controle já excedia o valores máximos permitidos e que a amostra controle em sua última semana teve uma diminuição do número de UFC/mL da amostra, o que pode ser pela falta de nutrientes presentes na água. Já o que nas águas com as macrófitas mostraram um valor diferente. Tanto a Lentilha d'água (*Lemna sp.*) como a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) apresentaram uma diminuição até a terceira semana de cultivo, aumentando este valor no final da última semana de cultivo, o que pode ser justificado pelo decaimento da atividade fitorremediadora e a maior disponibilidade de matéria orgânica presente ao final do processo, mesmo assim, se mostraram muito eficientes no tratamento da água de rios contaminados.

A Lentilha d'água na terceira semana apresentou uma grande diminuição deste tipo de microrganismo e a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) teve o maior impacto na segunda semana e repetindo o bom desempenho na terceira semana também, O Gráfico 10 expressa mais significativamente este processo.

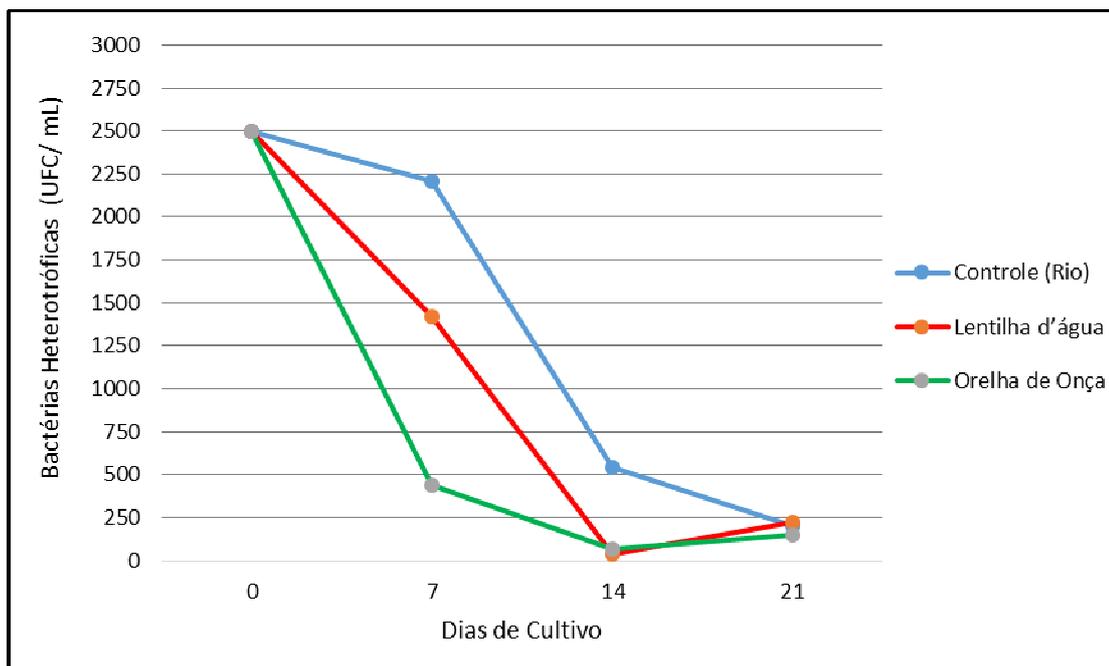


Gráfico 10 – Variação do comportamento do padrão Bactérias Heterotróficas nas amostras de da água de cultivo

Fonte: Autora (2019).

Em todos os parâmetros, as duas espécies de macrófitas aquáticas foram muito eficientes, principalmente para as análises microbiológicas, o que comprova a eficiência destas macrófitas como fitorremediadoras. Mesmo ainda com poucos estudos, principalmente para as duas espécies de macrófitas aquáticas utilizadas para este trabalho, alguns trabalhos

(MACEDO et al., 2015; COELHO, 2017; BINI et al., 1999; BOCHILIA; THOMAZ; PIANA, 2006), destacam a grande eficiência das mesmas para a remoção de metais pesados, nutrientes, microrganismo e outros elementos químicos presentes na água, parâmetros que não foram verificados nesta pesquisa.

Dhir (2009), comenta sobre a eficiência de fitorremediação da Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata* Aubl.), para o tratamento da água, principalmente o seu grande potencial fitorremediador, o que com os resultados da pesquisa visualizamos o mesmo potencial para a Lantilha d'água (*Lemna sp.*). Os resultados obtidos nesta pesquisa, quanto ao potencial de fitorremediação pode ser resumido na Tabela 4, levando como parâmetro 100% do primeiro dia de análises, ou seja, com os valores encontrados no primeiro dia da amostra controle e a última semana do tratamento fitorremediador com as duas macrófitas utilizadas na pesquisa.

Tabela 4– Eficiência da fitorremediação para as amostras da água de cultivo da Lantilha d'água (*Lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.)

%	Turbidez	DBO	Coliformes totais	Coliformes termotolerantes	Bactérias Heterotróficas
Controle (Rio)	97,13	85	86,36	86,36	92,04
Lentilha d'água	76,50	85	98,18	100	91,20
Orelha de Onça	83,62	80,62	98,63	100	93,92

Fonte: Autora (2019).

A tabela 4 demonstra a eficiência em porcentagem (%) para as três semanas de tratamento, desta forma fica possível de visualizar a eficiência da fitorremediação pelas macrófitas, em especial a Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata* Aubl.). As duas tiveram um grande aproveitamento do seu potencial fitorremediador, onde a melhor eficiência para ambas, aconteceu na terceira semana de tratamento.

Desta forma, com relação as análises físico-químicas e microbiológicas da água de cultivo, utilizando as macrófitas Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata* Aubl.), apresentaram resultados semelhantes, com destaque para Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata* Aubl.), que demonstrou o melhor resultados se comparada a Lentilha d'Água (*Lemna sp.*). Quanto a quantidade de biomassa produzida a Lentilha d'água (*Lemna sp.*) mostrou o melhor resultado, chegando a mais de 1000% em comparação ao seu peso inicial.

4.3 Análise Imediata e Poder Calorífico dos Briquetes

Inicialmente foi feita a verificação do teor de umidade das macrófitas aquáticas logo após a sua colheita no tanques. Os resultados para este parâmetro foi bastante elevado, (Tabela 5).

Tabela 5 – Teor de umidade da Lentilha d’água (*Lemna sp*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.)

Lentilha d’água	93,85
Orelha de Onça	85,60

Fonte: Autora (2019).

Após esta análise, foi realizada as análises da composição imediata dos briquetes, sendo assim, as amostras das macrófitas aquáticas foram secas previamente ao sol, em seguida foi para estufa à 105 °C para o término da secagem.

Os resultados para as análises imediata são vistos a seguir na Tabela 6:

Tabela 6 – Análises da composição imediata dos briquetes fabricados a partir da biomassa da Lentilha d’água (*Lemna sp*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.)

	Umidade (%)	Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Lentilha d’água	7,70	77,98	8,77	13,25
Orelha de Onça	6,85	71,95	10,10	17,95

Fonte: Autora (2019).

Os valores do teor de umidade dos briquetes nesta etapa, obtiveram uma expressiva redução se comparados aos valores obtidos da biomassa Lentilha d’água (*Lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) depois da colheita nos tanques. Segundo Dias et al. (2012) umidade entre 5 e 10%, resulta em um produto mais denso, estável e durável do que briquetes compactados com teores de água acima dos 15%, destacando a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), onde seu valor mostra que ficou entre o padrão aceitável para fins enegéticos, a Lentilha d’água (*Lemna sp.*) ficou um pouco abaixo, mesmo assim, os briquetes produzidos com as duas espécies de macrófitas aquáticas estão dentro de um padrão desejado.

Valores relacionados ao Teor de Umidade baixos são preferíveis para combustíveis sólidos, pois quanto menor a umidade maior será a produção de calor por unidade de massa, parte da energia liberada na combustão é gasta na vaporização da água.

Valores do Teor Umidade acima deste estabelecidos, representa um maior gasto de energia se for feito em estufa a sua secagem, e necessário realizar uma secagem prévia das macrófitas ao sol. Já valores abaixo dos 5% pode representar perda ou quebra de material no transporte e armazenamento dos briquetes (DIAS et al., 2012; FIGUEIREDO 2018).

O percentual para o teor de materiais voláteis verificado na amostra da Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata* Aubl.) comparada a a da Lentilha d'água (*Lemna sp.*) foi melhor, mesmo com uma diferença pequena entre elas, cerca de 6,03 % a mais. Valores referente ao teor de materiais voláteis mas as duas espécies de macrófitas foram consideradas boas, uma vez que se encontravam na faixa de 65% - 85% para ambas (REZANIA et al., 2016).

Um alto teor de materiais voláteis pode afetar o processo de combustão, pois tem maior facilidade de incendiar e queimar, embora o processo de combustão seja rápido, o mesmo é difícil de controlar (VIEIRA, 2012). Munjeri et al. (2016) afirma que, o poder calorífico de um combustível tende a aumentar proporcionalmente o teor de materiais voláteis presentes nele.

O teor de cinzas apresentou resultados aceitáveis, já que a maiorias dos tipos de biomassa tem um teor de cinzas esta entre 0,29% – 17,89%, e que as duas macrófitas chegaram próximas dos valores da casca de côco (8,25%) e do bagaço de cana (11,27%) (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008), porém os mesmos autores afirmam que para um resultado excelente estes valores não deveriam ultrapassar 2%. Neste caso, pode ser um determinante muito positivo para a produção dos briquetes em termos energéticos utilizando estas duas espécies.

As cinzas da biomassa constituem-se de material não combustível, também podem ser utilizadas ou reaproveitadas na construção civil para a produção de tijolos ou telhas, também pode ser utilizados como fertilizante agrícola, já que em sua composição está presente componente minerais e que podem recompor solos degradados.

Em comparação, a Lentilha d'água (*Lemna sp.*) mostrou acima de 86% melhor resultado em comparação com a Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata* Aubl.) para as análises de teor de cinzas.

Para os resultados do teor de carbono fixo, que estão relacionados a quantidade de cinzas e voláteis na amostra, os valores expressos foi considerado bom, que estabelece o percentual de quantidade de calor gerado, presente na macrófita Lentilha d'água (*Lemna sp.*) foi de 13, 25% e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.) de 17, 95%, o que se equipara aos do bagaço de cana 17,16% (PAULA et al., 2011) e a da Casca de Arroz 11,90% (MORAIS et al., 2011), se comparado as macrófitas aguapé (*Eichhornia crassipes*) 10,55% e

o Alface d'água (*Pistia stratiotes*) 6,83%, teve um bom resultado, sendo que quanto maior este percentual mais lentamente o combustível irá queimar (VIEIRA, 2012), e desta forma a Orelha de Onça (*Salvinia auriculata aubl.*) obteve o melhor resultado.

Em relação ao poder calorífico dos briquetes das duas espécies de macrófitas estudadas, foram encontrados os seguintes resultados (Tabela 7):

Tabela 7 – Poder calorífico dos briquetes fabricados a partir da biomassa da Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata Aubl.*)

	PCS (MJ/kg)
Lentilha d'água	15,751
Orelha de Onça	15,408

Fonte: Autora (2019).

Segundo Figueiredo (2018), não existem normas brasileiras que determine o valor específico do poder calorífico para os briquetes fabricados a partir de biomassa, especialmente de macrófitas aquáticas, mas baseando-se na norma europeia, e segundo Dias et al. (2012), o poder calorífico para a biomassa dos briquetes fica entre 16,9 MJ/kg. De acordo com Rocha (2014), o poder calorífico superior (PCS) fica na faixa de 16.92 a 17.64 MJ/kg.

Sendo assim os dados coletados na pesquisa quanto ao poder calorífico para os briquetes produzidos com a biomassa da Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata Aubl.*) ficaram um pouco abaixo do exigido, porém, fazendo uma comparação com do bagaço de cana que é de 15, 480 MJ/kg (QUIRINO, 2005), ou até mesmo com as das macrófitas aguapé (*Eichhornia crassipes*) 14,382 MJ/kg e o Alface d'água (*Pistia stratiotes*) 14, 185 MJ/kg (FIGUEIREDO, 2018), tem potencial de utilização como substitutos a outras fontes, pois cumpre o seu potencial fitorremediador no tratamento da água, é de baixo custo, e a proliferação que é o seu maior problema, seria um recurso energético muito aceitável, principalmente para populações que são carentes deste recurso, sendo assim um possível fonte de renda.

Os resultados referente ao poder calorífico e análises imediata dos briquetes produzidos a partir da biomassa das duas espécies de macrófitas aquáticas, Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia Auriculata Aubl.*) apresentaram dados relevantes para a pesquisa, pois as duas espécies ficaram próximos aos padrões utilizados para outras espécies mencionadas, de forma que mostra um bom potencial energético.

Há um grande potencial de exploração da biomassa para fins energéticos, uma vez que a alta proliferação das macrofitas estudadas, o alto teor fibroso e presença de lignina que

facilita a aglutinação das suas partículas, após triturados, transformados em briquetes para utilização de fornos.

5 CONCLUSÃO

Em termos do crescimento vegetativo os resultados alcançados para as semanas de estudo foram satisfatórias e mostraram a grande capacidade de multiplicação das macrófitas estudadas, especialmente para a Lentilha d'água (*Lemna sp.*).

Quanto ao potencial fitorremediador, as duas espécies confirmaram a grande potencial de tratamento da água, principalmente na terceira semana de cultivo, onde os valores apresentados foram superiores aos obtidos com a amostra controle, principalmente para os parâmetros microbiológicos.

Em termos dos resultados obtidos da análise imediata, poder calorífico e análises térmica, as duas amostras obtiveram resultados quase semelhantes, demonstrando aspecto positivos da utilização da sua biomassa como grande potencial energético.

A pesquisa comprovou a eficiência das macrófitas aquáticas quanto ao processo fitorremediador e o potencial energéticos da Lentilha d'água (*lemna sp.*) e da Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.), trazendo um passivo ambiental muito importante para ser utilizado em rios que passam pelo processo de poluição.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realização de estudos, quanto a emissão de gases poluentes da queima dos briquetes da biomassa das duas espécies de macrófitas aquáticas estudadas na pesquisa.

Análises relacionadas a remoção de fósforo, nitrogênio e metais pesados, para verificar mais dados quanto ao processo fitorremediador das plantas Lentilha d'água (*Lemna sp.*) e Orelha de Onça (*Salvinia auriculata* Aubl.).

Fazer um estudo, e ou, comparação da viabilidade econômica para comercialização dos briquetes produzidos com as duas espécies de macrófitas aquáticas analisadas com briquetes com outro tipo de material. Pois é uma fonte de energia limpa e sustentável e de baixo custo, principalmente, ambientalmente correta.

Realizar a análise termica dos briquetes destas macrófitas aquáticas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. S.; CRUZ, A. D; CUNHA, C. V; SOUSA, R. . Fitorremediação de águas residuais com *Echhornia crassipes* em sistema hidropônico. In: Rigoberto Rodríguez Quirós. (Org.). **Tierra: Naturaleza, Biodiversidad y Sustentabilidad**. Ed.1. San José, Jade, 2017, v. 1, p. 77-87.
- ALVES JUNIOR, F. T.; GUIMARÃES, J. L.S.; SANTOS, G. A.; LEITE, A. M. F.; BARROS, G. D. T.. Utilização de biomassa para briquetagem como fonte de energia alternativa e a disponibilidade deste recurso na região do Cariri-CE. **XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção**. Ouro Preto-MG, 2003.
- ANDRADE, J. C. da M.; TAVARES, S. R. de L.; MAHLER, C. F.. **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.21**. Ed. Washington D.C: APHA-AWWAWEF, 2005. 1134p.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke: D3172-89**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 1997.
- BARBOSA, E. C. A.; FIGUEIREDO, S. A. LOPES, R. M. B. P; BARBOSA, G. S. Utilização de Macrofitas para o Tratamento da Água de Piscicultura. **In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental- CONGESTAS 2017**. 2017.
- BARKO, J. W.; ADAMS, M. S.; CLLESCERI, N. L. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review. **J. Aquatic Plant Manag.**, v. 24, p. 1-10, 1986.
- BIANCHINI JÚNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. **Researchgate**. Cap.4., 2003. Disponível em: file:///C:/Users/user/Downloads/Capitulo04_IrineuBianchiniJunior.pdf. Acesso em: 08 Jan. 2019.
- BIOMASSA E BIOENERGIA. **Biomassa**. Disponível em: <https://minasenergia.rs.gov.br/upload/arquivos/201603/17083210-13-sme-biomassa-e-bioenergia.pdf>. Acesso em: 10 Dez. 2018.

BINI, I. M.; THOMAZ, S.M.; MURPHY, K. J.; CAMARGO, A. F. M.. Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu. **Reservoir**. Brasil, Hydrobiologia, 415:147-154, 1999.

BOSCHILIA, S. M. THOMAZ, S. M.; PIANA, P. A.. Plasticidade morfológica de *Salvinia herzogii* (de La Sota) em resposta a densidade populacional. **Acta Scientiarum. Biological Science** 28: 35-239, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA). **Resolução n. 467: de 16 de julho de 2015**. Brasília: CONAMA, 2015.
Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=712>. Acesso em: 01 set. 2015.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do 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." - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 07 Jan.2019.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA). **Resolução n. 274: de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>. Acesso em: 07 Jan.2019.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria n. 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõem sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 07 Jan. 2019.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Matriz energética Nacional 2030**. Brasília: EPE, 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/matriz-energetica-nacional-2030?>. Acesso em: 11 Nov. 2018.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica**. – Brasília: ANEEL, 2002. 153 p. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 14 de jul. 2017.

_____. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 17 Abr. 2018.

CELULOSE ONLINE. **Biomassa gera 14% da energia no planeta**. Portal Celulose Online. 2004. Disponível em: <http://www.celuloseonline.com.br>. Acesso em 14 agosto 2017.

COELHO, J. C.. **Macrófitas aquáticas flutuantes na remoção de elementos químicos de água residuária**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agrônomas da UNESP. Botucatu, SP, UNESP, 2017.

COELHO, S. Biomassa como fonte de energia. In: GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C. **Série energia e sustentabilidade: Energias renováveis**. São Paulo, Blucher, 2012.

COOK, E. C. Man, energy, society. In: GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2008.

CONAB. A.. **Geração Termoeletrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil: Análise do Desempenho da Safra 2009-2010**. 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_05_15_45_40_geracao_termo_baixa_res..pdf. Acesso em 12 fev. 2018.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E.S.; GÓMES, E. O.. **Biomassa para Energia**. Campinas – SP: Unicamp, 2008.

CUNNINGHAM, S. D. et al. Phytoremediation of contaminated soils. **Trends Biotechnology**. v.13, p 393-397, 1995.

DANTAS, M. A. C.; GUIMARÃES, M. M. M.; GOMES, R. L. P.; HECKENDORFF, W. D. **Os Aglomerados Subnormais dos vales do Jaguaribe e do Timbó: Análise geo-ambiental e qualidade do meio ambiente**. Relatório de Pesquisa. João Pessoa: Centro Universitário de João Pessoa – Unipê - Depto De Geografia, 2001.

DEPRÁ, M. C.; SANTOS, A. M.; SEVERO, I. A.; SANTOS, A. B.; ZEPKAL, L. Q.; JACOB-LOPES, E. Microalgal Biorefineries for Bioenergy Production: Can We Move from Concept to Industrial Reality?. **BioEnergy Research**. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12155-018-9934-z>. Acesso em: 24 Jan. 2019.

DHIR, B.. **Salvinia: an aquatic fern with potencial use in phytoremediation Environ. We Int. J. Sci. Tech.** 4: 23-27, 2009.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Cerâmica substitui queima de lenha pela biomassa**. Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/ceramica-substitui-queima-da-lenha-pela-biomassa-1.1182083>. Acesso em: 12 fev. 2018.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 130 p. ISSN 2177- 4439

DIEB, M. de A.; MARTINS, P. D. O Rio Jaguaribe e a história urbana de João Pessoa/Pb: da harmonia ao conflito. **XVII ANANPUR**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://ecen.com/eee21/emiscar2.htm>. Acesso em 16 fev. 2018.

DINARDI, A. L. FORMAGI, V. M., CONEGLIAN, C. M. R., BRITO, N. M. DE, SOBRINHO, G. D., TONSO, S.; PELEGRINI, R.. Fitorremediação. **In: Anais do III Fórum de Estudos Contábeis**. Faculdades Integradas Claretianas, Rio Claro, Brasil. 2003.

EPE. Empresa de Pesquisa e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030: Estratégia de Expansão de Oferta**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-175/PNE%202030%20-%20Estrat%C3%A9gia%20para%20Expans%C3%A3o%20da%20Oferta.pdf#search=evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20estrutura%20oferta%20energia>. Acesso em: 30 Jan. 2019.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Plantas aquáticas se proliferam e cobrem os rios Tiête e Pardo**. Disponível em: <https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,plantas-aquaticas-se-proliferam-e-cobrem-os-rios-tiete-e-pardo,1712833>. Acesso em: 10 Nov. 2017.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: FINEP/Interciência, 1998. 575 p.

ESTEVES, F. A.; CAMARGO, A. F. M. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. **Acta Limnol. Bras.**, v. 1, p. 273-298, 1986.

FIGUEIREDO, S. A. **Análise do potencial fitorremediador e energético da biomassa das espécies *Eichhornia crassipes* (Aguapé) e *Pistia stratiotes* (Alface d'água)**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis. João Pessoa, UFPB, 2018.

FUNASA. **Manual prático de análise de água**. 2ª ed. Brasília, 2013.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2008.

HANCOCK, S. J.; BUDHAVARAPU L. **Control of Algae Using Duckweed (Lemna)**

Systems: constructed wetlands for water quality improvement. G.A. Moshiri, Eds. Lewis Publishers, Florida. 399-406. 1993.

HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. **Composição química de macrófitas aquáticas flutuantes utilizadas no tratamento de efluentes de aquicultura.** Planta Daninha, v. 24, n. 1, p. 21-28, 2006.

HOEHNE, F. C. **Plantas aquáticas.** São Paulo: Secretaria da Agricultura, Instituto de Botânica, 168p. 81 táb., 1948.

IEE-USP. Instituto de Energia e Ambiente Universidade de São Paulo. **Biomassa no mundo.** Disponível em: http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/biomassa-no-mundo_ Acesso em: 10 fev. 2018.

IRENA. Installed Capacity Trends – Bioenergy. **International Renewable Energy Agency,** Abu Dhabi, 2018. In: FIGUEIREDO, S. A. **Análise do potencial fitorremediador e energético da biomassa das espécies Eichhornia crassipes (Aguapé) e Pistia stratiotes (Alface d'água).** Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis. João Pessoa, UFPB, 2018.

JORDÃO, E. P. Revisão de critérios de concepção e dimensionamento de lagoas de estabilização e aguapés. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** Camburiu, 22-25, 1983.

JOURNEY, W. K.; SKILLICORN, R.; SPIRA, W. Duckweed. A nem aquatic farming system for developing countries. **Word bank publications.** 67pp. Washington DC. 1993.

LANDOLT, E.; KANDELER, R.. The Family os Lemnaceae. A monographic study: Phitochemistry, physiology, application and Bibliography. In **Biosystematic Investigations in the Family of Duck Weeds (Lemanecae).** Shiftung Ruebel, zuerich verornffentlichungen des geobotanischen institutes der ETH, Vol4, No95, 638pp, 1987.

LÊDO, Samatha. O Problema na falta de manejo sobre, a proliferação das capitivas(macrófitas) nas águas poluídas. **Revista Sustentabilidade.** 2015. Disponível em: <https://revistadasustentabilidade.wordpress.com/2015/08/14/o-problema-ou-preguica-administrativa-sobre-a-proliferao-das-capitivasmacrofitas-nas-aguas-poluidas/>. Acesso em: 10 fev. 2018.

LIAO, S. W.; CHANG, W. L. Heavy metal phytoremediation by water hyacinth at constructed wetlands in Taiwan. **J. Aquat. Plant Manage.** 2004.

MACEDO, C. C. L.; RODRIGUES, M. E. F.; HIRATA, R. T.; SILVA, S. C.; CARLOS, V. M.; POMPEO, M.. Lavantamento de macrófitas aquáticas no reservatório Paiva Castro, Mairiporã, São Paulo. In: POMPEO, M. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

MAFEI, M. **O bombril das águas**. Globo Rural, Rio de Janeiro, p. 40-51, jul. 1988.

MARCONDES, D. A. S.; TANAKA, R. H. Plantas aquáticas nos reservatórios das usinas hidrelétricas da CESP. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 21., Workshop de Plantas Aquáticas, 1997, Caxambu. **Anais...** Caxambu: SBCPD, 1997. p. 2-4.

MERCADO LIVRE. **Moedor de carne antigo Eberle**. Disponível em: <https://lista.mercadolivre.com.br/antiguidades/moedores-antigos/moedor-de-carne-antigo>. Acesso em: 23 Fev. 2019.

MISHRA, V. K.; UPADHYAYA, A. R.; PANDEY, S. K; TRIPATHI, B. D. Heavy metals and aquatic macrophytes of Govind Ballav Pant Sagar an anthropogenic lake affected by coal mining effluent. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2007.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C.S.; SOUZA, R. C. R. **Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação**. 2011. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v2/089.pdf>. Acesso em: 09 Jan. 2019.

MUNJERI, K.; ZIUKU, S.; MAGANGA, H.; SIACHINGOMA, B.; NDLOVU, S. On the potential of water hyacinth as a biomass briquette for heating applications. *Int. J Energy Environ Eng*. 2016. v. 7, p. 37-43.

NACBRIQUETES. Disponível em: <http://nacbriquetes.com.br/index.html>. Acesso em: 10 Nov. 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, M. J. 2011. **Uso de macrófitas da espécie Pistia stratiotes (alface d'água) como combustível sólido para fornalhas industriais, uma análise de viabilidade técnica e econômica**. Dissertação (MPAGRO) - Escola de Economia de São Paulo. 56 f. 2011.

PACHECO, F. Energias renováveis: Breves conceitos. **Economia em destaque**. Salvador, SEI, n.145, p. 4-11, 2006.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. **Characterization of**

Residues from Plant Biomass for use in Energy Generation. Cerne, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, abr./jun. 2011.

PEDRALLI, G. **Macrófitas aquáticas: técnicas e métodos de estudos.** Est. Biol., v. 26, p. 5-24, 1990.

PEREIRA, F. S. G. **Viabilidade sustentável de biomassas de Moringa oleifera para produção de biodiesel e briquetes.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco - Recife. 2015. 141f. Disponível em: . Acesso em 15 fev. 2018.

PLETSCH, M. et al. Fitorremediação de água e solos poluídos. **Revista de Biotecnologia**, n. 11, maio/jun. 2000.

PIRES, F.R. et al. Fitorremediação de solos contaminados com tebuthiuron utilizando-se espécies cultivadas para adubação verde. **Planta daninha [online]**. 2005, vol.23, n.4, pp. 711-717. ISSN 0100-835.

POMPÊO, Marcelo. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros.** São Paulo: Instituto de Bio ciências da USP, 2017. 138 p.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos.** Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2005.

REZANIA, S.; DIN, M.F.M.; KAMARUDDIN, S.F.; TAIB, S.M.; SINGH, L.; YONG, E.L.; DAHALAN, F.A. Evaluation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a potential raw material source for briquette production. **Energy**, 2016. v.111, p. 768-773.

RIBEIRO, J. A. **Recursos naturais como insumo energético: Um estudo do uso da biomassa florestal.** 1ed. Curitiba: Appris, 2016.

ROCHA, José Dilcio. Briquetes e pellets de resíduos: tecnologia e potencial. **9º Congresso Internacional de Bioenergia.** Embrapa, São Paulo, 2014.

SANTOS, C. L.; SOUZA, A. S; VITAL, S. R. O; GIRÃO, O.; WANDERLEY. L. S. A. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Jaguaribe, cidade de João Pessoa/PB. **REGNE**, Vol. 2. Nº Especial. 2016. Disponível em: . Acesso em: 12 fev. 2018.

SHUTZ, E. R. D.; BUSS, M. U.; SALAMONI, S. P.; NUNES, E. O.; MENEZES, J. C. S. S. utilização de macrófitas aquáticas flutuantes como alternativa energética sustentável para a produção de bioetanol. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, ABES, 2015.

SILVA, J. W. F.; CARNEIRO, R. A. F.; LOPES, J. M. Da biomassa residual ao briquete: viabilidade técnica para produção de briquetes na microrregião de Dourados – MS. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.4, p.624-646, 2017. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/rber/article/view/46401/pdf>>. Acesso em 16 fev. 2018.

SORIANO, M. C. H. **Environmental Risk Assessment of Soil Contamination**. 2014.

STANDARD METHODS FOR . **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 20th ed., American Public Health Association: Washington, p. 4-99 e 4-124, 1998.

_____. Standard test method for gross calorific value of coal and coke: **D 5865**. **ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2004.

_____. Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels: **ASTM E872-82**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

_____. Standard Test Method for Ash in Biomass: **E1755-0**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

SUÑE, N. et al. **Cadmium and chromium removal kinetics from solution by two aquatic macrophytes**. *Environ. Poll.*, v. 145, p. 467-473, 2007

SWAIN, G.; ADHIKARI, S.; MOHANTY, P. Phytoremediation of copper and cadmium from water using water hyacinth. *Eichhornia Crassipes*. **Int J Agric Sci Technol**, v. 2, p. 1–7. 2014.

TAVARES, F. A. **Eficiência de Lemna sp no tratamento de efluentes de suinocultura e sua utilização como fonte alternativa de alimento para tilápias**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. Florianópolis, UFSC, 2004.

TOMAZELA, J. M. Plantas aquáticas se proliferam e cobrem os rios Tietê e Pardo. 2015. **O**

Estadão de São Paulo. Disponível em: <http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,plantas-aquaticas-se-proliferam-e-cobrem-os-rios-tiete-e-pardo,1712833>. Acesso em: 27 jan.2018.

THOMAZ, S. M. **Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo.** 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582002000400003. Acesso em: 27 jan. 2018.

UFSCAR. Universidade Federal de São Carlos. **Lentilhas d'água.** Disponível em: http://www.ufscar.br/~probio/info_lentilhas.html. Acesso em: 10 Nov. 2017.

UPADHYAY, A.R.; MISHRA, V.K.; PANDEY, S.K.; TRIPATHY, B.D. Biofiltration of secondary treated municipal wastewater in a tropical city. **Ecological Engineering**, 2007.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** Dissertação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de pós-graduação em energia agrícola. Paraná, UNIOESTE, 2012.

WENCESLAU, F.F. **PROINFA:** Uma contribuição para a diversificação da matriz energética no Rio Grande do Sul. Dissertação. Mestrado em Desenvolvimento Regional. Universidade de Santa Cruz do Sul. Rio Grande do Sul: UNISC, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/505/1/FranclinWenceslau.pdf>. Acesso em: 11 Nov. 2018.

WETZEL, R. G. 1993. **Limnologia.** 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1129p, 1993.

ZANCHETA, A. C. F.; ABREU, C. A. de; ZAMBROSI, F. C. B.; ERISMANN, N. de M.; LAGÔA, A. M. M. A.. **Fitoextração de cobre por espécies de plantas cultivadas em solução nutritiva.** *Bragantia*. Campinas. 2011, vol.70, n.4, pp. 737-744.