

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA

TAMMY SCARLETT BALBINA SALES ROSA

POTENCIAL ENERGÉTICO DA *EICHHORNIA CRASSIPES* (AGUAPÉ) E DA *PISTIA STRATIOTES* (ALFACE D'ÁGUA)

PONTA GROSSA
2016

TAMMY SCARLETT BALBINA SALES ROSA

POTENCIAL ENERGÉTICO DA *EICHHORNIA CRASSIPES* (AGUAPÉ) E DA *PISTIA STRATIOTES* (ALFACE D'ÁGUA)

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Bioenergia na Universidade Estadual de Ponta Grossa. Área de concentração: Biocombustíveis

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto
Co-orientadora: Prof. Dr^a. Sandra R. Masetto Antunes

PONTA GROSSA
2016

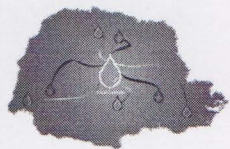
Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

R788 Rosa, Tammy Scarlett Balbina Sales
Potencial energético da Eichhornia
Crassipes (aguapé) e da Pistia Stratiotes
(alface d'água)/ Tammy Scarlett Balbina
Sales Rosa. Ponta Grossa, 2016.
58f.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia -
Área de Concentração: Biocombustíveis),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique
Weirich Neto.
Coorientadora: Prof^a Dr^a Sandra R.
Masetto Antunes.

1.Biomassa. 2.Energia renovável.
3.Poder calorífico. I.Weirich Neto, Pedro
Henrique. II. Antunes, Sandra R. Masetto.
III. Universidade Estadual de Ponta
Grossa. Mestrado em Bioenergia. IV. T.

CDD: 661.8



TERMO DE APROVAÇÃO

TAMMY SCARLETT SALES ROSA

**POTENCIAL ENERGÉTICO DA *EICHHORNIA CRASSIPES* (AGUAPÉ)
E *PISTIA STRATIOTES* (ALFACE D'ÁGUA)**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual de Ponta Grossa,
área de concentração em Biocombustíveis.

Ponta Grossa, 14 de setembro de 2016.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto
Doutor em Engenharia Agrícola
Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG/PR)

Profa. Dra. Maria Elena Payret Arrua
Doutora em Química Orgânica
Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG/PR)

Prof. Dr. Hevandro Colonhese Delalibera
Doutor em Agronomia
Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR/PR)

Dedico este trabalho a minha família e
amigos pela ajuda, incentivo e paciência

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de estudar e de aprender.

Aos meus pais Ataliba e Maria e a minha irmã Tabitha por todo amor, carinho, apoio e auxílio, pelos esforços para me ajudar a alcançar tudo que almejo e por confiarem na minha capacidade, sem vocês não teria chegado tão longe.

Ao meu orientador professor Pedro pela orientação, ajuda e paciência, durante o desenvolvimento da pesquisa, muito obrigada.

À professora Sandra pela coorientação, muito obrigada.

À Professora Gilmara da Unicentro - Campus Irati pelo empréstimo do Calorímetro, além de tirar minhas dúvidas com relação ao uso do equipamento.

À professora Rosângela Tardivo, pelo fornecimento de material para pesquisa e pela identificação da espécie estudada.

À minha amiga, Eliane Santos por me ajudar no meu projeto, nas pesquisas a campo, muito obrigada você foi fundamental no meu trabalho.

Ao Yugo Funaki e Bruno pela ajuda em campo.

Aos meus amigos do LAMA: Lorena Milock, Matheus Correia e Rafaela Faber que me ajudaram na coleta e limpeza das plantas, montagem de equipamento e análise química, vocês foram fundamentais no meu trabalho, muito obrigada.

Ao meu amigo Junior Castagnolli, pela ajuda nas análises químicas no laboratório de química.

Aos meus amigos Hector e Aline Iankovski e Tamires Oliveira pela ajuda no gráfico

À minha amiga Sheilla Leick pelo apoio e amizade.

Ao Valdeci pelo empréstimo do laboratório de físico-química para a realização das minhas análises.

Ao seu Osmar e a Dona Márcia por me deixarem fazer as coletas em sua propriedade, além de me fornecerem o tanque para a pesquisa.

Ao LAMA – Laboratório de Mecanização Agrícola, pelo fornecimento dos materiais utilizados e transporte.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

E a todos que de alguma forma me ajudaram a vencer mais esta etapa.

“Confie em si mesmo, quem acredita sempre
alcança.”
(Renato Russo)

RESUMO

Grande parte do consumo energético do mundo é proveniente de fontes não renováveis de energia, ou seja, sua formação na natureza ocorre em um tempo maior do que o seu consumo, sendo passíveis de esgotamento e causando impactos negativos na sua utilização. Fontes alternativas se fazem necessárias. O uso de biomassa como material combustível é muito utilizado e aparece como principal substituto dos combustíveis fósseis. Portanto este trabalho teve como objetivo, avaliar potencial energético das macrófitas *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface d'água) existentes na região dos Campos Gerais, município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Para avaliação realizou-se dimensionamento gravimétrico, análise de crescimento, análise imediata e determinação do poder calorífico. As macrófitas aguapé e alface d'água apresentaram potencial energético intermediário quando comparadas as biomassas hoje estudadas. A análise imediata apresentou valores não satisfatórios quando comparados a biomassa já utilizada. Para o poder calorífico superior os valores foram médios e para a produtividade da massa seca os valores foram semelhantes às biomassas já utilizadas. O aguapé mostrou valores característicos superiores a alface d'água.

Palavras-chave: Biomassa. Energia renovável. Poder calorífico.

ABSTRACT

Most of the energy consumption in the world comes from non-renewable sources of energy, the main information occurs in nature in a longer time than their consumption and subject of depletion causing negative impacts in its use. Alternative sources are necessary. The use of biomass as fuel material, is widely used and appears as the main substitute for fossil fuels. The purpose of this work is to evaluate the energy potential of macrofitas *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Pistia stratiotes* (water lettuce) existing in the region of Campos Gerais, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Assessment took place gravimetric design, analysis growth, immediate analysis and determination of the calorific value. The macrophyte water hyacinth and water lettuce showed intermediate energy potential compared biomasses studied today. Immediate analysis did not show satisfactory values when compared to biomass already used. For higher calorific values the average and the productivity of the dry mass values were similar to biomasses already used. The water hyacinth showed characteristic values about water lettuce.

Keywords: Biomass. Renewable energy. Calorific value.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	- Macrófitas flutuantes.....	15
FIGURA 2	- Proliferação de macrófita, em tanque no distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.....	16
FIGURA 3	- Aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>) em lago artificial na área rural no município de Reserva, Brasil.....	22
FIGURA 4	- Floração de aguapé em lago artificial na área rural de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.....	23
FIGURA 5	- Alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>) em tanque artificial na área rural de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.....	24
FIGURA 6	- Alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>) em tanque artificial na área rural de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.....	24
FIGURA 7	- Coleta de aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>) e alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>) em tanque em área rural na região de Itaiacoca-PR visando determinação de massa seca.....	27
FIGURA 8	- Separação e limpeza das amostras aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	27
FIGURA 9	- Limpeza, corpo d'água vazio.....	28
FIGURA 10	- Dez dias após preenchimento com água, implantação das espécies.....	28
FIGURA 11	- Construção do grid para acompanhamento do crescimento das macrófitas	28
FIGURA 12	- Bomba Calorimétrica (digital IKA C200).....	30
FIGURA 13	- Médias semanais das temperaturas mínima, médias e máximas do ar durante a análise de crescimento aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>) e alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>).....	33
FIGURA 14	- Mapeamento da área preenchida com Aguapé e alface d'água no dia 19/09/2015.....	34
FIGURA 15	- Mapeamento da área preenchida com Aguapé e alface d'água no dia 19/02/2016.....	34
FIGURA 16	- Crescimento relativo de área e curva ajustada para o aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>), Ponta Grossa, Paraná.....	35
FIGURA 17	- Crescimento relativo de área e curva ajustada para o alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>), Ponta Grossa, Paraná.....	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- Poder calorífico superior de biomassas.....	20
TABELA 2	-Valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação de massa seca de aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>). Ponta Grossa – PR.....	31
TABELA 3	-Valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação de massa seca do alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>). Ponta Grossa – PR.....	32
TABELA 4	-Massa seca por área do aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>), alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>), algumas biomassas utilizadas como fonte energética e algumas biomassas alternativas.....	37
TABELA 5	- Média e coeficiente de variação do teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>), Ponta Grossa, Paraná.....	39
TABELA 6	- Média e coeficiente de variação do teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>), Ponta Grossa, Paraná.....	40
TABELA 7	-Teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de <i>Eichhornia crassipes</i> e <i>Pistia stratiotes</i> e outros materiais utilizados e com estudos para aproveitamento energético.....	42
TABELA 8	- Poder calorífico superior para componentes botânicos, da planta e coeficiente de variação do aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	44
TABELA 9	- Poder calorífico superior de componentes botânicos, da planta e coeficiente de variação da alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>).....	44
TABELA 10	- Comparação do Poder Calorífico Superior do aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>) e da alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>) com outras fontes.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.1.1	Objetivos específicos.....	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1	MACRÓFITAS AQUÁTICAS.....	13
3.1.1	Histórico taxonômico.....	13
3.1.2	Ocorrência geográfica e crescimento de macrófitas.....	14
3.1.3.	Importância biológica.....	16
3.1.3.1	Macrófitas como fitorremediadoras.....	17
3.2	POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA.....	17
3.2.1	Estrutura de Biomassa.....	17
3.2.1.1	Caracterização da biomassa.....	18
3.2.2	Poder Calorífico.....	19
3.2.2.1	Determinação do Poder Calorífico.....	21
3.3	CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS.....	21
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1	LOCAL.....	26
4.2	COLETA DE ESPÉCIES.....	26
4.3	ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	27
4.4	ANÁLISE IMEDIATA DA BIOMASSA.....	29
4.4.1	Determinação do teor de materiais voláteis.....	29
4.4.2	Determinação do teor de cinzas.....	29
4.4.3	Determinação de carbono fixo.....	30
4.5	DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO.....	30

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	DIMENSIONAMENTO GRAVIMÉTRICO.....	31
5.2	ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	32
5.3	ANÁLISE IMEDIATA.....	38
5.4	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS).....	43
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
6	CONCLUSÕES.....	48
7	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o eventual esgotamento das reservas e o preço do petróleo são determinantes no crescimento econômico de uma nação. A pesquisa e o incentivo às energias alternativas apresentam perspectivas frente a esses problemas, pois na sua maioria se originam de fontes naturais, sendo mais sustentáveis e podem mitigar os impactos ambientais.

A busca por alternativas energéticas ocupa lugar de destaque na agenda mundial, fato já discutido em grandes eventos (Rio+20, por exemplo), cujas propostas são soluções visando o desenvolvimento sustentável (BRAGA e BRAGA, 2012), o qual pode ser alcançado pela integração adequada de atividades de desenvolvimento ambiental, econômico e social. A importância ambiental do desenvolvimento sustentável também pode ser compreendida na declaração feita no Rio de Janeiro sobre ambiente e desenvolvimento denominado Agenda 21, a qual foi adotada pela Conferência das Nações Unidas (CHOWDHURY, 2012).

A agenda 21 deixa claro a demanda por energia “limpas” e alternativas ao fóssil. A energia originada de biomassa ganha destaque como fonte renovável de energia, pela preocupação com as mudanças ambientais e climáticas, bem como pelo impacto da última crise energética, que ocorreu no período de 2007 a 2008 (MIURA et al., 2011). A biomassa pode ser definida como matéria orgânica originada da exploração agropecuária (animal e vegetal), florestal ou ainda resíduos agropecuários, florestais e industriais (SIMS, 2002; BRASIL, 2006).

Além de importância econômica e ambiental, a energia de biomassa pode assumir importância social, pois pode ser produzida em sistemas de produção familiar e cultivos empresariais, fomentar o setor agrícola, aumentar geração de empregos e contribuir para a segurança energética (MIURA et al., 2011).

A biomassa pode ser utilizada diretamente em processos térmicos ou transformada em outras formas de energia. Um requisito básico para utilização de biomassa como fonte energética é a produção de massa seca. Neste quesito, as macrófitas aquáticas se destacam, com altas taxas de crescimento e elevada capacidade de estocagem de nutrientes. Essas características as tornam potencialmente atrativas do ponto de vista econômico (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006).

Entre as espécies de macrófitas, a *Eichhornia crassipes*, popularmente conhecida como Aguapé, nativa da América do Sul, possui um elevado crescimento vegetativo, ou seja,

grande quantidade de biomassa (HOLANDA, 2010). Seu crescimento descontrolado pode causar sérios problemas ao meio ambiente como a redução da penetração de luz em ambientes aquáticos, interferindo na oxigenação do ambiente afetando desenvolvimento de organismos e algas aquáticas, dificulta a geração de energia (entupimento de turbina), a navegação fluvial e a pesca, requerendo gastos com o seu controle (TARAWOU; HORSFALL e VICENTE, 2007, TIWARI; DIXIT e VERMA, 2007, ZHENG et al., 2009). Porém, devido a sua importância ecológica, é a macrófita mais estudada. Serve de abrigo e alimento para animais aquáticos. Além disso, tem a capacidade de remover metais pesados, nutrientes e sedimentos da água (POTT e POTT, 2000, MARTINS, 2009). É constituída de celulose, lignina e hemicelulose, o que explica sua capacidade bioadsorvente (ZHOU et al., 2009).

A espécie *Pistia stratiotes* conhecida como Alface d água vem sendo utilizada na remoção de nitrogênio(N) fósforo(P) e sólidos suspensos na água para o melhoramento na qualidade dos sistemas aquáticos (LU et al., 2010) e no tratamento de esgoto urbano devido a sua taxa de crescimento (ZIMMELS; KIRZHNER e MALKOVSKAJA, 2006), demonstrando seu uso como fitorremediadora pela sua capacidade de absorção e acúmulo de poluentes (SKINNER; WRIGHT e PORTER-GOFF, 2007). Os maiores prejuízos decorrentes de sua expansão ocorrem em mananciais poluídos e áreas com temperatura mais elevada, tendo como contribuição para seu desenvolvimento a eutrofização e o aquecimento global (LORENZI, 1982; CANCIAN; CAMARGO e SILVA, 2009).

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial energético de macrófitas existentes na Região dos Campos Gerais do Paraná, Brasil.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar o potencial energético da *Eichhornia crassipes* e da *Pistia stratiotes* existentes na região Campos Gerais do Paraná, Brasil.

2.1.1 Objetivos específicos

- Determinar taxa de crescimento das macrófitas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*
- Realizar análise imediata das macrófitas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*.
- Determinar poder calorífico das macrófitas *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MACRÓFITAS AQUÁTICAS

3.1.1 Histórico taxonômico

A caracterização das macrófitas aquáticas é determinada pelas funções exercidas, tendo como resultado diversas definições para essa classe vegetal. Por exemplo, no século passado, os botânicos denominavam estas plantas aquáticas de traqueófitas aquáticas (ESTEVES, 1988).

Nas reflexões apresentadas por Esteves (1988) foram mencionados: o conceito de Iversen (1936) que propôs o termo limnófitos para os vegetais superiores de água doce. Logo após, aparece o conceito Weaner e Clements (1938), os quais foram os primeiros a mencionar o termo macrófitas aquáticas, para nomear plantas herbáceas que se desenvolvem em água e em solos os quais suas raízes se encontram fixas, porém cobertas pela água. Além desses autores, existe ainda a definição de Sculthorpe (1967), que usou a terminologia hidrófita para qualificar vegetais aquáticos visíveis a olho nu, a qual abrange as angiospermas, criptógamas e pteridófitas. A definição de Cook (1974) também foi citada onde as macrófitas seriam plantas visíveis a olho nu e que possuem porções ativas fotossinteticamente submersas ou imersas.

Definições mais atuais conceituam macrófitas como vegetais que habitam desde banhados até ambientes submersos, incluindo desde as macroalgas até as plantas vasculares, podendo ser flutuantes, livres ou enraizadas (LIMA, 2005). Representam um grande número de organismos como as algas talóides e plantas com flores que crescem em águas costeiras, salobras e estuários (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

São vegetais terrestres que sofreram alterações adaptativas, durante sua evolução, podendo colonizar vários ambientes como cachoeiras, lagos, lagoas, represas, rios e zonas úmidas. Possui ampla capacidade de adaptação e amplitude ecológica, circunstância que possibilita que espécies iguais colonizem diferentes tipos de ambientes (ESTEVES, 1988).

3.1.2 Ocorrência geográfica e crescimento de macrófitas

As macrófitas colonizam a maioria dos ecossistemas aquáticos lênticos e lóticos. Sua distribuição se caracteriza pela dispersão feita por aves e peixes que habitam ambientes distintos, além de apresentarem alta capacidade de reprodução. A colonização de vastas áreas são favorecidas pelas altas taxas de produção primária e pelo rápido crescimento populacional, geralmente afetando os usos dos ecossistemas aquáticos (THOMAZ, 2002).

Independente da taxonomia ou da diversidade filogenética, esses vegetais aquáticos apresentam uma forma biológica ou uma classificação demonstrando adaptação ao meio aquático (ALVES; TAVARES e TREVISAN, 2011).

Quanto ao seu biotipo, são diferenciadas em sua classificação pela sua composição química e são descritas conforme a maneira como crescem em relação ao substrato e a água (SCHWANKE, 2013), (Figura1), sendo assim, os principais grupos de macrófitas aquáticas são:

- a) macrófitas aquáticas emersas: são plantas com folhas fora da água e enraizadas no sedimento, ex: *Typhapontederia*, *Echinodorus* spp e *Eleocharis* spp dentre outras (ESTEVES, 1988);
- b) macrófitas com folhas flutuantes: são plantas que apresentam suas folhas flutuando na superfície da água e são enraizadas no sedimento, ex: *Nymphaea* spp, *Vitoria* spp e *Nymphoides* spp (ESTEVES, 1988);
- c) macrófitas aquáticas submersas enraizadas: também enraizadas no sedimento, são plantas que crescem totalmente submersas na água, podendo crescer até 11m de profundidade, dependendo da luz disponível e a grande maioria deste grupo apresenta seus órgãos reprodutivos aéreos ou flutuando na superfície, ex: *Elodea* spp, *Egeria* spp e *Hydrillas* spp dentre outras (ESTEVES, 1988);
- d) macrófitas aquáticas submersas livres: são plantas que permanecem flutuando submergidas na água em locais de pouca turbulência e apresentam rizóides pouco desenvolvidos. Ficam presas nos caules das macrófitas emersas e aos talos e pecíolos de macrófitas de folhas flutuantes. Porém durante seu período reprodutivo emitem flores emersas, ex: *Utricularia* spp e *Ceratophyllum* spp (ESTEVES, 1988);

e) macrófitas aquáticas flutuantes: plantas que flutuam na superfície da água. Seu desenvolvimento ocorre em locais abrigados pelo vento, ex: *Eichhornia crassipes*, *Salvinia*, *Pistia*, *Lemna* spp e *Azolla* spp (ESTEVES, 1988).

É frequente o crescimento de macrófitas com folhas e macrófitas submersas entre as emersas, pois neste caso fatores ambientais como o vento e a turbidez da água favorecem o crescimento heterogêneo destes diferentes grupos ecológicos (ESTEVES, 1988).

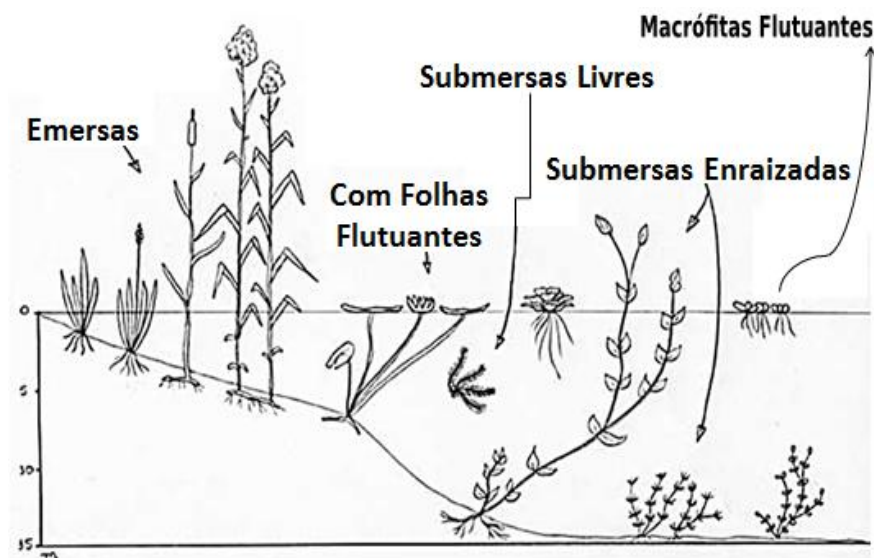


FIGURA 1- Macrófitas flutuantes (adaptado de ESTEVES, 1988)

As alterações provocadas pelas atividades humanas, como eutrofização artificial e modificações no ecossistema aquático, criam condições favoráveis para seu desenvolvimento, pois proporcionaram elevadas concentrações de nutrientes na água, como nitrogênio e fósforo, favorecendo o crescimento e a proliferação desses vegetais aquáticos (THOMAZ e BINI, 2003; PISTORI, 2009) (Figura 2).

A dinâmica de seu crescimento e a distribuição espacial na lâmina da água atinge grandes extensões, o que promove a diminuição de infiltração luminosa e trocas gasosas em regiões superficiais entre o meio aquático e a atmosfera, em paralelo, ocorre a absorção de nutrientes disponíveis, resultando em ambientes oligotróficos (THOMAZ, 2002).

As macrófitas se desenvolvem em ambiente com matéria orgânica, além de criar um substrato importante para invertebrados aquáticos e algas perifíticas (TUNDISI e TUNDISI, 2008). As plantas submersas enriquecem, pela fotossíntese, a oxigenação da água durante o

dia, mas a noite, a respiração diminui os níveis de oxigênio, podendo causar a morte de peixes (CARVALHO; VELINI e MARTINS, 2005).

O nível de influência das macrófitas em sistemas aquáticos é proporcional a biomassa, depende de fatores físicos e químicos do ambiente (concentrações de fósforo e outros nutrientes, temperatura, turbidez, PH, dentre outros). A proliferação dessas plantas pode causar danos aos usos dos recursos hídricos, como o bloqueio de canais de irrigação, prejuízo às atividades de recreação, navegação e diminuição da geração de energia elétrica (THOMAZ e BINI, 2003).



FIGURA 2- Proliferação de macrófita, em tanque no distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.

3.1.3 Importância biológica

As macrófitas interferem nas características físicas, químicas e biológicas da água, e são importantes bioindicadoras de qualidade da água em ambientes lóticos e lênticos, uma vez que, seu crescimento está relacionado com as condições de trofia dos corpos aquáticos, sendo, portanto, uma resposta do corpo hídrico as essas características (THOMAZ e BINI, 2003).

As macrófitas apresentam papel importante nos ciclos biogeoquímicos. Seu crescimento e proliferação produz grande quantidade de biomassa, a qual acelera a liberação de fósforo, nitrogênio e matéria particulada para o sedimento e para a água ao se decompor, ativando os ciclos biogeoquímicos dos seguintes elementos: carbono, nitrogênio e fósforo, ficando disponíveis para organismos de produção primária como os perífitons e fitoplânctons (TUNDISI e TUNDISI, 2008).

3.1.3.1 Macrófitas como fitorremediadoras

Lagos e rios vêm sendo poluídos por metais pesados, devido a sua capacidade de bioacumulação e toxicidade, Pb, Cd, Cr, Zn e Cu são os principais poluentes. Sua dispersão ocorre por resíduos domésticos, agrícolas, industriais, esgotos urbanos, pesticidas, resíduos de mineração e de curtumes (VARDANYAN e INGOLLE, 2006).

A fitorremediação é uma técnica que utiliza plantas para extração de contaminantes em ecossistemas aquáticos e solos. O uso dessa tecnologia depende da identificação de plantas hiperacumuladoras (GRATÃO et al., 2005), como a macrófita aquática *Salvinia* sp que pode ser utilizada para fitorremediação (WOLFF et al., 2009). Além dessa macrófita flutuante, as submersas também têm a capacidade de absorver os metais pesados (WANGA, et al., 2014). A espécie *Eichhornia crassipes* (aguapé) vem sendo aplicada em tratamento de efluentes agropecuário e industrial e na aquicultura. Também é recomendada no tratamento da água utilizada em sistemas de cultivo de peixes (SILVA et al., 2014). Sua capacidade de absorção de nutrientes, alta taxa de produção de biomassa, tolerância aos metais pesados e a poluição, a recomendam para utilização em lagoas de tratamento de águas residuais (PRIYA e SELVAN, 2014).

Entre as técnicas para o tratamento de águas residuárias com alta carga de material orgânico, destaca-se os sistemas alagados construídos (SACs) ou “constructed wetlands”: são reservatórios preenchidos com materiais porosos, com alta condutividade hidráulica, que servem de suporte para a criação das macrófitas. Este tipo de tratamento apresenta baixo custo de implantação e de operação (PRATA et al., 2013; ZACARKIM et al., 2014).

3.2 POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA

3.2.1 Estrutura de biomassa

A demanda de energia tem aumentado continuamente devido ao aumento industrial e populacional. Isto reflete direto no consumo de carvão vegetal, gás natural e petróleo, porém esta combustão contribui na produção dos gases do efeito estufa, favorecendo as alterações climáticas e perda de biodiversidade entre outros (NIGAM e SINGH, 2011).

Novas fontes de energia renováveis de baixo custo e menor emissão de gases poluentes têm sido estudadas. A biomassa é abundante e pode ser ambientalmente,

economicamente e socialmente viável como alternativa para diminuição no uso e/ou substituição dos combustíveis fósseis (ZHANG et al., 2012; WIGGERS et al., 2009).

Sendo assim, a biomassa é definida como matéria orgânica de origem (vegetal ou animal) que pode ser utilizada na produção de energia. É um hidrocarboneto que difere dos combustíveis fósseis pela presença de átomos de oxigênio em sua composição química. Sendo assim, requer menos oxigênio do ar, tornando-se menos poluente, porém disponibiliza menor energia, representada pelo menor Poder Calorífico Superior (BARRETO et al., 2008).

Quando as ligações entre as moléculas de carbono, oxigênio e hidrogênio são quebradas pela combustão, decomposição ou digestão liberam a energia química armazenada. O uso de biomassa como matéria prima de conversão depende das propriedades físicas e químicas das moléculas (MCKENDRY, 2002).

A energia presente na biomassa pode ser transformada em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos pelos processos de conversão físicos químicos, biológicos e termoquímicos, tendo como objetivo transformar um material de baixa eficiência energética em um de eficiência viável economicamente (AÇMA, 2003).

A produção do setor agrícola tem aumentado muito nos últimos anos, aumentando excedentes, tanto a nível de subprodutos com coprodutos. Outro fator positivo é o crescente avanço da tecnologia na conversão energética, diminuindo custo e aumentando eficiência em conversão (MCKENDRY, 2002). A biomassa é responsável por 14% da energia mundial utilizada (ERTAS e ALMA, 2010, ZHANG; YANG e BLASIAK, 2012)

3.2.1.1 Caracterização da biomassa

Os principais componentes da biomassa são a celulose onde seu teor varia de 40 a 50%, hemicelulose 20 a 40% e lignina,entorno de 25%, sendo assim considerada resíduo ligno-celulósico (MARTINS, 2009). Apresenta ainda quantidades diversas de produtos orgânicos e inorgânicos, responsáveis no avanço dos processos na produção de combustíveis e produtos químicos (ABBASI e ABBASI, 2010).

É determinante conhecer as propriedades físicas da biomassa para caracterizá-la energeticamente: massa específica, análise imediata (teor de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo) e poder calorífico são parâmetros importantes (VIEIRA, 2012). Estas são variáveis indiretas ou diretas que auxiliam no seu potencial.

A análise imediata quantifica os teores de umidade, voláteis e carbono fixo da biomassa (ABNT, 1986). Visando qualificar a biomassa dentro da análise imediata o conteúdo de água ou a “umidade” é a quantidade de água contida na biomassa e pode ser analisada em base úmida (bu) como em base seca (bs). O teor de umidade pode interferir tanto na condutividade elétrica como no poder calorífico inferior, pois o último diminui com o aumento da umidade (CALEGARI et al., 2005).

O teor de voláteis de uma biomassa é a massa que volatiliza no processo de aquecimento de uma amostra seca a uma temperatura aproximada de 900°C. Quando a biomassa é retirada da mufla após esse processo, restam os carbonos fixos e as cinzas. (MCKENDRY, 2002).

Conforme método sugerido, após a “combustão” os resíduos de biomassa, com amostra exposta à temperatura de aproximadamente 700°C, são considerados o teor de cinzas (NOGUEIRA e RENDEIRO, 2008). Estes materiais minerais, no processo energético são considerados subprodutos.

3.2.2 Poder calorífico

É a quantidade de calor liberada pela massa de uma substância em sua queima (combustão completa), ou seja, quanto maior o poder calorífico maior a quantidade de calor desprendido. No entanto, o calor gerado durante a combustão de biomassas diversificadas ou resíduos, pode variar de acordo com as propriedades morfológicas, físicas e químicas (ALMEIDA et al., 2010).

O poder calorífico é medido com um calorímetro ou bomba calorimétrica, a qual determina o poder calorífico superior (PCS) definido como a energia liberada pela combustão com a água dos produtos da combustão em estado líquido e o poder calorífico inferior (PCI) é a energia liberada pela combustão com a água dos produtos da combustão em estado vapor (JANNUZZI e SWISHER, 1997; ARAUJO, 2005; QUIRINO et al., 2005).

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas com biomassa vegetal, onde o potencial energético geralmente é representado pelo poder calorífico. Na Tabela 1 é demonstrado o poder calorífico superior de diversos materiais, alguns já consagrados pelo uso outros nem tanto.

TABELA 1- Poder calorífico superior de biomassa

Material	Poder calorífico superior (kJ kg ⁻¹)	Autor
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Pau jacaré)	19.455	DAMÁSIO et al. (2013)
<i>Cupressus lusitânica</i> (cipreste)		
madeira	19.292	SILVA et al. (2014)
carvão	27.421	
<i>Acacia auriculiformes</i>	18.338	MARTINS et al. (2016)
<i>Ormosia paraensis</i>	18.330	
Eucalipto		
<i>Corymbia citriodora</i>	19.238	ZANUNCIO et al. (2014)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	19.794	
(clone MN 463)		
<i>Jatropha curcas</i>		
epicarpo in natura	14.480	VALE et al. (2011)
carvão/epicarpo	16.543	
torta in natura	21.430	
carvão/torta	26.078	
Ráquis de milho	19.309	PAULA et al. (2011)
Planta de soja	18.848	
Palha de cana de açúcar	18.053	
<i>Bambusa vulgaris</i>	18.238	MOREIRA (2012)
Resíduos Sólidos Urbanos (cidade de Ponta Grossa)	20.074	GOMES (2014)
Cana de açúcar		
bagaço de cana	15.480	QUIRINO et al. (2005)
palhiço	18.171	BERTOZZO et al. (2015)

Pode ser observado na Tabela 1 que as biomassas *Piptadenia gonoacantha* (Pau jacaré), a madeira de *Cupressus lusitânica* (cipreste), o Eucalipto e o Ráquis de milho apresentam valores de PCS aproximados. Já os resíduos sólidos urbanos apresentam maior PCS e o epicarpo in natura de *Jatropha curcas* menor PCS.

3.2.2.1 Determinação do Poder Calorífico

A calorimetria é um processo que determina a variação de energia funcionando através de uma reação química a qual denomina-se calorímetro ou bomba calorimétrica que consiste em um aparelho usado para a determinação de quantidades de calor durante o desenvolvimento dos processos físicos e químicos. Contém uma câmara pequena cercada por água, sendo que a substância analisada será queimada nesta câmara na presença de excesso de oxigênio e a energia liberada é transferida para a água (COSTA, 2005; ÇENGEL e BOLES, 2013).

O cálculo de energia da substância em teste é baseado no princípio de conservação de energia medindo-se a elevação da temperatura da água. Ao queimar a substância o carbono presente é convertido em CO₂ e o hidrogênio em água (COSTA, 2005).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

A família Pontederiaceae Kunth apresenta distribuição com cerca de 10 gêneros e 30 espécies. No Brasil foram identificadas cinco gêneros e cerca de 20 espécies (SOUZA e LORENZI, 2005). O gênero *Eichhornia* apresenta seis espécies: *Eichhornia azurea*, *Eichhornia crassipes*, *Eichhornia diversifolia*, *Eichhornia heterosperma*, *Eichhornia paniculata* e *Eichhornia paradoxa*, todas são encontradas no Brasil (SILVA, 2011).

A *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth e a *Eichhornia crassipes* (mart.) solms são plantas angiospermas, perenes, suas flores são vistosas e atraem muitos insetos. Seu crescimento ocorre por propagação vegetativa, mas pode acontecer por reprodução sexuada. Algumas espécies da família Pontederiaceae são conhecidas por plantas invasoras e usadas na ornamentação (AMARAL; PELLEGRINI e SOUSA, 2013; POMPEO, 1999) sendo encontradas na América do Sul. Não são endêmicas do Brasil, mas se distribui no Brasil em todas as regiões. São encontradas, mesmo em climas mais amenos, nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (AMARAL; PELLEGRINI e SOUSA, 2013). Comportam-se

como espécies sem interesse econômico e são encontradas em lagos artificiais, rios, reservatórios e riachos.

O que difere estas duas espécies é a forma das pétalas, sendo para a *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth fimbriado-ciliadas e flutuante fixa e para a *Eichhornia crassipes* (mart.) solms pétalas inteiras e flutuante livre (SANCHES; CERVI e POTT, 2000). A taxa de crescimento anual destas plantas esta entre 40 a 140 toneladas de material seco por hectare (GUNNARSSON e PETERSEN, 2007; HARUN et al., 2011). A macrófita *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth se caracteriza como planta aquática enraizada com hastes longas e folhas flutuantes, que coloniza ambientes lênticos (PADIAL; THOMAZ e AGOSTINHO, 2009).

A espécie *Eichhornia crassipes* (mart.) solms (Figura 3) tem nomes populares aguapé, camalote, jacinto-de-água, mureré da Amazônia e lírio de água, que variam conforme região. É encontrada em regiões de clima tropical (MARTINS, 2009) e apresenta crescimento rápido, se espalhando, podendo cobrir toda a superfície de água. Sua proliferação aumenta a eutrofização e reduz a biodiversidade e a luz disponível (MARCHANTE e FREITAS, 2008). Através da evapotranspiração das folhas, pode aumentar em até oito vezes a perda de água de um corpo d' água (SOUZA e LORENZI, 2005).



FIGURA 3 – Aguapé (*Eichhornia crassipes*) em lago artificial na área rural no município de Reserva, Brasil.

A floração desta espécie se inicia em outubro e permanece por todo o verão (Figura 4), cada flor fica aberta por dois dias. Durante a senescência das flores da planta, a haste floral curva-se para dentro da água e após 18 dias, as sementes são liberadas das cápsulas para o fundo d'água, podendo permanecer viáveis por até 15 anos (GONÇALVEZ, 2006).



FIGURA 4- Floração de aguapé em lago artificial na área rural de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil

Sua biomassa é composta por 30-50% de celulose, 20-40% de hemicelulose e 15-30% de lignina. Apresenta elevado teor de nitrogênio e ao combiná-lo com dejetos animais pode ser utilizado na produção de biogás (PRIYA e SELVAN, 2014). Sua composição elementar é 2,8% de nitrogênio (N), 34,5% de carbono (C), 4,9% de hidrogênio (H), 0,0% de enxofre (S) e 45,7% de Oxigênio (O) (SANTOS, 2013).

A família Araceae possui distribuição cosmopolita, apresentando em torno de 100 gêneros e 3000 espécies. No Brasil ocorrem 35 gêneros e 400 espécies. Na economia, suas espécies destacam-se sendo utilizadas na ornamentação como a *Dieffenbachia amoena* conhecida por comigo-ninguém-pode, devido à folhagem ou pelas brácteas vistosas. Algumas plantas desta família possuem sistemas subterrâneos que acumulam amido e por isso são utilizadas na alimentação como a taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) e o inhame (*Colocasia esculenta*). As espécies flutuantes dos gêneros *Pistia* (alface d'água) e *Lemna* (lentilha d'água) são encontradas em locais com água parada e consideradas as menores angiospermas (SOUZA e LORENZI, 2005).

A *Pistia stratiotes* L., popularmente conhecida por alface d'água, flor d'água, mururê, pagé, mururé-pagé, é encontrada em regiões tropicais e subtropicais da África, das Américas e da Ásia, sendo que no Brasil ocorre em todas as regiões. É uma planta perene, lembra plantas de alface, mas suas folhas são carnosas e esponjosas; vive em água doce, corrente ou parada e pode se manter viva por algum tempo fora da água em solo encharcado (Figura 5); é uma planta de clima quente a temperado, porém não tolera geada. Por ser única espécie do gênero, é de fácil identificação (KISSMANN, 1997).

Desenvolve-se na planta uma espécie de pecíolo que apresenta aproximadamente 7cm de comprimento e 5mm de largura, crescendo na parte superior das folhas (COSTA JUNIOR, 2007).



FIGURA 5 – Alface d'água (*Pistia stratiotes*) em tanque artificial na área rural de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.

É uma espécie flutuante, regenera-se a partir de pequenas porções do talo e possui independência das estruturas sexuais de reprodução (MARTINS et al., 2002). Possui grande valor ornamental pela sua beleza, sendo usada em pequenos lagos e serve de alimento para aves aquáticas. Foi usada na alimentação humana na Índia em 1877, quando houve crise de fome no país. Tem capacidade de rápida multiplicação na água, cobrindo extensas áreas aquáticas (KISSMANN, 1997) (Figura 6).



FIGURA 6 - Alface d'água (*Pistia stratiotes*) em tanque artificial na área rural de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, Brasil.

As macrófitas são biomassas descritas de forma negativa, devido a sua proliferação em corpos d'água e apresenta alto custo para seu controle. Pesquisas quanto a remoção, aplicação de herbicidas e controle entomológico e fitopatológico tem sido estudadas, porém nenhum destes métodos se mostrou eficaz (MALIK, 2007).

O aguapé pode ser utilizado como agente descontaminante no processo de fitorremediação de rios e/ou lagos com concentração de metais pesados, no entanto, estudos revelam seu papel como poluente também (SOLTAN e RASHED, 2003). Algumas macrófitas

têm sido utilizadas na remoção de mercúrio de efluentes de mineração (SKINNER; WRIGHT e PORTER-GOFF, 2007 e ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2009).

Absorvem os nutrientes rapidamente, deixando os ecossistemas menos férteis, ocasionando um impacto negativo nestes locais. Porém esta espécie pode ser promissora como fonte de biomassa na produção de biocombustíveis devido a: baixo custo; não causa mudanças no uso da terra ou no agroecossistema para produção de biocombustíveis; não competem com recursos alimentícios e traz balanço positivo na saúde do ecossistema (BERGIER et al., 2012).

Atualmente com aumento do número de doenças transmitidas por mosquitos pode trazer preocupação, já foram identificados como abrigo de vetores de doenças como mosquitos transmissores de encefalite, filariose e malária (KISSMANN, 1997).

A utilização do aguapé como método de controle de poluição, tanto físico, químico ou biológico resolvem o problema a curto prazo, mas com custo elevado. Devido ao seu rápido crescimento e baixo teor de lignina, estas plantas podem ser vistas como fonte promissora de biomassa para a conversão em biocombustíveis a partir de processos termoquímicos (SANTOS 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL

O trabalho foi desenvolvido no distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, onde parte da região está localizada ao norte do Primeiro Planalto, outra na Escarpa Devoniana e outra no Segundo Planalto (MAACK, 1981).

Foram coletadas espécies de macrófitas em tanque artificial escavado, de fluxo contínuo, com nível controlado, utilizado para piscicultura amadora, na chácara Rio Guarituba, localizada na área rural denominada Cerrado Grande, distrito de Itaiacoca, Ponta Grossa, Paraná. Com coordenadas UTM 615249,00 m E, 7219495,00 m S, quadricula 22J e altitude de 805 m.

O clima predominante é Cfb, mesotérmico (subtropical e temperado), sempre úmido (sem estação seca definida) com verões amenos, sendo a média de temperatura nos meses mais quentes inferior a 22° C, apresentando no inverno geadas frequentes (SMA, 2015).

Pela existência de duas espécies de aguapé do gênero *Eichhornia* (*Eichhornia crassipes* e a *Eichhornia azurea*) na região, foi coletada amostra de aguapé da área de estudo, na qual realizou-se procedimento para identificação através de exsicata.

A amostra pertence à família Pontederiaceae Kunth do gênero *Eichhornia*, identificada como *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms sendo registrada sob o número 21.485 no herbário da UEPG.

A alface d'água por possuir apenas um gênero conhecido por *Pistia stratiotes* não foi necessário realizar a identificação.

4.2 COLETA DE ESPÉCIES

Para as coletas, confeccionou-se armação de aço quadrada, 20x20cm, conforme (Figura 7). Esta era arremessada aleatoriamente em área com a presença de aguapé ou de alface d'água.



FIGURA 7- Coleta de aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*) em tanque em área rural na região de Itaiacoca-PR visando determinação de massa seca

Toda a massa vegetal interna a armação foi coletada em sacos e processada em laboratório. Este material foi seco a sombra até perder excesso de água.

Após dividiu-se, para o aguapé, o material em folha, caule e raiz (Figura 8) e para a alface em folha e parte submersa (caule e raiz).



FIGURA 8 - Separação e limpeza das amostras aguapé (*Eichhornia crassipes*)

Após este procedimento todo o material foi colocado em estufa de ar forçado (Marconi- Modelo MA035) a 40° C até massa constante. A massa foi determinada em balança (Bioprecisa- Modelo BS 3000A). Foram coletadas 6 amostras para cada espécie.

4.3 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Visando dimensionar potencial produtivo das espécies, realizou-se a limpeza do corpo d'água. Para tal esgotou-se o referido corpo d'água e retiraram-se todas as macrófitas. Logo após foi novamente preenchido com água (Figura 9). Após dez dias com água, em nova

vista fez-se a implantação das espécies de aguapé e alface d'água em lados opostos do tanque (Figura 10). O acompanhamento foi iniciado 20 dias após esta visita.



FIGURA 9 - Limpeza, corpo d'água vazio



FIGURA 10 - Dez dias após preenchimento com água, implantação das espécies.

Para melhor acompanhamento do crescimento das macrófitas foi construído sistema de coordenadas no tanque. O qual foi desenvolvido com estacas e fios de nylon, formando um grid para que pudesse ser fotografado. O grid foi realizado de forma que cada intersecção entre os fios ocorresse a cada dois metros (Figura 11).

Visando o mesmo processo, demarcou-se um ponto, do qual fosse possível visualização de todo o corpo d'água. Este ponto foi demarcado e utilizado como referência para as tomadas fotográficas de avaliação do crescimento.

Foram feitas 7 imagens da área experimental conforme as datas a seguir: 19/09, 28/11, 06/01, 26/01, 08/02, 13/02 e 19/02. A máquina utilizada foi uma NIKON D 3.100 de 14.2 MP.



FIGURA 11 - Construção do grid para acompanhamento do crescimento das macrófitas

De posse das fotografias, estas foram, preliminarmente, trabalhadas com programa Inkscape v.0.91, para utilização em programa computacional tipo Sistema de Informação

Georreferenciadas (SIG). Em ambiente SIG, utilizando o programa ArcGis v.10.2, foi corrigido o sistema de coordenadas, respeitando as medidas do grid (georreferenciado). Em seguida foi vetorizado a delimitação do tanque e feita a avaliação de aspectos das fotografias tais como: cor, forma e textura, o que tornou possível a classificação da cobertura superficial da lâmina da água do tanque em aguapé, alface d'água e água.

4.4 ANÁLISE IMEDIATA DA BIOMASSA

Nesta etapa foi determinado, em triplicata, o conteúdo de materiais voláteis, de carbono fixo e de cinzas conforme a norma NBR 8112 (ABNT, 1986). As amostras de cada espécie, previamente secas em estufa de ar forçado (Marconi- Modelo MA 035) a 40° C por 6 dias, foram trituradas em moinho de facas, LV - Tecnale classificadas em peneira com abertura da malha de 0,355mm e 0,247mm de diâmetro de 42 mesh, Bertel.

4.4.1 Determinação do teor de materiais voláteis

Para determinação de materiais voláteis foi pesado 1g de amostra, em balança analítica Schimadzu, modelo AUY 220. Estas foram colocadas em cadinho de porcelana, tampadas e colocadas em mufla, marca Quimis, modelo Q. 318 D, previamente aquecida a 900°C, sendo retirada após 10 minutos (ABNT, 1986). Depois de esfriada em dessecador foi determinada massa final da amostra. A razão desta pela massa inicial é a massa relativa de materiais voláteis da amostra.

4.4.2 Determinação do teor de cinzas

Para determinação de cinzas, foi pesado 1g da amostra, em balança analítica Schimadzu, modelo AUY 220. Esta foi colocada em cadinho de porcelana, sem tampa e colocados em mufla, marca Quimis, modelo Q. 318 D, previamente aquecida a 700°C, sendo retiradas após 6 horas (ABNT, 1986). Após, esfriadas em dessecador foi determinada massa final da amostra. A razão desta pela massa inicial é a massa relativa de cinzas da amostra.

4.4.3 Determinação de carbono fixo

O carbono fixo é determinado pela diferença da massa inicial e a soma da massa de materiais voláteis e a massa de cinzas. A razão desta pela massa inicial e a massa relativa de carbono fixo da amostra.

4.5 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

Para determinação do poder calorífico superior (PCS), foi utilizada bomba calorimétrica digital, marca IKA, modelo C200 (Figura 12).



FIGURA 12- Bomba Calorimétrica (digital IKA C200)

As amostras com massa seca foram maceradas e classificadas em peneira de 42 mesh de acordo com a NBR 8633 (ABNT, 1984). Pesou-se 0,2g da amostra em balança analítica, marca Marte, modelo AL500. Colocou-se a amostra em cilindro metálico componente da bomba calorimétrica, fechado e carregado lentamente com oxigênio à pressão de 30 MPa, em seguida conduziu-se a amostra para a bomba calorimétrica preenchida com 2,5L de água.

A ativação da bomba ocorreu a uma temperatura de 24°C, medida no início do processo e após 8 minutos, determina-se o poder calorífico superior dado em kJ kg^{-1} . As análises foram realizadas em triplicata.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DIMENSIONAMENTO GRAVIMÉTRICO

Valores médios e de dispersão da massa seca, conforme divisões entre folha, caule e raiz das plantas de Aguapé (*Eichhornia crassipes*) por área são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2- Valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação de massa seca de aguapé (*Eichhornia crassipes*). Ponta Grossa – PR

Amostra	Máxima (kg ha ⁻¹)	Mínima (kg ha ⁻¹)	Média (kg ha ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)
Folha	2.695	1.152	1.751	30
Caule	6.890	3.225	4.433	33
Raiz	2.741	870	1.866	39
Planta	12.326	5.247	8.050	

A parte aérea (folha e caule) da cultura do aguapé apresenta valores bem maiores de massa seca que a parte submersa (raiz), embora tal divisão seja mais acadêmica que prática, pois no caso da colheita, as máquinas disponíveis coletam todo o material. O procedimento de colheita é recolher todo o material sem corte ou divisão entre as separações morfoanatômicas apresentadas.

O coeficiente de variação é uma medida usada para estimar a precisão dos valores experimentais, o qual representa o desvio padrão expresso como porcentagem da média. Sendo mais preciso o experimento com menor coeficiente de variação (MOHALLEM et al.,2008).

Nos experimentos a campo, se o coeficiente de variação for menor que 10% é considerado baixo, ou seja, tem alta precisão, de 10% a 20% são considerados médios e de boa precisão, de 20% a 30% alto com baixa precisão e acima de 30% muito alto. Porém neste caso não está sendo levado em conta a cultura estudada (GOMES,2000).

Analisando-se a tabela 2, observa-se que a folha apresenta menor coeficiente de variação quando comparado ao caule e a raiz, porém se levarmos em conta a descrição de Gomes (2000), esta apresenta alto coeficiente de variação, ou seja, baixa precisão.

Os valores de massa seca foram determinados para que em conjunto com a taxa de crescimento tenha-se rendimento temporal e possibilidade de comparação com outras culturas.

Valores médios e de dispersão da massa seca, conforme divisões entre folha e parte submersa das plantas de alface d'água (*Pistia stratiotes*) por área, são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3- Valores mínimo, máximo, média e coeficiente de variação de massa seca do alface d'água (*Pistia stratiotes*). Ponta Grossa – PR.

Amostra	Máxima (kg ha ⁻¹)	Mínima (kg ha ⁻¹)	Média (kg ha ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)
Folha	4.090	1.936	2.774	25
Parte submersa	5.132	918	2.810	67
Planta	9.222	2.854	5.584	

A parte submersa da cultura do alface d'água apresenta valor máximo maior e valor mínimo menor de massa seca que a folha, embora tal divisão seja mais acadêmica que prática, pois no caso da colheita, as máquinas disponíveis coletam todo o material. O procedimento de colheita é recolher todo o material sem corte ou divisão entre as separações morfoanatômicas apresentadas.

A folha apresenta menor coeficiente de variação quando comparada a parte submersa da alface d'água, mas levando-se em conta a descrição de Gomes (2000) esta possui alto cv, sendo baixa precisão, o mesmo ocorre com a parte submersa, porém ela está bem acima de 30% apresentando um coeficiente de variação muito alto.

5.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

O crescimento em área (bidimensional) das macrófitas aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*) foram acompanhados por 153 dias, onde foram realizadas sete determinações (imagens fotográficas). As temperaturas observadas no período são disponibilizadas na Figura 13.

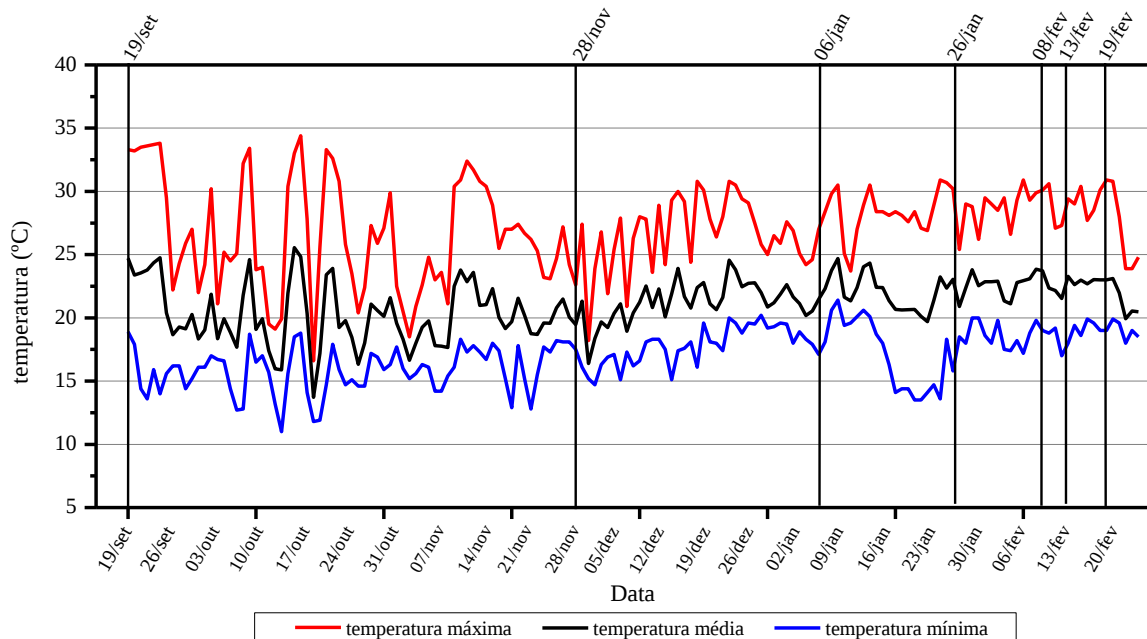


FIGURA 13 – Médias semanais das temperaturas mínima, médias e máximas do ar durante a análise de crescimento aguapé (*Eichhornia crassipes*) e alface d'água (*Pistia stratiotes*). Estação meteorológica do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar) de Ponta Grossa

Fica evidente a caracterização de clima Cfb, com temperaturas médias em torno de 20 °C. Observa-se também que a temperatura, representado principalmente pela temperatura máxima e média, tende a aumentar gradativamente conforme avanço temporal do experimento. Neste caso, com aumento de temperaturas desta magnitude espera-se maior crescimento das macrófitas estudadas (Figura 13).

Após feita a delimitação do tanque e a captura de imagens foi realizada a avaliação da área ocupada por cada macrófita nas datas especificadas.

Na Figura 14 representa-se, processada com classificação manual, das duas macrófitas no dia 19 de Setembro primeira foto (análise).

Na Figura 15 representa-se, processada com classificação manual, a área ocupada pelas duas macrófitas no dia 19 de fevereiro, dia da última análise. Observando-se as Figuras 14 e 15 fica fácil visualizar a expansão das macrófitas.

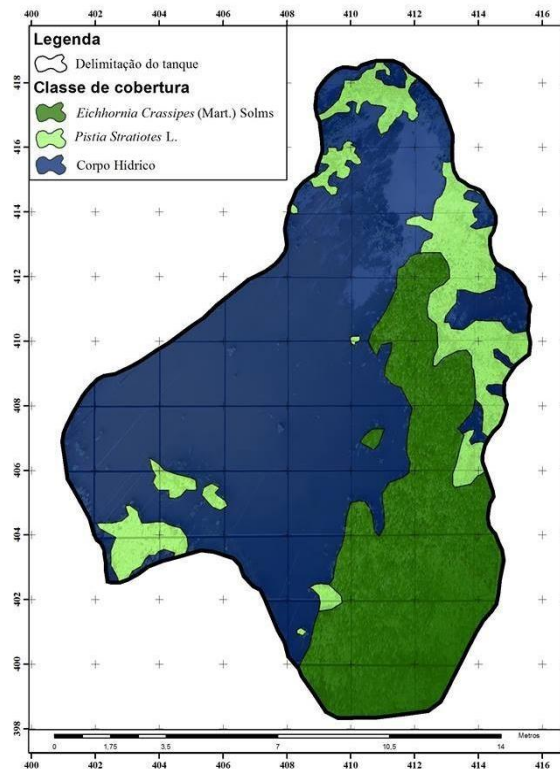


FIGURA 14 - Mapeamento da área preenchida com Aguapé e alface d' água no dia 19/09/2015

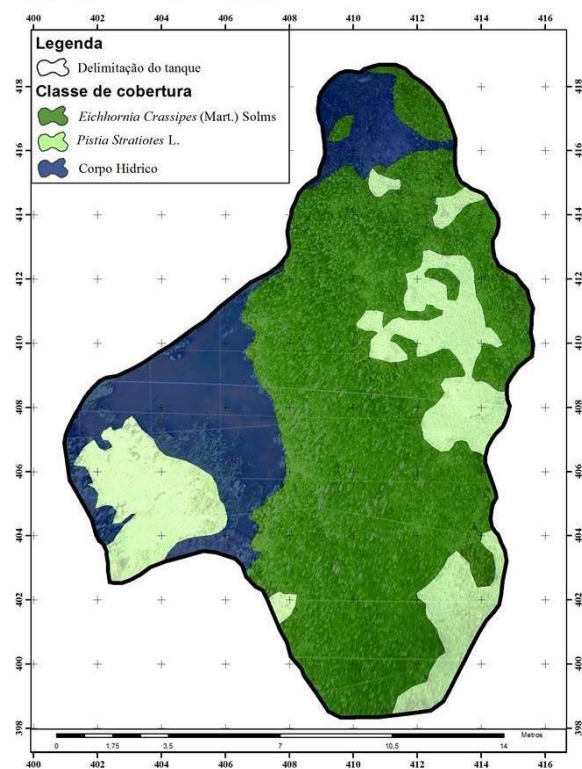


FIGURA 15- Mapeamento da área preenchida com Aguapé e alface d' água no dia 19/02/2016

Observa-se também que a expansão das macrófitas deformou o grid inicial que era flexível. Este fato não ocasionou problemas pois desde as primeiras análises adotou-se grid virtual (Figura 11).

Com a determinação das medidas de crescimento relativo por data, conforme datas de acompanhamento (70, 109, 129, 142, 147, 153 dias) do aguapé, ajustou-se o gráfico de crescimento por área em intervalos de dias (Figura 16). Ao final de 153 dias o crescimento relativo final foi de 80%.

Com a elevação da temperatura ambiente observou-se maior crescimento em área das macrófitas estudadas.

A área inicial ocupada de aguapé eram 64,51 m². Alcançando área final de 116,57 m², após 153 dias.

Sendo assim, pode-se afirmar que em 153 dias (período de primavera verão em clima Cfb), o aguapé teria produção de massa seca podendo variar de 4.234 a 9.947 kg ha⁻¹(Tabela 2 e Figura 15).

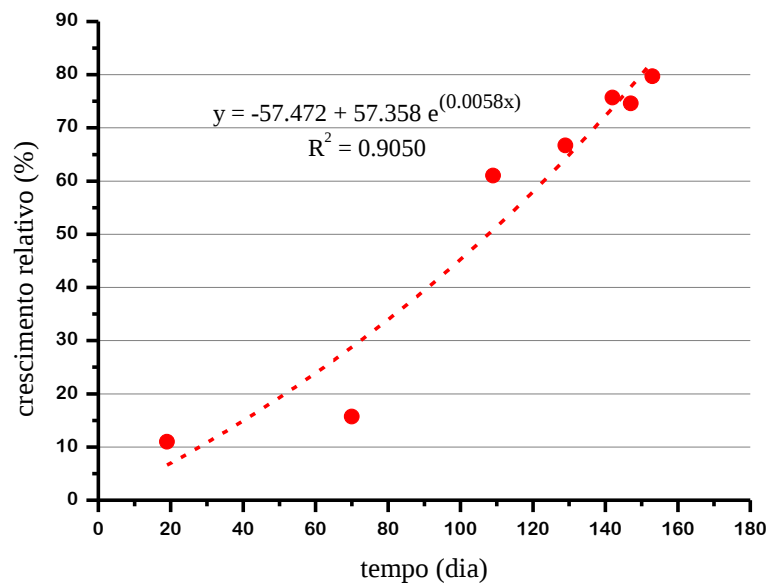


Figura 16 – Crescimento relativo de área e curva ajustada para o aguapé (*Eichhornia crassipes*), Ponta Grossa, Paraná

Pelo método adotado, divisão das bordas (limites cultura-água) em quadrículas, nos dias das visitas a área, através de fotografias, determina-se a nova área ocupada pela cultura (crescimento). O método mostrou-se capaz de dimensionar o crescimento. A análise matemática sub-sequente venha a considerar, o crescimento negativo. Este fato pode ter explicação pela movimentação da cultura no corpo d'água.

Com a determinação das medidas de crescimento relativo por data, conforme datas de acompanhamento (70, 109, 129, 142, 147, 153 dias) da alface d'água, ajustou-se o gráfico de crescimento por área em intervalos de dias (Figura 17). Ao final de 153 dias o crescimento relativo final foi de 61%.

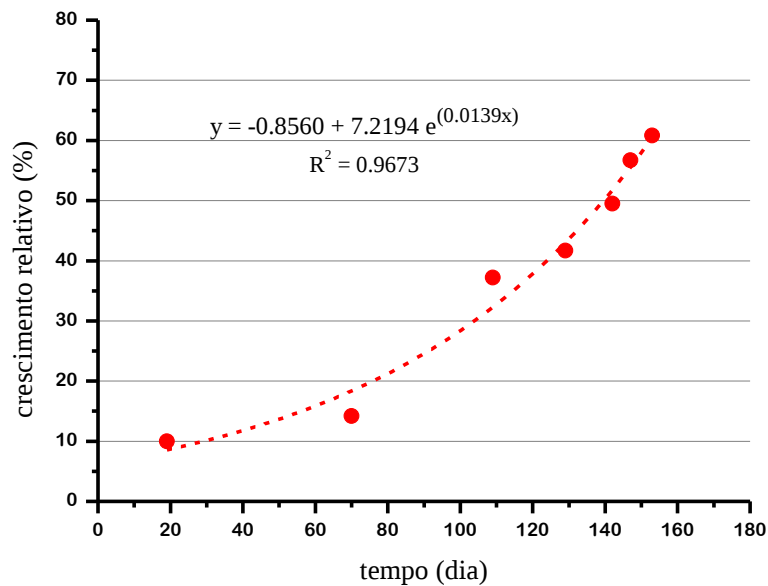


Figura 17 – Crescimento relativo de área e curva ajustada para o alface d'água (*Pistia stratiotes*), Ponta Grossa, Paraná

A área inicial de alface d'água eram 10,31 m². Alcançando área final de 18,02 m², após 153 dias.

Sendo assim, pode-se afirmar que em 153 dias (período de primavera verão em clima Cfb), a alface d'água teria produção de massa seca podendo variar de 2.132 a 6.889 kg ha⁻¹ (Tabela 3 e Figura 15).

Os mesmos comentários realizados para o aguapé são válidos para o estudo do crescimento da alface d'água.

A comparação de valores é difícil, pois as principais culturas energéticas, bem comum os estudos atuais com culturas alternativas levam para biomassas terrestres. Porém fica claro que as macrófitas apresentadas tem produtividade de massa seca menor que as madeiras utilizadas como biomassa energética e superior a maioria dos sub(co)produtos das culturas agrícolas (Tabela 4) que começam a ser estudadas para tal uso. Sendo semelhante à cultura do milho.

TABELA 4 - Massa seca por área do aguapé (*Eichhornia crassipes*), alface d'água (*Pistia stratiotes*), algumas biomassas utilizadas como fonte energética e algumas biomassas alternativas

Espécie	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Autor
<i>Eichhornia crassipes</i> ¹	4.234 a 9.947	
<i>Pistia stratiotes</i> ¹	2.132 a 6.889	
<i>Eucalyptus grandis</i> ² madeira casca	91.000 a 272.000 9.000 a 20.000	GOULART et al. (2003)
<i>Pinus elliottii</i> ³ fuste galhos acículas	161.300 15.800 7.700	GIONGO et al. (2011)
Milho sem grãos	6.407 a 7.781	CHIODEROLI et al. (2012)
Milho grãos total	9.723 23.183	WEIRICH NETO et al. (2013)
Soja parte aérea parte radicular	533 a 972 78 a 159	LESSIN e GHINI (2009)
Cana de açúcar Palhão ⁴	5.770	MOLINA JUNIOR (2011)
Canola 67 DAS ⁵ 89 DAS 114 DAS	194,2 a 297,7 185,1 a 396,1 71,2 a 483,9	SANCHES et al. (2014)
Girassol foliar caulinar	55 a 2004 318 a 6315	SOARES et al. (2015)
<i>Elodea</i> <i>Egeria densa</i> <i>Egeria najas</i> <i>Ceratophyllum demersum</i>	13,86 a 407,77 6,83 a 111,38 24,21 a 506,75	MARTINS et al. (2008)

¹ área inicial de 1 ha, rendimento em 153 dias (primavera/verão)

² inventário com 21,9 anos

³ corte com dez anos

⁴ dias após a semeadura

⁵ colheita mecanizada (palha, folhas verdes e ponteiros), considerando capacidade de recolhimento

Fazendo-se uma comparação dos valores de massa seca da *Eichhornia crassipes* popularmente conhecida por aguapé com a *Pistia stratiotes* observa-se que a primeira espécie apresenta maior variação de massa seca, o que pode ser explicado pelo tamanho de suas raízes e caule, obtendo-se assim maior massa.

Comparando-se os valores de massa seca da aguapé e alface com as espécie *Eucalyptus grandis* _{madeira} e *Eucalyptus grandis* _{casca}, as quais foram avaliadas a partir de 10 anos de idade. Nota-se que a espécie aquática apresenta menor quantidade de massa seca, pois neste caso foram avaliados os espaçamentos das plantações das espécies de Eucalipto sendo avaliadas três árvores por espaço, a qual a massa seca diminuía com o aumento do espaço (GOULART et al.,2003), outro motivo que pode ser citado para justificar esta diferença exorbitante de massa seca é o tamanho e peso da espécie onde a aguapé é menos densa que o Eucalipto.

O milho sem grãos foi tratado com as forrageiras *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruzizienses* avaliando-se esta com as espécies aquáticas, nota-se que o valor de massa seca da planta aquática é inferior, isto pode ter ocorrido pelos tratamentos usados na palha ao determinar a massa seca.

Analizando-se a parte aérea e radicular da soja ao comparar-se com a *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* constata-se que as espécies aquáticas apresentam maior valor de massa seca quando comparadas a soja, pois possuem massa foliar,caulinar e radicular maior que a soja.O mesmo ocorreria se fosse comparar com outros cultivares citados no artigo para esta cultura.

Fazendo-se uma comparação da canola aos 67 DAS no início do florescimento, aos 89 DAS e aos 114 DAS com as espécies de macrófitas, percebe-se que as plantas aquáticas apresentam maior valor de massa seca, o que pode ser justificado pelo tratamento utilizado no período citado.

Comparando-se os valores de massa seca do *Pinus elliottii* com a alface d' água e a aguapé, analisa-se que estas últimas apresentam menor massa seca, esta variação de massa pode ter ocorrido devido ao tratamento sofrido pela espécie de Pinus no controle da *Fusarium sambucinum* a qual estava causando danos as suas plântulas ou pela quantidade de massa que a planta aquática apresenta tanto na folha como na parte aérea.

5.3 ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata descreve o potencial combustível de uma determinada biomassa. Esta é representada pelo teor de materiais voláteis, de carbono fixo e de cinzas presentes na biomassa.Os resultados para as amostras de aguapé (*Eichhornia crassipes*) estão na Tabela 5 e para a alface d'água (*Pistia stratiotes*) estão representados na Tabela 6.

TABELA 5 - Média e coeficiente de variação do teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de aguapé (*Eichhornia crassipes*), Ponta Grossa, Paraná

Amostras	Umidade		Materiais voláteis		Cinzas		Carbono fixo	
	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)
Folha	0,185	4,1	0,768	8,6	0,097	9,5	0,134	56
Caule	0,180	8,4	0,761	7,7	0,124	9,2	0,114	57
Raiz	0,162	15,0	0,725	6,7	0,164	4,0	0,110	39
Planta*			0,754		0,127		0,118	

*média ponderada conforme valores médios de massa seca (Tabela 2)

O conteúdo de material volátil pode expressar a facilidade e/ou rapidez de combustão de uma amostra (MCKENDRY, 2002 e FLORIANI, 2007). Os valores médios de carbono fixo e materiais voláteis foram aproximados.

Conteúdo maior de cinzas nas raízes (Tabelas 5 e 6) pode ser explicado pela natureza inorgânica dos compostos que compõe as cinzas: CO, S, CaO e K₂O. Estes elementos inorgânicos adentram à planta por fluxo de massa, através das raízes sendo redistribuídos aos demais tecidos da planta, governados por diferenças de potencial, onde participarão de processos de síntese orgânica para crescimento e desenvolvimento da planta. Deste modo, é razoável que as raízes, que se constituem como porta de entrada destes compostos, apresentem concentrações maiores.

TABELA 6 - Média e coeficiente de variação do teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de alface d'água (*Pistia stratiotes*), Ponta Grossa, Paraná

Amostras	Umidade		Materiais voláteis		Cinzas		Carbono fixo	
	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)	Média (kg kg ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)
Folha	0,189	4,8	0,725	1,7	0,144	6,2	0,130	8,1
Parte submersa	0,174	1,9	0,734	2,9	0,200	25,1	0,061	46,2
Planta*			0,729		0,175		0,095	

*média ponderada conforme valores médios de massa seca (Tabela 3)

O conteúdo de material volátil encontrado para o aguapé e para alface d'água é elevado, equiparando-se com as madeiras in natura e resíduos sólidos urbanos e sendo maior que os carvões (Tabelas 5 e 6).

As diferenças que os materiais orgânicos apresentam na sua composição influenciam diretamente no conteúdo relativo de material volátil, pois alguns elementos, como por exemplo, o nitrogênio (N) e o enxofre (S), são mais susceptíveis a volatilização do que o cálcio (Ca) (FREITAS & SANT'ANNA, 2004).

O carbono fixo representa a fração que permanece na amostra logo após o aquecimento, ou seja, logo após a combustão dos compostos voláteis (MCKENDRY, 2002; OBERNBERGER e THEK, 2004 e GARCÍA et al., 2013). As amostras analisadas apresentaram baixos conteúdos de carbono fixo (0,118 para aguapé e 0,095 kg kg⁻¹ para alface d'água) se comparados com o conteúdo presente na maioria das madeiras e seus respectivos carvões (Tabela 5, 6 e 7). Este baixo valor acompanhado com alto valor de material volátil pode ser uma vantagem, uma vez que o carbono fixo proporciona combustão de forma mais lenta, sendo necessário maior tempo de residência na câmara de combustão. Embora a combustão mais lenta, pode representar no final desta um maior poder calorífico (BARROS; NASCIMENTO e AZEVEDO, 2012 e STURION; PEREIRA; CHEMIM, 1988). Alguns estudos com materiais, que podem ser considerados subprodutos, caso da massa de soja (sem grãos), da ráquis do milho e palha de cana de açúcar, os valores de análise imediata apresentaram proporções entre voláteis e carbono fixo semelhantes as macrófitas (Tabela 7).

Estes valores combinados com os valores encontrados de material volátil, em casos de queima direta e alimentação contínua proporcionaria combustão uniforme e rápida, quando comparada com carvões. Porém no caso de uso domiciliar de recreação, este tipo de situação pode ser desconfortável para o usuário, necessitando alimentação em intervalos de tempo menor.

As cinzas constituem a parcela não combustível da biomassa, ou seja, rejeito do processo de combustão (CASTRILLÓN et al., 2013), sendo composto pela fração mineral ou inorgânica da biomassa. No caso das macrófitas estudadas, o valor pode ser considerado elevado levando-se em conta somente o uso energético.

As cinzas influenciam no custo de transporte e no processo de combustão da biomassa e, além de contribuir para a corrosão de equipamentos responsáveis por tal processo (GARCÍA et al., 2013).

Em culturas agrícolas, conforme o manejo pode haver alteração no teor de cinzas (DAMÁSIO et al., 2013). Este tipo de afirmação pode ser extrapolado para o presente estudo, pois pode-se ter alteração em matéria orgânica e de minerais na água onde as macrófitas se encontram, variando com local (material geológico origem), manejo de solo, manejo da propriedade (pecuária), e precipitação (diluição).

TABELA 7 - Teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo de *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* e outros materiais utilizados e com estudos para aproveitamento energético

Material	Materiais voláteis (kg kg ⁻¹)	Carbono fixo (kg kg ⁻¹)	Cinzas (kg kg ⁻¹)	Autor
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,754	0,118	0,127	
<i>Pistia stratiotes</i>	0,729	0,095	0,175	
<i>Corymba citriodora</i>	0,200	0,794	0,008	ZANUNCIO et al. (2014)
<i>Eucalyptus paniculata</i>	0,228	0,762	0,010	
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	0,232	0,743	0,024	DAMÁSIO et al. (2013)
<i>Cupressus lusitanica</i>				
madeira	0,170	0,177	0,006	SILVA et al. (2014)
carvão	0,288	0,695	0,017	
<i>Acacia auriculiformes</i>	0,840	0,154	0,006	BARROS et al. (2009)
<i>Ormosia paraenses</i>	0,791	0,194	0,015	
<i>Bambusa vulgaris</i>	0,346	0,529	0,125	MOREIRA (2012)
<i>Jatropha curcas</i>				
epicsarpo in natura	0,726	0,130	0,144	VALE et al. (2011)
carvão/epicarpo	0,290	0,455	0,255	
torta in natura	0,744	0,142	0,079	
carvão/torta	0,182	0,712	0,104	
râquis de milho	0,812	0,183	0,005	PAULA et al. (2011)
planta de soja	0,766	0,182	0,052	
palha de cana de açúcar	0,786	0,175	0,039	
Resíduos Sólidos Urbanos				GOMES (2014)
(cidade de Ponta Grossa)	0,777	0,080	0,142	

Conforme a análise deste resíduo (cinzas) este pode apresentar potencial para uso como fertilizante ou ainda pode ser empregado como componente em estruturas civis. Dependendo da biomassa este tipo de “resíduo” pode ser interessante no uso de produção de produtos agroecológicos (classificados como orgânicos ou produzidos sem o uso de moléculas sintéticas), considerados de melhor qualidade para consumo humano.

No caso das cinzas de macrófitas a análise de composição antes é importante pois, estas são conhecidas como mitigadoras de metais pesados, sendo assim no caso de uso como fertilizantes esse fato pode comprometer o solo.

Com valores semelhantes de cinzas, o epicarpo de pinhão manso (*Jatropha curcas*) in natura e carvão vegetal e o carvão da torta, demonstram preocupação, mas são apontados como de potencial para uso energético (VALE et al., 2011).

O *Bambusa vulgaris* ou Bambu, biomassa estudada talvez pela produtividade apresentada, tem valores para análise imediata, inferiores energeticamente as madeiras tradicionais, porém semelhantes (cinzas) e superiores (carbono fixo) as macrófitas apresentadas.

Analisando os três componentes da análise imediata, as macrófitas possuem valores intermediários, quando comparados com alguns tipos de materiais utilizados como biomassa energética. Onde desejava-se valores pequenos da massa relativa de cinzas (cinzas~0,03 kg kg⁻¹) os valores foram maiores e onde desejava-se valores elevados de carbono fixo (>0,500 kg kg⁻¹) os valores foram inferiores. Sendo assim o potencial combustível das biomassas sugeridas passa pelo quantitativo e pela logística de fornecimento.

5.4 PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS)

O poder calorífico superior (PCS) indica a capacidade de um material desprender calor quando submetido à queima (MONTEIRO e ZVEIBIL, 2001), ou seja, demonstra a quantidade de energia que pode ser recuperada no processo de combustão, sendo, portanto, a quantidade de calor desprendida pela combustão sendo portanto, a quantidade de calor desprendida pela combustão de determinada biomassa (BORGES, 2008). Os resultados obtidos para as amostras de aguapé (*Eichhornia crassipes*) estão apresentados na Tabela 8, e para a alface d'água (*Pistia stratiotes*) estão representados na Tabela 9.

O poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de calor liberada com a combustão do combustível, assumindo que tanto a água contida na amostra quanto a que é gerada permanecem no estado líquido (ABNT, 1984; NÚÑEZ-REGUEIRA, AÑÓN e CASTIÑEIRAS, 1996; BORGES, 2008) e quando a água, produto da combustão, permanece na forma de vapor, o calor liberado é denominado de poder calorífico inferior (PCI) (NÚÑEZ-REGUEIRA, AÑÓN e CASTIÑEIRAS, 1996; MUNIZ, 2004; BORGES, 2008).

Fica claro que o PCS das raízes ou parte submersa da aguapé foi inferior a folha e caule ou parte aérea (Tabela 8). A mesma tendência foi observada para a alface d'água (Tabela 9). Nos dois casos esperava-se tais resultados devido o teor de cinzas encontrado na parte submersa o qual foi alto (Tabela 5 e 6).

TABELA 8 - Poder calorífico superior para componentes botânicos, da planta e coeficiente de variação do aguapé (*Eichhornia crassipes*)

	Poder calorífico superior médio (kJ kg ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)
Folha	15.966	1,67
Caule	14.522	0,52
Raiz	11.564	0,94
Total*	14.158	

*média ponderada conforme médias de massa seca (Tabela 3)

O Poder calorífico superior da planta de aguapé foi superior ao da alface d'água (Tabela 8 e 9), o que já era esperado considerando as diferenças, embora pequenas, dos valores de cinzas e de carbono fixo encontradas nas duas biomassas (Tabela 5 e 6).

TABELA 9 - Poder calorífico superior de componentes botânicos, da planta e coeficiente de variação da alface d'água (*Pistia stratiotes*)

	Poder calorífico superior médio (kJ kg ⁻¹)	Coeficiente de variação (%)
Folha	13.028	0,87
Parte submersa	9.886	1,04
Total*	11.459	

*média ponderada conforme médias de massa seca (Tabela 4)

Observa-se que as macrófitas estudadas apresentam poder calorífico superior com magnitudes menores, variando de 25 a 50% menores que a maioria das fontes apresentadas (Tabela 10). Sendo assim a utilização deste tipo de biomassa como fonte energética calorífica depende do rendimento gravimétrico e da logística de utilização. Lembrando que na necessidade de maior massa para suprir a mesma demanda de energia a variável transporte deve ser considerada.

Outra observação é que as fontes citadas como de melhor poder calorífico não competem diretamente com as macrófitas quanto a área a ser ocupada, as melhores fontes necessitam de solo como substrato. É comum também relatos de problemas com as macrófitas, onde o aparecimento espontâneo em corpos de água, geralmente artificiais, para geração de energia elétrica e recreação é considerado problema com elevado custo de solução (GASTAL Jr. et al. 2003).

As madeiras tradicionais de *Acácia auriculiformes*, *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*, bem como algumas nativas como a *Ormosia paraenses* e variações do tipo arbustivas como *Cupressus lusitânica* (ciprestes) e o *Bambusa vulgaris* apresentam maior PCS que as macrófitas estudadas (Tabela 10). Alguns autores estudaram o carvão destas biomassas, o que qualifica mais as respectivas como culturas energéticas.

Neste caso a espécie aquática é menos eficiente, já que este fator indica a quantidade de energia liberada durante a transferência de calor e quanto maior o poder calorífico maior a eficiência (VIERA 2012).

TABELA 10- Comparação do Poder Calorífico Superior do aguapé (*Eichhornia crassipes*) e da alface d'água (*Pistia stratiotes*) com outras fontes

Material	Poder calorífico superior (kJ kg ⁻¹)	Autor
Aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>)	14.158	
Alface d'água (<i>Pistia stratiotes</i>)	11.459	
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Pau jacaré)	19.455	DAMÁSIO et al. (2013)
<i>Cupressus lusitânica</i> (cipreste)		
madeira	19.292	SILVA et al. (2014)
carvão	27.421	
<i>Acacia auriculiformes</i>	18.338	
<i>Ormosia paraensis</i>	18.330	MARTINS et al. (2016)
Eucalipto		
<i>Corymbia citriodora</i>	19.238	
<i>Eucalyptus urophylla</i> (clone MN 463)	19.794	ZANUNCIO et al. (2014)
<i>Jatropha curcas</i>		
epicarpo in natura	14.480	
carvão/epicarpo	16.543	
torta in natura	21.430	VALE et al. (2011)
carvão/torta	26.078	
Ráquis de milho	19.309	
Planta de soja	18.848	PAULA et al. (2011)
Palha de cana de açúcar	18.053	
<i>Bambusa vulgaris</i>	18.238	MOREIRA(2012)
Resíduos Sólidos Urbanos (cidade de Ponta Grossa)	20.074	GOMES (2014)
Cana de açúcar		
bagaço de cana	15.480	QUIRINO et al. (2005)
palhiço	18.171	BERTOZZO et al. (2015)

O Poder calorífico superior da *Pistia stratiotes* é menor que a da *Eichhornia crassipes*, o que já era esperado depois de avaliados os teores de voláteis, cinzas e carbono fixo (Tabela 6 e 9). Na produção de biomassa o aguapé (*Eichhornia crassipes*) também apresentou potencial superior.

Embora os materiais vegetais (subprodutos) de culturas agrícolas comercialmente exploradas em larga escala, apresentassem valores de voláteis e carbono fixo, os valores do PCS foram superiores o que pode ter correlação com teor de cinzas (HOFFMANN, 2010). Os valores de massa relativa de cinzas para as macrófitas são superiores (Tabelas 7 e 10).

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As macrofitas estudadas, alface d água (*Pistia stratiotes*) e aguapé (*Eichhornia crassipes*) apresentaram potencial energético intermediário em relação as biomassas utilizadas e as atualmente estudadas. Na análise imediata os valores podem ser considerados piores, enquanto no poder calorífico os valores são médios e para produtividade de massa seca são semelhantes as biomassas já utilizadas.

Sendo assim a utilização das macrófitas citadas deve passar por estudo de logística, principalmente onde as referidas são problemas. Havendo necessidade de fonte térmica perto do problema estas podem ser utilizadas. Estudos sobre a qualidade das cinzas também podem viabilizar o processo, pois o uso destas como fertilizantes pode ser interessante.

6 CONCLUSÕES

A macrófita aguapé (*Eichhornia crassipes*) apresentou produtividade de massa seca variando de 4.234 a 9.937 kg ha⁻¹ enquanto a alface d'água (*Pistia stratiotes*) de 2.132 a 6.889 kg ha⁻¹ em ciclo de 153 dias.

O aguapé apresentou conteúdo de médio voláteis de 0,754 kg kg⁻¹ e de carbono fixo de 0,127 kg kg⁻¹ enquanto a alface d'água apresentou conteúdo de voláteis de 0,729 kg kg⁻¹ e de carbono fixo de 0,175 kg kg⁻¹.

O aguapé apresentou poder calorífico superior médio de 13.749 kJ kg⁻¹ enquanto a alface d'água (*Pistia stratiotes*) apresentou 11.467 kJ kg⁻¹.

Em todos os parâmetros estudados o aguapé mostrou potencial energético maior que a alface d'água.

7 REFERÊNCIAS

- ABBASI, T. e ABBASI, S. A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 919-937, Apr. 2010.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8112**: Carvão Vegetal – análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8633**: Carvão Vegetal – determinação do poder calorífico-método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- AÇMA, H. H. Combustion characteristics of different biomass materials. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 1, p. 155-162, Jan. 2003.
- ALMEIDA, G.; BRITO, J. O. e PERRÉ, P. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 24, p. 9778–9784, Dec. 2010.
- ALVES, J. A. A.; TAVARES, A. S. e TREVISAN, R. Composição e distribuição de macrófitas aquáticas na lagoa da Restinga do Massiambu, Área de Proteção Ambiental Entorno Costeiro, SC. **Rodriguesia**, v. 62, n. 4, p. 785-801. 2011.
- AMARAL, M. C. E; PELLEGRINI, M. O. O e SOUSA, D. J. L. *Pontederiaceae*. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB13742>> Acesso em 15 de Jun. de 2014.
- ARAUJO, G. M. **Segurança na Armazenagem, Manuseio e Transporte de Produtos Perigosos**: Gerenciamento de Emergência Química. 2^aed. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde, 2005. 948 p.
- BARRETO, J. F. B.; RENDEIRO, G. e NOGUEIRA, M. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida**: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 193 p.
- BARROS, S. V. S.; NASCIMENTO, C. C.; AZEVEDO, C. P.; PIO, N. S.; COSTA, S. S. Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas. **Madera y Bosques**, Xalapa, v. 15, n. 2, p. 59-69, 2009.
- BARROS, S. V. S.; NASCIMENTO, C. C.; AZEVEDO, C. P. Caracterização tecnológica da madeira de três espécies florestais cultivadas no Amazonas: alternativa para produção de lenha. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 725-732, Out./Dez. 2012.
- BERGIER, I.; SALIS, S. M.; MIRANDA, C. H. B.; ORTEGA, E. e LUENGO, C. A. Biofuel production from water hyacinth in the Pantanal wetland. **Ecohydrology & Hidrobiologia**, v. 12, n. 1, p. 77-84. 2012.

BERTOZZO F.; FERREIRA M. Z. ; GAMBA V. S.; PUPO H. F.; LEÃO A. L.; SOUZA S. F. **Aproveitamento do palhiço de cana-de-açúcar para geração de energia renovável.** Disponível em: <http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/t151.pdf> aceso em: 14 Nov. 2015.

BORGES, F. **Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia.** 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2008.

BRAGA, C. F. G. V. e BRAGA, L. V. Desafios da energia no Brasil: panorama regulatório da produção e comercialização do biodiesel. **Cadernos EBAPE. BR**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 751-762. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

CALEGARI, L.; FOELKEL, C. E.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S. de. ; SILVEIRA, P. e SANTINI, E. J. Características de Algumas Biomassas Usadas na Geração de Energia no Sul do Brasil. **Biomassa e Energia**, v. 2, n. 1, p. 37-46, 2005.

CANCIAN, L. F.; CAMARGO, A. F. M. e SILVA, G. H. G. Crescimento de *Pistia stratiotes* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 552-557, Apr./June, 2009.

CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D. e MARTINS, D. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de Bariri, no Rio Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 371-374. 2005.

CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; GONZÁLES, A.; MARAÑÓN, E. A case study of the characteristics of municipal solid waste in Asturias(Spain): influence of season and source. **Waste Management e Research**, v. 31, n. 4, p. 428-431, Apr. 2013.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M. de; HOLANDA, H. V. de; FURLANI, C. E. A.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. da R. e CESARIN, A. L. Consórcio de *Urochloas* com milho em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1804-1810, Out. 2012.

CHOWDHURY, G. Building environmentally sustainable information services: a green is research agenda. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 4, p. 633–647, april. 2012.

COOK, C.D.; GUT, B.J.; RIX, E.M.; SCHNELLER, J.; BLITZ, M. **Water plants of the world: a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes.** The Hague, Dr. w. Junk, 1974. 561p.

COSTA, J. M. **Diccionario de Química Física.** 1ª ed. Barcelona: Diaz de Santos ediciones, 2005. 912 p.

COSTA JUNIOR, I. L. **Cinética de Bioacumulação do íon Pb^{+2} na macrófita aquática *Pistia Stratiotes***. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2007.

ÇENGEL Y. A. e BOLES. M. A. **Termodinâmica**. 7ªed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1048 p.

DAMÁSIO, R. A. P.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARDOSO, M. T.; VITAL, B. R. e CARVALHO, A. M. L. M. Caracterização anatômica e qualidade do carvão vegetal da madeira de pau jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p. 261-267. 2013.

ERTAS. M e ALMA. H. M. Pyrolysis of laurel (*Laurus nobilis* L.) extraction residues in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and bio-char. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.88, n.1, p.22-29, 2010.

ESPINOZA-QUIÑONES. F. R.; MÓDENES, A. N.; COSTA JUNIOR, I. L.; PALÁCIO, S. M.; SZYMANSKI, N.; TRIGUEROS, D. E. G.; KROUMOV, A. D. e SILVA, E. A. Kinetics of Lead Bioaccumulation from a Hydroponic Medium by Aquatic Macrophytes *Pistia stratiotes*. **Water air and Soil Pollution**, v. 203, n. 1, p. 29-37, Oct. 2009.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência FINEP, 1988. 575 p.

FLORIANI, L. S. **Potencial de resíduos sólidos industriais como fonte de energia e avaliação das emissões gasosas em combustor em escala piloto**. 2007, 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

FREITAS, L. C. de; SANT'ANNA, G. L. Efeitos do fogo nos ecossistemas florestais. **Revista da Madeira**, n. 79, Mar. 2004.

GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Biomass proximate analysis using thermogravimetry. **Bioresource Technology**, v. 139, p. 1-4, Jul. 2013.

GASTAL Jr, C. V. de S.; IRGANG, B. E.; MOREIRA, C. Problemas com infestação de macrófitas aquáticas na área de influência da usina hidrelétrica de itá. **ACTA SCIENTIAE**, Canoas, v. 5, n. 1, p. 87-92, Jan./Jun. 2003.

GIONGO, M.; SILVA, D. B. da; KOEHLER, H. S.; MARCHETTI, M. Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* engelm. aos 23 anos de idade. **J. Biotec. Biodivers.** v. 2, n. 3, p. 81-86, Ago. 2011.

GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 14 ed. Piracicaba: Fealq, 2000. 430 p.

GOMES, Simone. **Potencial Energético dos resíduos sólidos domiciliares do município de Ponta Grossa, PR, Brasil**. 2014, 89 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

GONÇALVEZ, C. V. **Alometria foliar, biomassa e fitoacumulação de cromo em *Eichhornia crassipes*(Mart.) Solms**. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A. e PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N. V.; CARDOSO, P. F.; LEA, P. J. e AZEVEDO, R. A. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 53-64, Jan./Mar. 2005.

GUNNARSSON, C. C.; PETERSEN, C. M. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review. **Waste Management**, v. 27, n. 1, p. 117-129, Mar. 2007.

HARUN, M. Y.; DAYANG RADIAH, A. B.; ZAINAL ABIDIN, Z. e YUNUS, R. Effect of physical pretreatment on dilute acid hydrolysis of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Bioresource Technology**, v. 102, n. 8, p. 5193-5199, Apr. 2011.

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

HOFFMAN, B. S. **O ciclo combinado com gaseificação integrada e a captura de co2: uma solução para mitigar as emissões de Co₂ em termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo**. 2010. 128 f. Dissertação(Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós Graduação em Planejamento Energético, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

HOLANDA, A. C. **AGUAPÉ (*Eichhornia crassipes*) como bioadsorvente do corante Turquesa Remazol**. 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2010.

IVERSEN, J. **Biologische Pflanzentypen als Hilfsmittel in there vegetations Forschung**. Denmark, Univ. Kopnhagen.(Thesis),1936.

JANNUZZI, G. de M. e SWISHER, J. N. **Planejamento Integrado de recursos Energéticos: Meio Ambiente, Conservação de Energia e Fontes Renováveis**. 1ª ed. Campinas-SP: Autores Associados, 1997. 246 p.

JUNIOR, C. L. I. **Cinética de Bioacumulação do íon Pb^{+2} na macrófita aquática *Pistia Stratiotes***. 2007.127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo-PR.

KISSMANN, K. G. **Plantas infestantes e nocivas**. 2ªed. São Bernardo do Campo: BASF, 1997. 825 p.

LESSIN, R. C. e GHINI, R. Efeito do aumento da concentração de CO_2 atmosférico sobre o oídio e o crescimento de plantas de soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 385-392, Nov./Dez. 2009.

LIMA, M. R. **Atributos de solos e macrófitas aquáticas flutuantes: Uma contribuição à sustentabilidade agrícola e ambiental na bacia do Rio Iraí (PR)**. 2005. 111 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestre, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. 1ª ed. Nova Odessa, SP, 1982. 868 p.

LU, Q.; HE, Z. L.; GRAETZ, D. A.; STOFFELLA, P. J. e YANG, X. Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (*Pistia stratiotes* L). **Environmental Science Pollution Research**, v. 17, n. 1, p. 84-96, jan., 2010.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2ªed. Imprensa Oficial do Paraná Curitiba, 1981. 350 p.

MALIK, A. Environmental challenge vis a vis opportunity: The case of water hyacinth. **Environment International**, v. 33, n. 1, p. 122-138, Jan. 2007.

MARCHANTE, E.; FREITAS, H. e MARCHANTE H. **Guia prático para a Identificação de Plantas Invasoras de Portugal Continental**. 1ª ed. Coimbra: Multitema, 2008. 183 p.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; DOMINGOS, V. D.; RODRIGUES, A. C. P. e CARVALHO, F. T. Efeito do período de exposição a concentrações de diquat no controle de plantas de *Egeria densa*, *Egeria najas* e *Ceratophyllum demersum*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 865-874, 2008.

MARTINS, D.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. e TOFOLI, G. R. Controle químico de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* em caixas d'água. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, p. 83-88. 2002.

MARTINS, D. F. F. **Influência espaço-temporal e fisiológica na absorção de nutrientes e elementos tóxicos por *Eichhornia crassipes* visando o uso adequado da sua biomassa: o caso do Rio Apodi/Mossoró-RN**. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MARTINS, M. P.; BENÍCIO, E. L.; DIAS Jr. A. F.; ALMEIDA, R. B. de; CARVALHO, A. M. de e YA, F. M. Produção e Avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 173-180. 2016.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37-46, Mai. 2002.

MIURA, K. A.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANJOS, S. D. dos; LUIZ, A. J. B. Avaliação de áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produção de energia e uma contribuição de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 607-620, junho. 2011.

MOHALLEM, D.F.et al.Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte.**Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária Zootecnia**, v.60, n.2, p.449-453, 2008.

MOLINA JUNIOR, W. F. **O setor sucroalcooleiro como potencial produtor de bioenergia**. 2011. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/MOLINALEME/bioenergia-da-canadeacar>> Acesso em: 10 de jan. 2016

MONTEIRO, J. H. P.; ZVEIBIL, V. Z. **Gestão integrada de resíduos sólidos**: manual de gerenciamento de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), 2001. 200 p.

MOREIRA, A. C. O. **Caracterização de *bambusa vulgaris* schard. ex j.c. wendl. var. vulgaris e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia**. 2012. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Pós Graduação em Ciências Florestais, Faculdade de tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MUNIZ, A. R. C. **Otimização da operação de um reator de pirólise de resíduos sólidos industriais**. 2004. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

NIGAM, P. S. e SINGH, A. Production of liquid biofuels from renewable resources. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, n. 1, p. 52-68, Feb. 2011.

NOGUEIRA, M. F. M. e RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. BARRETO, Eduardo José Fagundes (Coord). **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida**: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. p. 52-63.

NÚÑEZ-REGUEIRA, L.; AÑÓN, J. A. R.; CASTIÑEIRAS, J. P. Calorific values and flammability of forest species in Galicia coastal and hillside zones. **Bioresource technology**, v. 57, p. 283-289, Sep. 1996.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. **Biomass and Bioenergy**, v. 27, n. 6, p. 653-669, Dec. 2004.

PADIAL, A. A.; THOMAZ, S. M. e AGOSTINHO, A. A. Effects of structural heterogeneity provided by the floating macrophyte *Eichhornia azurea* on the predation efficiency and habitat use of the small Neotropical fish *Moenkhausia sanctaefilomenae*. **Hydrobiologia**, v. 624, n. 1, p. 161-170, May. 2009.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A. e BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 237-246, Apr./Jun. 2011.

PISTORI, R. E. T. **Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Pistia stratiotes* L. e *Salvinia molesta* (Mitchell) em diferentes concentrações de nutrientes**. 2009. 61 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Programa de Pós - Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista Centro de Aquicultura Caunesp, Jaboticabal, 2009.

POMPÊO, M. **Perspectivas da Limnologia no Brasil**. São Luís: União, Cap.8, 1999, 198p. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/limnologia/Perspectivas/>> Acesso em 11 de Março de 2016.

POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecol. Bras.**, v. 12, n. 3, p. 406- 424. 2008.

POTT, V. J e POTT, A. **Plantas Aquáticas do Pantanal**. 1ª ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 404 p.

PRATA, R. C. C.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; LO MONACO, P. A. V. e PIMENTA L. A. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1144-1155, Nov./Dez. 2013.

PRIYA, E. S. e SELVAN, P. S. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. **Arabian Journal of Chemistry**, Marc. 2014.

QUIRINO, W. F. VALE, A. T. do; ANDRADE, A. P. A. de; ABREU, V. L. S. e AZEVEDO, A. C. dos S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106. 2005. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 01 Ago. 2015.

SANCHES, Arthur. C.; GOMES, E. P.; RAMOS, W. B.; MAUAD, M.; SANTOS, S. dos e BISCARO, G. A. Produtividade da canola sob irrigação e doses de adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 7, p. 688-693, 2014.

SANCHES, André. L.; CERVI, A. C. e POTT, V. J. Levantamento Taxonômico de Pontederiaceae kunth do Pantanal, nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do sul, Brasil. In. SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO- ECONÔMICOS DO PANTANAL OS DESAFIOS DO NOVO MILÊNIO, 3., 2000. **Anais...** Corumba, 2000. p. 1-31. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/Bioticos/SANCHES-029.pdf>> Acesso em: 11 de Março de 2016.

SANTOS, L. O. **Estudo para obtenção de Bio-óleo de 2ª geração através da pirólise de plantas aquáticas**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal Sergipe, São Cristóvão, 2013.

SCHWANKE, C. **Ambiente Recurso Eletrônico: tecnologias**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 260 p.

SCULTHORPE, C. D. **The biology of aquatic vascular plants**. Scientific Books, 1985.610p.

SILVA, D. A.; ALMEIDA, V. C.; VIANA, L. C. KLOCK, U e MUÑIZ, G. I. B. de. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 561-568, Out/Dez. 2014.

SILVA, S. S. L. **Caracterização ecológica e estrutural de macrófitas em reservatórios no estado de Pernambuco**. 2011. 107 f. Tese (Doutorado em Botânica) – Programa de Pós Graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SIMS, R. E. H. **The brilliance of bioenergy: in business and in practice**. London: Earthscan, 2002. 316 p.

SMA- **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Classificação Climática**. Disponível em: <<http://sma.fundacaoabc.org.br>> Acesso em: 01 dez. 2015.

SKINNER, K.; WRIGHT, N. e PORTER-GOFF, E. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. **Environmental Pollution**, v. 145, n. 1, p. 234-237, Jan., 2007.

SOARES, L. A. dos. A.; LIMA, G. S. de; CHAVES, L. H. G.; XAVIER, D. A.; FERNANDES, P. D. e GHEYI, H. R. Fitomassa e produção do girassol cultivado sob diferentes níveis de reposição hídrica e adubação potássica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 336-342, 2015.

SOLTAN, M. E. e RASHED, M. N. Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentrations. **Advances in Environmental Research**, v. 7, n. 2, p.321-334, Jan. 2003.

SOUZA, V. C. e LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação de famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APGII**. 2ª ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, 2005. 704 p.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; CHEMIM, M. S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p. 55-59, Dez. 1988.

TARAWOU, T.; HORFALL JR e VICENTE, J. C. Adsorption of Methyl red by water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) biomass. **Chemistry and Biodiversity**, v.4, n.9, p.2.236-2245, 2007.

THOMAZ, S. M. e BINI, L. M. **Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas**. 2^a ed. Maringá: EDUEM, 2003. 341 p.

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20 n. spe, p. 21-33. 2002.

TIWARI, S.; DIXIT, S e VERMA, N. An effective means of biofiltration of heavy metal contaminated water bodies using aquatic weed *Eichhornia crassipes*. **Environmental monitoring and Assessment**, v.129, n.1-3, p. 253-256, 2007.

TUNDISI, J. G. e TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S. e DANTAS, V. F. De S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 267-273, Abr./Jun. 2011.

VARDANYAN, L. G. e INGOLE, B. S. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. **Environment International**, v. 32, n. 2, p. 208-218, Feb. 2006.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)- Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

ZACARKIM, C. E.; OLIVEIRA, L. C. de; SYMANSKI, N.; QUINÕES, F. R. E.; PALÁCIO, S. M. e DAMASCENO, S. Analysis of a wetland system in the post-treatment of wastewater. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 1-12, 2014.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; TRUGILHO, P. F. e LIMA, F. S. Secagem ao ar livre da madeira para produção de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 401-408, 2014.

ZHANG, X; YANG, W e BLASIAK, W. Thermal decomposition mechanism of levoglucosan during cellulose pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 96, p. 110-119, jul. 2012.

ZHENG, J.C. et al. Removal of Cu (II) in aqueous media by biosorption using water hyacinth roots as a biosorbent material. **Journal of Hazardous materials**, v.171, n.1-3, p.780-785, 2009.

ZHOU, W. et al. The structure characterization of cellulose xanthogenate derived from the straw of *Eichhornia crassipes*. **Bioresource Technology**, v.100, n.21, p. 5.366-5.369, 2009.

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

WANGA, Z.; YAO, L.; LIU, G. e LIU, W. Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 107, p. 200-206, Jul. 2014.

WEANER, J. E e CLEMENTS, F.E. **Plants ecology**- New York, Mc. Gran-Hill, 1983.

WEIRICH NETO, P. H.; GARBUIO, P. W.; SOUVA, N. M. de; DELALIBERA, H. C. e LEITÃO, K. Fragment size of corn silage according to the dry matter and forage harvester adjustments. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 764-771, Jul./Aug. 2013.

WIGGERS, V. R.; WISNIEWSKI Jr, A.; MADUREIRA, L. A. S.; CHIVANGA BARROS, A. A. e MEIER, H. F. Biofuels from waste fish oil pyrolysis: Continuous production in a pilot plant. **Fuel**, v. 88, n. 11, p. 2135-2141, Nov. 2009.

WOLFF, G.; ASSIS, L. R.; PEREIRA, G. C.; CARVALHO, J. G. e CASTRO, E. M. Efeitos da toxicidade do zinco em folhas de *Salvinia auriculata* cultivadas em solução nutritiva. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p.133-137, Jan./Mar. 2009.