



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira - DTS



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: EUCALIPTO,
CANA-ENERGIA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

Sarah Ingrid dos Santos Silva

Orientadora: Prof^a. Dra. Márcia Aparecida Cezar.

Junho de 2016



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional - CTDR

Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira – DTS



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: EUCALIPTO, CANA-ENERGIA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.

Sarah Inglid dos Santos Silva

Trabalho de Conclusão do *Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira* do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, apresentado como requisito para obtenção do Grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

**Orientadora: Prof^a. Dra. Márcia
Aparecida Cezar.**

Junho de 2016

S586b Silva, Sarah Ingrid dos Santos.

Biomassa para geração de energia: eucalipto, cana-energia e bagaço de cana-de-açúcar. [recurso eletrônico] / Sarah Ingrid dos Santos Silva. -- 2016.
44 p. : il. color. + CD.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Orientador: Dra. Márcia Aparecida Cezar.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Tecnologia em Produção Sucoalcooleira) – CTDR/UFPB.

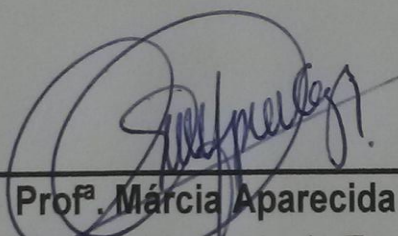
1. Biomassa vegetal. 2. Energia Biológica. 3. Energia Renovável. 4. Bioenergia. I. Cezar, Márcia Aparecida. II. Título.

CDU: 620.952(043.2)

BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: EUCALIPTO, CANA-ENERGIA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.

TCC aprovado em 14 de junho de 2016, como requisito para conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucrialcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA

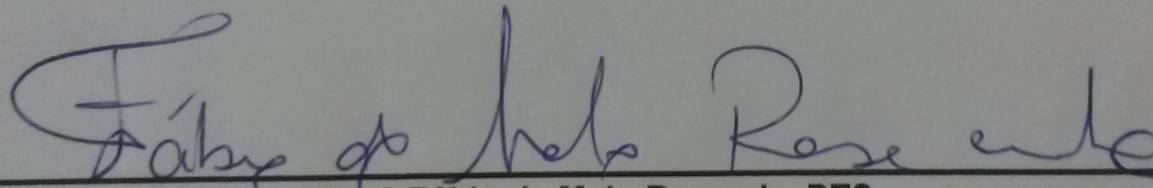


Prof.^a Márcia Aparecida Cezar, DTS

UFPB/CTDR- Departamento de Tecnologia Sucrialcooleira

Presidente da Banca Examinadora

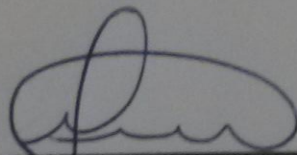
Orientadora



Prof. Fábio de Melo Resende, DTS

UFPB/CTDR- Departamento de Tecnologia Sucrialcooleira

Membro interno



Prof.^a Márcia Helena Pontieri, DTS.

UFPB/CTDR- Departamento de Tecnologia Sucrialcooleira

Membro interno

Dedico a Deus, aos meus Pais, a Profa. Dra. Márcia Aparecida Cezar e a Profa. Dra. Nataly Albuquerque dos Santos, aos amigos e a todos que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois dele provém todas as graças que me trouxeram até aqui.

Aos meus pais Valdomiro e Maria Adelma, e a minha irmã Samara por todo apoio, incentivo e confiança.

A minha Professora, orientadora e amiga Nataly Albuquerque dos Santos por abrir horizontes e caminhos, por cobrar e acreditar sempre no meu potencial.

Aos meus amigos de caminhada que por vezes estiveram sempre ao meu lado, contribuindo de maneira individual e construtiva, em especial a Karol Brás e Luan Maia pelo laço formado durante o curso e aos demais que estiveram sempre ao meu lado.

Aos professores Márcia Pontieri, Érika Adriana, Fabio Resende, Joelma Morais e Jailson Ribeiro pela construção integral de todo conhecimento compartilhado durante esta etapa da minha vida, não só acadêmico mas também aos valores adquiridos.

E em especial a toda dedicação da Professora Marcia Aparecida, por me acompanhar nesse trabalho, por toda sua disponibilidade e por me ajudar fortemente em todas as etapas dessa fase.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura importante para o desenvolvimento econômico do Brasil, uma vez que representa uma fonte de etanol e açúcar, bem como o resíduo de biomassa (bagaço) que é usado para a produção de energia elétrica limpa e renovável. Com o objetivo de avaliar o potencial da biomassa da cana-energia na geração de energia, foram analisadas quatro amostras vegetais: cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar, palha da cana-energia e o eucalipto, verificando os comportamentos endotérmicos, exotérmicos, caracterização de perda de massa e poder calorífico no intervalo de temperaturas de 25-900 °C (divididos em três intervalos). As amostras foram submetidas ao pré-tratamento que consistiu na picagem, seguida da lavagem, homogeneização e secagem a 105°C por 24 horas. Posteriormente foram realizadas as análises térmicas, curvas de Termogravimetria/Análise térmica diferencial (TG/DTA) obtidas em um Analisador Térmico. O Poder Calorífico Superior (PCS) foi obtido conforme a norma NBR 11956, utilizando bomba calorimétrica no modo dinâmico. Para todas as amostras, a energia de ignição foi de 17cal e o equipamento foi calibrado com padrão de ácido benzóico. Após as análises verificou-se o poder calorífico da cana-energia é semelhante ao bagaço da cana-de-açúcar e o eucalipto; o poder calorífico da palha da cana-energia foi superior às demais amostras; a palha da cana-energia e o eucalipto perdem massa em menores temperaturas; a cana-energia e o bagaço da cana-de-açúcar perdem massa em temperaturas mais elevadas em relação às demais amostras.

Palavras chaves: Biomassa vegetal, energia renovável, bioenergia

ABSTRACT

Sugarcane is an important crop for economic development of Brazil, once it represents an ethanol and sugar source, as well as the biomass residue (bagasse) that is used for electric energy production. In order to evaluate the potential the biomass of sugarcane-energy in power generation were analyzed four plant samples: cane-energy bagasse, sugarcane bagasse, cane-energy straw and eucalyptus, checking behaviors endothermic, exothermic, characterization of loss of mass and heating value of each of the samples in the temperature range of 25-900 ° C (divided into four intervals). The samples were subjected to pretreatment consisting in chipping, followed by washing, drying and homogenization at 105 ° C for 24 hours. Later thermal analyzes were performed, curves Thermogravimetric/Differential thermal analysis (TG / DTA) obtained in a Thermal Analyzer. The Superior Calorific Value (PCS) was obtained according to NBR 11956, using bomb calorimeter in the dynamic mode. For all samples, the ignition energy was 17cal and the equipment was calibrated with standard Benzoic Acid. After the analysis found that the calorific value of energy cane is similar to bagasse from sugarcane and eucalyptus; the calorific value of the cane straw energy was higher than the other samples; straw cane energy and eucalyptus lose mass at lower temperatures; sugarcane bagasse energy and sugarcane lose mass at higher temperatures compared to other samples.

Key words: Plant biomass. Renewable energy. Bioenergy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 Utilização da biomassa para geração de energia.....	16
3.1.1 Melhoramento genético para obtenção de biomassas.....	18
3.1.2 Cana-energia.....	19
3.1.3 Eucalipto.....	21
3.1.4 Cana-de-açúcar.....	22
3.2 Composição química da biomassa.....	24
3.3 Etanol calulósico.....	26
3.4 Análises térmicas.....	27
3.4.1 Termogravimetria (TG).....	27
3.4.2 Análise Térmica Diferencial (DTA).....	28
3.4.3 Poder Calorífico Superior (PCS).....	28
4 METODOLOGIA.....	29
4.1 Obtenção da biomassa.....	29
4.2 Pré-tratamento das biomassas.....	30
4.3 Análises térmicas.....	31
4.4 Análises Calorimétricas.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Teromgravimetria TG e DTA.....	32
5.2 Poder calorífico PCS.....	35
6 CONCLUSÃO.....	38

7 SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
8 REFERÊNCIAS.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Diferentes tipos de cana-de-açúcar e cana-energia (A) e comparação das porcentagens de produtividade, energia produzida e obtenção de bagaço (B).....	20
Figura 2 -Estrutura da biomassa lignocelulósica.....	25
Figur 3-Coleta de amostras de cana-energia.....	29
Figura 4-Lavagem (A) e obtenção da biomassa seca (B).....	30
Figura 5 -Princípio de funcionamento de uma caldeira flamotubular.....	32
Figura 6-Curvas da Análise Térmica Diferencial (DTA) Termogravimétricas das amostras de cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar, palha da cana-energia e do eucalipto.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Etapas da perda de massa das amostras de acordo com a variância das tempertaturas.....	33
Tabela 2 – Resultados das curvas de Análises térmicas Diferencial (DTA) das amostras de cana-energia,bagaço de cana-de-açúcar, palha da cana-energia e eucalipto.....	35
Tabela 3- Poder Calorífico Superior (PCS) das amostras de bagaço de cana-de-açúcar, cana-energia, palha da cana-energia e o eucalipto.....	36

1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade da diminuição do uso dos combustíveis fósseis, em busca de diminuir a produção dos gases do efeito estufa gerando menores impactos no meio ambiente, surgem diversas linhas de interesse e pesquisas sobre as possíveis fontes de energias renováveis e limpas.

A alternativa mais desenvolvida para a geração de energia, em âmbito econômico e ambiental é a utilização da biomassa, atendendo a demanda de países principalmente com áreas de produção agrícola e clima tropical como o Brasil. Produtor desde a época colonial do cultivo da cana-de-açúcar, também desenvolve muitas outras culturas que geram energia, com potenciais comprovados e valorizados no comércio mundial, como é o caso do eucalipto que se destaca como uma cultura de madeira geradora de inúmeros subprodutos, porém também é avaliado como potente fornecedor de calor para vias termoquímicas entre outras utilidades energéticas, como a produção de metanol.

Quanto as culturas dedicadas à produção de energia, a questão é eleger áreas onde a produção de alimentos fosse limitada, devido as condições edáfico climáticas desfavoráveis e escolher fontes de biomassa que possam oferecer algum ganho energético, que sejam pouco exigentes nas características agrônômicas e que não concorram com a produção de alimentos (SCHMER et al., 2008; YUAN et al., 2008; COOMBS, 1984), além disso deve-se considerar, a produção de plantas fibrosas em vez de amiláceas e oleaginosas (STICKLEN, 2008).

Surgem então, dois tipos de cultivo para os trópicos: as florestas artificiais, especialmente de eucalipto, e as gramíneas do tipo da cana-de-açúcar e do capim-elefante (EL BASSAM, 1998; WOODARD e PRINE, 1993).

Esse trabalho projeta informações sobre duas culturas bem desenvolvidas, para cogeração de energia de fonte renovável e limpa, o eucalipto e a cana-energia. Duas representações de biomassas com potencial energético relativo para o estudo de alternativas renováveis.

A cana-energia é resultado de um cruzamento de híbridos comerciais e ancestrais para produção de uma cana mais robusta, resistente a pragas e a

variações climáticas. Possui um maior teor de fibras e menos sacarose, e é considerada uma alternativa na obtenção de etanol de segunda geração. Apresenta potencial para queima de caldeiras, junto a sua palha, alto poder calorífico constituindo assim um material entre outras rotas já desenvolvidas para produtos e subprodutos da cana-energia.

O gênero *Eucalyptus* spp., é originário da Austrália, possui mais de 700 espécies, tendo sido introduzido no Brasil em 1904, com a finalidade de produção de lenha e de dormentes, pela Companhia Paulista de Ferro (ANDRADE, 1928 *apud* COUTO e MULLER, 2013). O grande número de espécies, gera uma ampla distribuição ecológica que possibilita o seu uso para vários fins, como madeira serrada, lenha, carvão vegetal, celulose, óleos essenciais e etc. Segundo COUTO e Muller(2013), Devido sua produtividade e as características de sua madeira tornam o eucalipto uma das melhores alternativas para produção de biomassa destinada a geração de energia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Realizar análises termogravimétricas e calorimétricas da cana-energia e do bagaço de cana-de-açúcar e comparar com o eucalipto que já vem sendo utilizado na geração de energia

2.2 Objetivos específicos

- Obter o pré-tratamento do bagaço da cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar convencional, palha da cana-energia e eucalipto;
- Avaliar o perfil termogravimétrico do bagaço da cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar convencional, palha da cana-energia e eucalipto;
- Aferir os processos térmicos do bagaço da cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar convencional, palha da cana-energia e eucalipto por DTA.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso abusivo dos combustíveis fósseis vem causando grandes impactos na natureza, como o efeito estufa agravado pela grande produção de CO₂ que é liberado na atmosfera. A partir dessa preocupação ambiental e do fato de que as reservas mundiais de combustíveis fósseis são finitas, no início da década de 70 começou a ser discutido o termo “desenvolvimento sustentável”, que é tido como “o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações” (Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, 1988).

Neste sentido, o mundo tem buscado novas e diferentes alternativas para seu suprimento energético, procurando priorizar as mais limpas e ditas como renováveis (CGEE, 2001). Segundo Lora (1997), as fontes renováveis de energia (solar, eólica, geotérmica, biomassa etc.) são caracterizadas por gerarem impactos ambientais muito menores, que o uso de combustíveis fósseis a exemplo da equação de carbono neutro e, portanto, bastante atrativas para a produção energética.

Como uma fonte de energia primária, a biomassa moderna tem sido usada de forma crescente no mundo como insumo energético, destacando-se como importante fonte geradora de energia elétrica, e como matéria prima para produção de combustíveis líquidos (BARROS, 2007 apud VIOLANTE, 2012).

Diante da necessidade de produção em larga escala de resíduos agrícolas para a produção de biocombustíveis e energia elétrica, os maiores fornecedores potenciais da matéria-prima desses produtos são os países com agroindústria ativa e grandes dimensões de terras cultivadas ou cultiváveis. Conforme relata estudo sobre o tema inserido no Plano Nacional de Energia 2030, a melhor região do planeta para a produção da biomassa é a faixa tropical e subtropical, entre o Trópico de Câncer e o Trópico de Capricórnio. Ainda assim, os Estados Unidos e a União Européia, ambos no hemisfério norte, são produtores de etanol. (ANEEL,2008)

No Brasil, das fontes energéticas renováveis geradas cerca de 45% são utilizados para energia e 18% para obtenção dos combustíveis. No resto do mundo, 86% da energia vêm de fontes energéticas não renováveis. Pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, o Brasil alcançou uma posição almejada por muitos países que buscam fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo (ANP, 2013). Neste cenário, o Brasil desponta em uma posição privilegiada para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas pelo fato de apresentar grande potencial de cultivo de matérias-primas renováveis, dispondo de vantagens comparativas e competitivas tais como: (i) culturas agrícolas de grande extensão (destaque para a agroindústria da cana-de-açúcar); (ii) maior biodiversidade do planeta; (iii) intensa radiação solar; (iv) água em abundância; (v) diversidade de clima; e (vi) pioneirismo na produção de biocombustível etanol (CGEE, 2010)

3.1 Utilização da biomassa na geração de energia

A Agência Nacional de Energia Elétrica define a biomassa como todo recurso renovável constituído principalmente de substâncias de origem orgânica (de origem vegetal ou animal) (ANEEL, 2009). Nos países em desenvolvimento, a produção de energia elétrica a partir da biomassa, tem sido bastante defendida (BARROS, 2007).

Lora e Teixeira (2001) apresentam como vantagens do uso da biomassa como combustível em relação a utilização de combustíveis fósseis o fato de ser uma fonte de energia renovável, possuir baixo custo de aquisição, e baixas emissões líquidas de CO₂. Da mesma forma, afirmam que as emissões de óxido de nitrogênio, óxidos de enxofre e partículas são muito menores que as emissões provocadas no uso de óleo combustível e carvão mineral. Diante desse cenário, a agricultura energética desponta como grande oportunidade para atender às necessidades de fontes de energia renovável, principalmente a biomassa (GOVERNO, 2005).

Segundo Couto et al. (2002, p. 1) a biomassa de origem florestal é uma forma de energia limpa, renovável, equilibrada com o meio ambiente rural e

urbano, descentralizadora de população, geradora de empregos e criadora de tecnologia própria.

Surgem, então, dois tipos de cultivo para os trópicos: as florestas artificiais, especialmente de eucalipto, e as gramíneas do tipo da cana-de-açúcar e o capim-elefante (EL BASSAM, 1998; WOODARD; PRINE, 1933), Aliado a isso, dentre as biomassas vegetais com finalidade energética, a cana-de-açúcar trata-se de uma cultura já consolidada, com uma logística desenvolvida em termos de colheita e transporte, conferindo-lhe competitividade frente a outras culturas energéticas. No entanto do total da energia da cana, apenas 50 % são aproveitados na atualidade (ANDRADE; GAZZONI, 2012).

Um estudo recente divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) destaca que os investimentos no último ano em energias renováveis no mundo cresceram consideravelmente, especialmente em países em desenvolvimento, como China, Brasil e países africanos, o que reflete diretamente na maior oferta de empregos e renda. Entretanto, o crescimento mais acelerado desta fonte de energia renovável depende ainda de investimentos em tecnologia e maior diversificação no aproveitamento de resíduos da biomassa.(BIOMASSABR,2016)

Resíduos como o da colheita e industrialização da cana de açúcar, o aproveitamento florestal, resíduos da colheita de safras agrícolas e até mesmo de resíduos sólidos urbanos são grandes fontes de matérias primas para a geração de energia renovável (BIOMASSABR,2016).

Um estudo publicado em 2008 revelou que um quinto de toda energia mundial é gerado a partir de recursos renováveis: sendo de 13% a 14% a partir da biomassa e 6% a partir da água. No caso da biomassa, isso representa cerca de 25 milhões de barris de petróleo por dia (55 EJ/ano) (HALL *et al*, 2008). O potencial instalado no Brasil para produção de energia gerada da biomassa atingiu, somente em 2013, 11.250 MW, o que equivale à produção de energia prevista para a Usina de Belo Monte, a qual está estimada em 11.233MW. Esta energia é proveniente de 496 usinas de biomassa que estão em operação no país atualmente, a grande maioria com o uso do bagaço e a palha da cana-de-açúcar como matéria prima (BIOMASSABR,2016).

A cana-de-açúcar é um recurso com grande potencial, dentre as fontes de biomassa, para geração de eletricidade existente no país, por meio da utilização do bagaço e da palha. A participação é importante não só para a diversificação da matriz elétrica, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste/Centro-Oeste, onde está concentrada a maior potência instalada em hidrelétricas do país. (ANEEL, 2008)

O desenvolvimento de híbridos de cana-de-açúcar com maior quantidade de biomassa lignocelulósica tem sido objeto de diversos estudos (SUN e CHEN,2014). Buscando atender as novas demandas do setor sucroenergético, o foco na obtenção das futuras cultivares deve ser concentrado no aumento substancial do teor de fibra aliado a maior produtividade, sendo denominadas de cana-energia e poderão apresentar mais de 30% de fibra em sua composição (RAMOS, 2015).

3.1.1 Melhoria genética para obtenção de biomassa

As análises de diversidade genética permitem identificar grupos heteróticos e genitores potenciais para realizar as hibridações e obter novos genótipos de cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2012).

As variedades comerciais de cana-de-açúcar cultivadas atualmente se originam de cruzamentos realizados no início do século XX, na Ilha de Java na Indonésia. Àquela época, algumas variedades da espécie *Saccharum officinarum* – rica em açúcar, mas muito suscetível a doenças – foram cruzadas com outra espécie, a *Saccharum spontaneum*, que é pobre em açúcar e muito rústica, ou seja, mais resistente aos problemas do campo. Os híbridos obtidos tinham maior capacidade de armazenamento de sacarose, resistência a doenças, vigor, rusticidade e tolerância a fatores climáticos(RODRIGUES,2010).

Diante da possibilidade de utilização da cana-de-açúcar na produção de biomassa, alguns programas iniciaram novas linhas de pesquisa para desenvolver cultivares de cana-de-açúcar com maior teor de fibra, denominadas cana-energia (RAMOS, 2015). A cana-energia é obtida por meio

de melhoramento genético que resulta em uma planta com mais quantidade de fibras e variação na quantidade de açúcar. Pelos cruzamentos genéticos e pelos tipos de parentais usados nos cruzamentos, obtêm-se alguns materiais com mais fibras e outros com menos açúcar e muito mais fibras. A cana-energia com baixa quantidade de açúcar e aumento de fibra tem foco na produção de energia (SIFAEG, 2016).

O eucalipito apresenta grande variedade fenotípica e, por isso, assume posição estratégica no melhoramento genético em áreas com vocação para a silvicultura rural. A utilização de clones resistentes a doenças e ao déficit hídrico, com alta produtividade e homogeneidade da madeira, constitui, atualmente, a base dos novos povoamentos florestais (RUY et AL., 2001 apud COUTO e MULLER, 2013).

3.1.2 Cana-energia

Um novo paradigma está surgindo para aperfeiçoar a produção de energia, fundamentado na produção de biomassa e nesta última década, vem sendo estudado por algumas instituições de pesquisa em melhoramento genético, como a produção de híbridos da espécie *Saccharum* spp., obtendo-se a cana-energia. Dada a grande variabilidade genética existente na espécie, esta mudança de perfil nas cultivares de cana-de-açúcar seria possível via realização de retrocruzamentos dos híbridos atuais com ancestrais selvagens de *S. spontaneum*, para que as características de alta produção e alto conteúdo de fibras seja introgridido nas populações melhoradas, levando a aumentos de produtividade, maior rusticidade e adaptabilidade a áreas agrícolas marginais, revertendo à priorização que foi dada até o momento para a obtenção de sacarose. Com objetivo de criar variedades mais adaptadas, rústicas, produtivas e resistentes à seca, cruzamentos entre diversos gêneros de *Saccharum* spp. tem sido realizados (MATSUOKA et al., 2012).

As áreas indicadas para a expansão de cana-energia compreenderam aquelas atualmente classificadas como sendo áreas marginais, as mesmas já identificadas no zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar em 2009. Estas foram selecionadas a partir dos arquivos georreferenciados através de um sistema de informação geográfica) (VIOLANTE, 2012). Híbridos

interespecíficos, oriundos dos programas de melhoramento genético, resistentes a pragas e doenças e melhores adaptados às diversas condições ambientais permitiram a expansão da cultura pelo planeta (MATSUOKA et al., 2012).

O objetivo dos programas mundiais de melhoramento genético na seleção da cana-energia é obter diferentes tipos de plantas (Figura 1). Um dos tipos é a cana-energia 1, com manutenção do alto nível de açúcar (acima de 15% de sacarose) e com alto teor de fibra (acima de 18%). Este tipo é interessante para as empresas do setor sucroenergético que desejam investir na produção de etanol de segunda geração (etanol celulósico). Por outro lado, busca-se também a cana-energia 2, com baixíssimo nível de açúcar (sacarose menor que 6%) e elevado nível de fibra (acima de 28%), que é procurada por empresas que desejam produzir e fornecer biomassa para a geração de energia (eletricidade) (SIFAEG, 2016)

Figura 1.: Diferentes tipos de cana-de-açúcar e cana-energia (A) e comparação das porcentagens de produtividade, energia produzida e obtenção de bagaço (B)



Fonte: www.novacana.com

A cana-de-açúcar plantada em larga escala no Brasil é resultado de uma série de cruzamentos, mas que possuem a característica predominante da espécie *Saccharum officinarum*: elevado teor de açúcar e baixa quantidade de fibra. Já a cana-energia teve seus cruzamentos direcionados para aproveitar mais os descendentes da *S. spontaneum*, com alto teor de fibra. (MARIANO, 2015)

3.1.3 Eucalipto.

Muitas culturas podem gerar grandes quantidade de biomassa a exemplo das florestas plantadas e de seus resíduos. Estima-se que cada hectare de eucalipto plantado gera cerca de 45 toneladas de galhos e cascas. Para uma área plantada de cerca de 5 milhões de hectares de eucaliptos, a geração dessa biomassa é muito considerável para ficar perdida no campo (ROSSETTO, 2012).

O eucalipto é a essência mais utilizada em plantios florestais no Brasil, sendo que, em 2008, dos 6.583.074 ha de área total, 4.258.704 ha ou 64,7% eram ocupados com espécies desse gênero, dos quais, 277.316 ha ou 7,4% pertencem ao Rio Grande do Sul (ABRAF, 2009).

A elevada utilização do eucalipto nos florestamentos brasileiros é favorecida pela boa adaptação da árvore, nas suas diferentes espécies, às condições de clima e solo. O aumento da produtividade foi alavancado pelo melhoramento genético tradicional e pela clonagem (MCT, 2005).

As espécies do gênero *Eucalyptus* spp. apresentam elevada eficiência nutricional em razão de sua maior capacidade de retranslocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais, especialmente coníferas (OLIVEIRA NETO, 2010).

Além dessa característica, a capacidade de adaptação a situações de déficit hídrico apresentadas por algumas espécies desse gênero tem permitido que os plantios sejam implantados na região dos cerrados, onde os solos, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade, associado ao clima onde é observado um pronunciado déficit hídrico numa estação do ano. Porém, a

produtividade dessas florestas pode ser consideravelmente aumentada com a adubação (BALLARD, 1984; BALLONI, 1984)

Com o objetivo de caracterizar a madeira de eucalipto para diversos fins, os espaçamentos mais utilizados atualmente, inclusive para geração de energia, são aqueles que proporcionam uma área útil variando de 3 a 9 m² (COUTO et al., 2002). Os plantios com finalidade energética são manejados em rotações de quatro a sete anos. Em 2011, o Brasil possuía cerca de 6.515.844 hectares de *Eucalyptus* e *Pinus* plantados, situando-se entre os 10 maiores reflorestadores do mundo. Desse total, 74,8% são constituídos de florestas de *Eucalíptus* e 24,2% de florestas de *Pinus* (ABRAF, 2012).

Apesar de serem descritas cerca de 700 espécies do gênero *Eucalyptus*, os plantios são restritos a poucas espécies. Embora os primeiros trabalhos de melhoramento desta espécie no Brasil sejam datados de 1904 e grandes avanços tenham sido conseguidos, esses são bastante recentes e fruto principalmente da iniciativa privada; apenas na última década houve maior impulso e intensificação dos programas de seleção, com grande ênfase à seleção recorrente recíproca, visando melhorar as suas populações para a obtenção de híbridos interespecíficos superiores. (VIOLANTE, 2012)

As altas taxas de crescimento observadas em plantio de eucalipto implicam grandes retiradas de nutrientes do solo. No entanto, quando se comparam os dados de extração de nutrientes de florestas de eucalipto com cultivos agrícolas, pode-se observar que a extração de nutrientes para o eucalipto é bem menor do que para culturas agrícolas (LIMA, 1993 *apud* COUTO e MULLER 2013).

3.1.4 Cana-de-açúcar

O bagaço e a palha da cana-de-açúcar são matérias-primas de destaque como fontes energéticas nesse novo processo. Uma tonelada de cana contém a energia equivalente a 1,2 barril de petróleo, sendo que cerca de 1/3 dessa energia está armazenada quimicamente no caldo (açúcares) e o

restante na biomassa de cana: metade no bagaço e metade na palha, aproximadamente (Revista Opiniões, 2008).

De acordo com informações da União da Indústria de Cana-de-açúcar, atualmente no Brasil todas as usinas são autosuficientes em energia, gerando o bastante para atender suas necessidades. Um dos grandes desafios é a implantação de unidades de cogeração que possam comercializar excedentes de energia elétrica a partir do bagaço e da palha, contribuindo com o sistema interligado nacional(RODRIGUES,2010).

Segundo (Castro et al.,2015), a decisão de adotar tecnologias de cogeração pouco eficientes tinha como premissa maximizar a queima do bagaço de cana-de-açúcar devido às dificuldades de estocagem e a pouca relevância do mercado para a venda de eventuais excedentes de bagaço in natura.

A produção elétrica nas usinas de açúcar e álcool, em sistemas de cogeração que usam o bagaço de cana como combustível, é prática tradicional desse segmento industrial em todo o mundo. O que muda, dependendo das condições particulares de cada país, é a eficiência de uso do bagaço. Em termos mundiais a experiência brasileira é importante em função do porte da atividade canavieira, mas não da eficiência com que a biomassa é empregada (CASTRO, 2015).

Em contrapartida, os resíduos derivados de materiais lignocelulósicos mais promissores para serem empregados em bioprocessos são o bagaço de cana, palha de arroz, de milho e de trigo, provenientes da América do Sul, Ásia, Estados Unidos e Europa, respectivamente (MCMILLAN, 2003)

Os materiais lignocelulósicos constituem-se em matéria-prima para a produção de etanol, bem como de outros produtos utilizados em diversos segmentos industriais, devido ao seu caráter renovável, abundante e de seu baixo custo (DEMIRBAS, 2003; YAMASHITA et al., 2008; BINOD et al., 2010). Este é um cenário promissor que para cada 10 milhões de toneladas de biomassa seca é possível produzir 600 milhões de galões de etanol, considerando apenas o seu componente celulósico (PEREIRA, 2008).

O pré-tratamento de biomassa lignocelulósica é uma etapa que aumenta significativamente a eficiência da hidrólise enzimática da celulose para

posterior fermentação, realizada por leveduras ou bactérias produtoras de etanol (MCMILLAN, 2003). No processo de obtenção de etanol celulósico, o objetivo é “desmontar” a parede celular para utilizar os polissacarídeos como fonte de açúcares fermentáveis (BUCKERRIDGE et al, 2010). A decisão sobre a produção de etanol de segunda geração deve ser feita considerando os custos de oportunidade para diferentes produtos derivados da biomassa (etanol e outros biocombustíveis, bioeletricidade, açúcar, entre outros) (Dias et al., 2011)

3.2 Composição química da biomassa

Alguns genes que podem auxiliar na obtenção de materiais para produção de bioenergia estão envolvidos na síntese de celulose, hemicelulose e lignina, além de genes que influenciam características morfológicas de crescimento, como altura, número de ramos e espessura do caule (RAGAUSKAS et al., 2006 *apud* VIOLANTE, 2012). Em termos químicos, a madeira seca é definida como um biopolímero tridimensional composto de uma rede de celulose, hemicelulose e lignina, com menores quantidades de extrativos e substâncias inorgânicas (MACEDO, 2012)..

O desenvolvimento de tecnologias já reportado por VÁSQUEZ, é desenvolver processos biotecnológicos que permitam a utilização de biomassas residuais de composição lignocelulósica, como palha de milho e arroz, bagaço de cana-de-açúcar e resíduos da indústria de celulose, abundantemente geradas nos setores agrícolas e florestais, para a produção de bioetanol de segunda geração.(SANTOS et al, 2014)

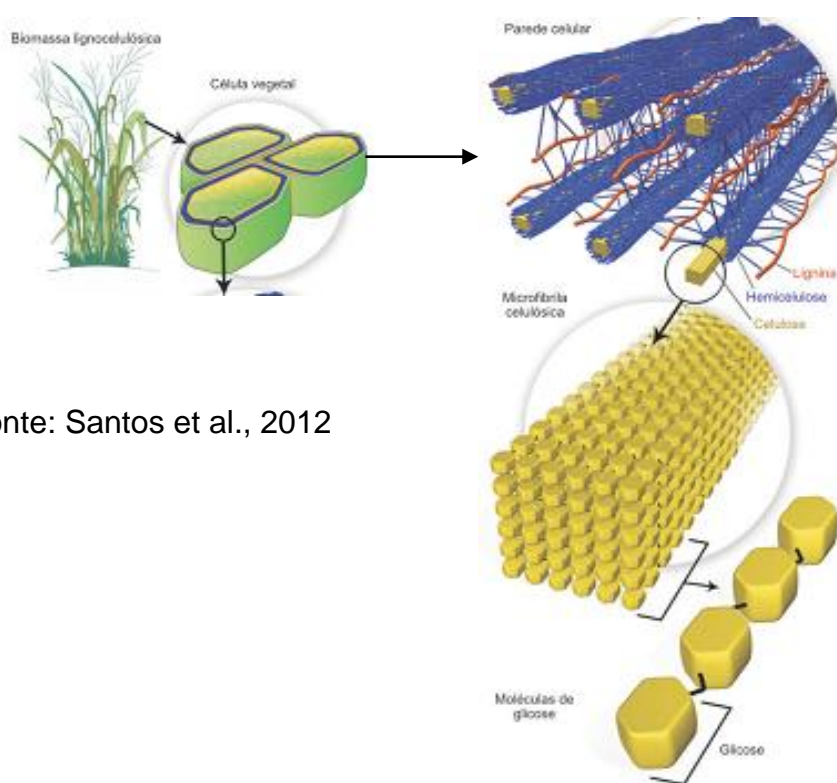
Segundo TRUGUILHO, a lignina é o componente da madeira mais estável termicamente, quando comparada com a celulose, com as hemiceluloses e com a própria madeira. Este fato está relacionado com a estrutura química complexa e com os tipos de ligações presentes na estrutura da macromolécula lignina. A lignina é um polímero aromático, amorfo, altamente complexo, constituído de unidades de fenil-propano. Os precursores da biossíntese da lignina são álcool-p-cumarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico (MARCELO, 2007). O teor de lignina em diferentes plantas é muito variável. Na madeira, o conteúdo de lignina varia de 20 a 40%. Além disso,

podem existir variações nos teores de lignina entre diferentes partes da árvore (MACEDO, 2012). Browning (1963), citado por Cunha et al. (1989) afirma que o poder calorífico é mais alto quanto maior o teor de lignina e extrativos, porque os mesmos contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose).

A celulose é a base estrutural das células das plantas, sendo a mais importante substância natural produzida por organismos vivos, com o teor variando em função da origem da planta. É o principal constituinte da madeira, localizada predominantemente na parede secundária das células, com teores variando entre 45 e 50% (base seca). E entre 50% e 60% para biomassa vegetal, como a cana-de-açúcar. (MACEDO, 2012).

Em adição à celulose, uma variedade de polissacarídeos chamados hemiceluloses ou hemiceluloses estão presentes na madeira e em outros tecidos de plantas (MACEDO, 2012). O que difere da celulose é o fato que as hemiceluloses apresentam várias unidades de açúcares diferentes de cinco ou seis átomos de carbono (SANTOS et al., 2012). As quantidades de hemiceluloses variam entre 20 e 30 % em relação à massa seca da madeira. A combinação destas com a celulose é referida como holocelulose e representa de 65 a 70% da massa seca da madeira (ROWELL et al., 2005). Na figura 2 verifica-se a estrutura da biomassa lignocelulósica.

Figura 2: Estrutura da biomassa lignocelulósica



Fonte: Santos et al., 2012

3.3 Eta

A biomassa é uma fonte de energia, podendo ser obtida de resíduos florestais, vegetais, resíduos industriais, urbanos. Devido à alta disponibilidade deste tipo de material, vários estudos tenderam ao uso destes resíduos como fonte energética para a produção de etanol de segunda geração. Composto por celulose e hemicelulose, este substrato se torna de grande interesse industrial devido à facilidade de fermentação após hidrólise da estrutura celulósica. Apesar disso, a dificuldade vem sendo obter vias hidrolíticas eficientes em desconstruir tais moléculas (ALVES e MACRI, 2013).

O bagaço é um subproduto obtido em grandes quantidades após moagem da cana para a extração do caldo, em um processo que ocorre nos ternos das moendas das empresas produtoras de açúcar e etanol. A utilização deste subproduto na produção de etanol celulósico proporcionará um aumento significativo na produção nacional de biocombustíveis (DRABER, 2013).

A cana energia, um híbrido de canas comerciais e silvestres, é outra cultura energética ideal para produção de etanol celulósico, que é produzido para alto teor de fibras e baixo teor de sacarose (SEGUNDO et al, 2014).

O processo de obtenção de etanol de segunda geração, produzido através da hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos, consiste basicamente de quatro etapas, com distintas possibilidades de combinação (SUN e CHENG, 2002): produção de enzimas, pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação.

Esse processo pode ocorrer de duas formas: hidrólise ácida ou enzimática, esta última normalmente é precedida de pré-tratamento, visando a remoção da lignina possibilitando maior eficiência ao ataque enzimático (ALVES e MACRI, 2013).

3.4 Análises térmicas

Análise térmica é um termo que abrange um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância é monitorada em função do tempo ou temperatura, enquanto a temperatura da amostra, sob uma

atmosfera específica, é submetida a uma programação controlada (FERREIRA, 2012 apud MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

As técnicas de análise térmica (TGA), particularmente a termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG) possibilitam a obtenção dessa informação de maneira simples e rápida (RAMBO et al., 2015).

A biomassa desse estudo é um material liguinocelulósico, que tem seu comportamento termogravimétrico apresentado pela literatura composta basicamente de três principais componentes que consistem de cerca de 30-50% de celulose, 15-35% hemicelulose e 10-20% de lignina (RAMBO et al., 2015).

Já o poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). A condição de queima de um material é considerada como ideal quando se encontra absolutamente seco, mas também está diretamente influenciada pela constituição química da madeira – lignina e extrativos, que elevam seu potencial (QUIRINO et al., 2005)

3.4.1 Termogravimetria

A termogravimetria (TG) acompanha a variação da massa da amostra em função do tempo ou em função da temperatura. Um aspecto muito significativo das aplicações da degradação térmica aplicada ao bagaço de cana-de-açúcar se insere nos processos de reaproveitamento ou reciclagem dos mesmos, tão importante para o futuro do nosso meio ambiente. Há três maneiras distintas de conduzir a análise termogravimétrica, podendo ser através da termogravimetria isotérmica, onde a massa da amostra é registrada em função do tempo com temperatura constante), semiisotérmica (a amostra é aquecida à massa constante a cada série de acréscimo de temperatura) e dinâmica ou não-isotérmica (a amostra é aquecida com variação de temperatura predeterminada). O tipo mais comum de experimento empregando essa técnica é a “Termogravimetria Dinâmica”, onde é controlada por um

programador em um forno, enquanto uma balança monitora sua massa (CAVALHEIRO, 1995)

Segundo Matos et al. (2009), outro dado importante obtido através da curva TG é a curva termogravimétrica derivada (DTG). A DTG expressa a derivada primeira da variação de massa (m) em relação ao tempo (dm/dt), sendo registrada em função do tempo ou temperatura.

3.4.2 Análise Térmica Diferencial

A Análise Térmica Diferencial (TGA) é um método que determina a mudança de peso das amostras em função da mudança de temperatura. Parâmetros como tempo, peso e temperatura são essenciais. No entanto a TGA sozinha não é suficiente para interpretar a perda de peso da amostra (DENARI e CAVALHEIRO, 2012).

3.4.3 Poder Calorífico Superior

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE e DOAT, 1985).

O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

4 METODOLOGIA

4.1 Obtenção das biomassas

Para realização deste trabalho foram analisadas quatro amostras vegetais: bagaço de cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar, palha da cana-energia e eucalipto, verificando os comportamentos endotérmicos, exotérmicos, caracterização de perda de massa e poder calorífico de cada uma das amostras a determinadas temperaturas.

Amostras de colmos de cana-energia juntamente com a palha foram obtidas na Estação Experimental da RIDESA (Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroenergético) situada em Carpina – PE (Figura 3). O bagaço de cana-de-açúcar foi disponibilizado por um lote proveniente do Laboratório de Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba (CTDR/UFPB), e o eucalipto foi proveniente de um cultivo familiar do município de Santa Rita-PB. Estas amostras foram submetidas a três etapas: pré-tratamento para retirada de matéria inorgânica e mineral; as análises térmicas e a calorimetria.

Figura 3. Coleta de amostras de cana-energia

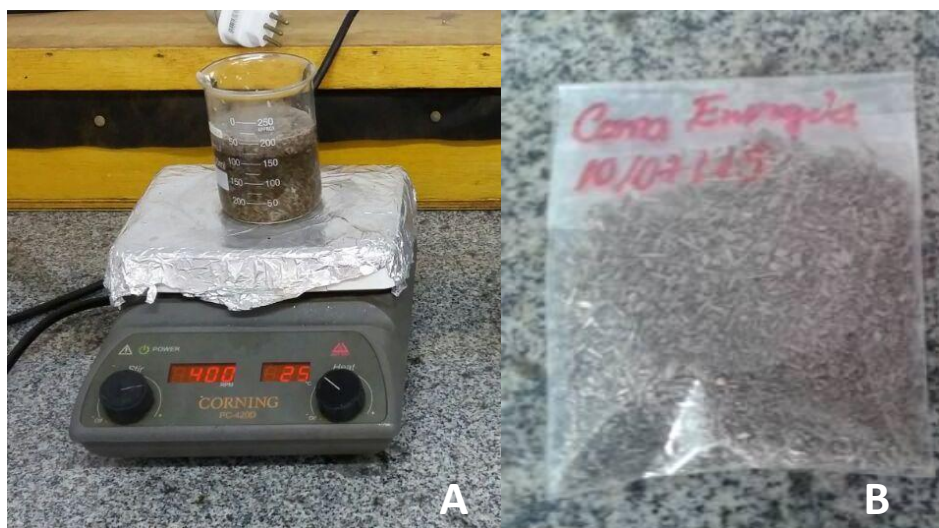


Fonte: Autor, 2016

4.2 Pré-tratamento das biomassas

O pré-tratamento das biomassas vegetais foi realizado no Laboratório de Tecnologia Sucroalcooleira do CTDR/UFPB, que consistiu de picagem, seguida da lavagem e secagem de acordo com o protocolo de Braga et al., em 2014 onde colmos e palhas da cana-energia e eucalipto foram picados individualmente em uma forrageira, em seguida juntamente com o bagaço da cana-de-açúcar as amostras foram peneiradas em uma peneira de 1mm para promover a homogeneização, posteriormente as amostras foram transferidas individualmente a béqueres com 200 mL de água destilada, e aquecidas em chapa agitadora por quatro horas em uma temperatura constante de 60°C (Figura 4A). Em sequência da lavagem, a água foi descartada e as amostras levadas à uma estufa de secagem com circulação de ar forçado, onde permaneceram por 24 horas à temperatura de 105°C. Ao final das 24 horas as amostras secas (Figura 4B) foram submetidas individualmente as análises térmicas e de calorimetria.

Figura 4. Lavagem (A) e obtenção da biomassa seca (B)



Fonte: Autor, 2016

4.3 Análises térmicas

As análises térmicas foram realizadas no Laboratório de Biocombustíveis e Materiais (LACOM) da UFPB.

As curvas de Termogravimetria/Análise térmica diferencial (TG/DTA) foram obtidas em condições não isotérmicas (dinâmica) em um Analisador Térmico [TA Instruments SDT 2960], que permite observar o comportamento dos materiais lignocelulósicos em determinadas variações térmicas. Em atmosferas inerte (nitrogênio), na razão de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, no intervalo de temperaturas de 25-900 °C (divididos em quatro intervalos) e as massa das amostras foram determinadas em torno de 5mg em um cadinho de platina. As curvas da derivada termogravimétrica (DTG) correspondem às curvas TG.

4.4 Análises calorimétricas

As análises de poder calorífico foram realizadas no Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER), Rio Grande do Norte-RN.

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi obtido nas amostras de cana-energia, palha da cana-energia; bagaço de cana-de-açúcar e no eucalipto, com o intuito de determinar qual destas possui maior liberação de calor e o potencial energético com maior eficiência. O PCS foi determinado conforme a norma NBR 11956, utilizando bomba calorimétrica no modo dinâmico. Para todas as amostras, a energia de ignição foi de 17cal e o equipamento foi calibrado com padrão de Ácido Benzóico.

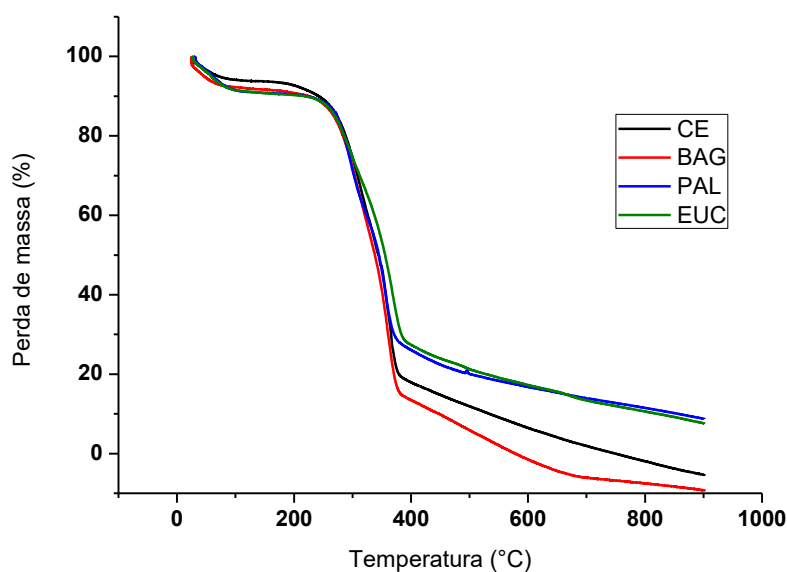
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as análises das biomassas verificou-se que as curvas termogravimétricas apresentam as fases de decomposição de cada constituinte químico das amostras. E o poder calorífico demonstra a relevância da cana-energia como combustível alternativo para queima nas caldeiras na geração de energia elétrica.

5.1 Termogravimetria TG e DTA

Na Figura 5 apresentam-se três etapas de decomposição das matérias presentes nas amostras analisadas: a primeira etapa corresponde a perda de umidade nas massas das biomassas em uma atmosfera inerte (N_2) que inicia-se em torno de $200^{\circ}C$ (Tabela 1) para as amostras de cana-energia (CE) e o bagaço de cana-de-açúcar (BAG). Já para as amostras de palha da cana-energia (PAL) e o eucalipto (EUC), essa primeira etapa ocorre entre $35,1^{\circ}C$ e $51,8^{\circ}C$. Essa perda de umidade ocorre pela facilidade ou não dos materiais desestruturarem sua membrana celular, ou a parte externa onde fica retida a maior parte da água contida na amostra.

Figura 5. Curvas Termogravimétricas (TG) das amostras de cana-energia (CE), bagaço de cana-de-açúcar (BAG), palha da cana-energia (PAL) e o eucalipto (EUC).



Na segunda etapa verifica-se a degradação da matéria orgânica das biomassas, como a celulose e a hemicelulose ocorreu na faixa de temperatura de 94,2°C a 399,5°C.

A maior perda de massa foi da cana-energia e do bagaço de cana-de-açúcar representada no pico dos intervalos de temperatura entre 327,5 °C e 332,4°C, enquanto a palha da cana-energia sofre essa decomposição orgânica a uma temperatura menor, no intervalo de 200°C a 399,5°C (Figura 5), o que está de acordo com os dados de Wild et al., (2009) apud Macêdo 2012 , ao contrário do eucalipto que demonstra elevado teor de holoceluloses (celulose e hemicelulose) perdendo 63,6 % de seu material entre 94,2°C e 395,3°C (Tabela 1).

A matéria que continua são as cinzas residuais das amostras correspondendo a terceira etapa de decomposição dos materiais. A cana-energia, o bagaço de cana-de-açúcar, a palha da cana-energia e o eucalipto chegam a esta etapa com mais de 70% de sua massa já degradada (Tabela 1). De acordo com (BRAGA *et al* 2014), a resistência térmica demonstrada pela lignina é proveniente de uma estrutura poliaromática concentrada nos espaços entre microfibras e regiões amorfas entre os cristais de celulose.

Tabela1. Etapas da perda de massa das amostras de acordo com a variância das temperaturas.

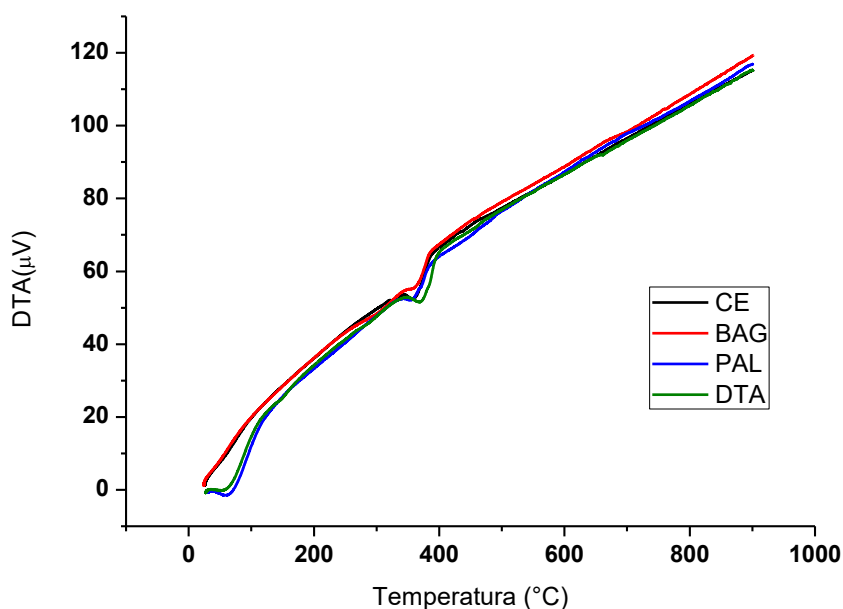
Amostra	Etapas	Perda de massa (%)	Intervalo de Temperatura (°C)
CE	1°	33,5	197,8-327,5
	2°	40,3	327,5-386,7
	3°	24,4	386,7-901
BAG	1°	37,0	211,3-332,4
	2°	38,8	332,4-385,3
	3°	23,9	385,3-900,0
PAL	1°	6,99	35,1 – 106,3
	2°	63,97	106,3 – 399,5
	3°	17,46	399,5-900,1
EUC	1°	8,25	51,8-94,2
	2°	63,6	94,2-395,3
	3°	20,1	395,3-901,8

Fonte: AUTOR ,2015.

A tabela 1 evidencia numericamente as perdas de massas em cada etapa a determinados intervalos de temperaturas das amostras analisadas, de cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar, palha de cana-energia e o eucalipto.

As análises termogravimétricas demonstraram com clareza os picos de relevância de análise das amostras (Figura 6). No entanto não foi notável a degradação da celulose e hemicelulose separadas, ou seja, as três etapas da TG são respectivamente, a perda de umidade, degradação da matéria orgânica da holocelulose (celulose e hemicelulose) e a decomposição da lignina no último evento. Na DTA, apresenta dois picos endotérmicos para a palha da cana-energia e o eucalipto. A cana-energia e o bagaço da cana-de-açúcar só tiveram saliência de pico no segundo evento, na degradação da matéria orgânica (Figura 6).

Figura 6. Curvas da Análise Térmica Diferencial (DTA) Termogravimétricas das amostras de cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar, palha da cana-energia e do eucalipto.



A palha da cana-energia e o eucalipto apresentaram duas transições bem semelhantes que variou entre as temperaturas de 51,8°C e 94,2°C correspondendo a primeira etapa de perda de umidade (Tabela 2). As demais

amostras apresentaram um comportamento endotérmico no intervalo de temperatura de pico entre 358 e 390°C representando a degradação da matéria orgânica.

Tabela 2. Resultados das Curvas de Análise Térmica Diferencia (DTA) das amostras de cana-energia, bagaço de cana-de-açúcar, palha da cana-energia e eucalipto.

Amostra	Etapas	Intervalo de Temperatura (°C)	Temperatura de Pico (°C)
CE	1°	320,3-342,6	342,5
	2°	342,6-390,8	358,6
BAG	1°	267,5-366,9	267,6
	2°	366,9 -387,0	386,7
PAL	1°	31,9-109,4	59,9
	2°	331,9-390,5	389,1
EUC	1°	51,8-94,2	51,8
	2°	94,2-395,3	367,7

Fonte: Autor,2015.

5.2 Poder Calorífico

Na Tabela 3 verifica-se que houve pouca variação entre os valores obtidos na análise do poder calorífico superior, devido às amostras terem a mesma constituição química, porém a palha da cana-energia teve um poder calorífico maior que as demais amostras, possivelmente devido a menor umidade presente neste material, se apresentando como uma alternativa a mais para somar juntamente com a cana-energia para queima em caldeiras e a diminuição de resíduos no solo. O poder calorífico representa o potencial para combustão de cada matéria orgânica analisada. Estudos mostram que a combustão direta da madeira é sem dúvida o processo mais simples e econômico de obter energia (Earl, 1975, citado por Cunha et al., 1989).

Tabela 3. Poder calorífico superior (PCS) das amostras de bagaço de cana-de-açúcar, cana-energia, palha da cana-energia e o eucalipto.

Identificação da Amostra	PCS	Massa Pesada
BAG	3.907,0 cal/g	0,1089 g
CAE	3.914,3 cal/g	0,1059 g
PAL	4.084,3 cal/g	0,1024 g
EUC	3.852,7 cal/g	0,1025 g

Fonte: Autor,2015.

Estudos realizados sobre o poder calorífico superior (PCS) já estabelecem uma média de valores para demonstrar o potencial energético de culturas florestais como o eucalipto e vegetais como o bagaço de cana-de-açúcar convencional, que por ser um subproduto já utilizado como combustível de caldeiras há alguns anos. O poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos, em diversas amostras de *Eucalyptus grandis* variou entre 4.501 a 4.790 kcal/kg (QUIRINO et al. 2005). O poder calorífico pode ser alterado em decorrência da porcentagem de umidade presente na biomassa. O poder calorífico superior em cada nível de umidade, nota-se considerável acréscimo com a diminuição da umidade (SILVA e MORAIS, 2008). Segundo esses autores no bagaço da cana-de-açúcar pode ser observado o poder calorífico variando de 4.360 a 2.275 kcal/kg sendo este último valor correspondente a 50% de umidade da amostra. Como visto, apesar de ser utilizado como fonte alternativa energética, o bagaço de cana-de-açúcar “in natura”, apresentando essa porcentagem de umidade não queima tão bem como o óleo combustível, acarretando uma diminuição na eficiência térmica nas caldeiras dos usuários de bagaço (PAOLIELLO,2006).

Os dados obtidos no presente trabalho acerca do poder calorífico superior (PCS) da cana-energia e da palha da cana-energia comparados aos dados de bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto presentes na literatura revelam que essas biomassas apresentam forte potencialidade na geração de energia, e ainda contam com a vantagem de serem utilizadas a partir da

colheita, já que não precisam de processamento anterior, podendo ser usado diretamente na combustão, em substituição ao eucalipto que já é retratado pela literatura com alto poder calorífico superior a 4000 cal/g, porém com alta demanda para obtenção de subprodutos de outras indústrias. Portanto este estudo revela que a cana-energia juntamente com sua palha, são biomassas promissoras na geração de energia elétrica por combustão, possuindo um valor energético renovável.

6 CONCLUSÕES

- O poder calorífico da cana-energia é semelhante ao bagaço da cana-de-açúcar e o eucalipto;
- O poder calorífico da palha da cana-energia foi superior às demais amostras;
- A palha da cana-energia e o eucalipto perdem massa em menores temperaturas;
- A cana-energia e o bagaço da cana-de-açúcar perdem massa em temperaturas mais elevadas em relação às demais amostras.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Análises térmicas para a cana-energia com diferentes porcentagem para umidade;
- Utilização da cana-energia em industrias diversas;
- Relação entre composição química e geração de produtos através da cana-energia.

8 REFERÊNCIAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2009 – ano base 2008. ABRAF, Brasília, 2009. 31 p.

ALVES, J. M. B.; MACRI, R. C. V. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO: ESTUDO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS E APLICAÇÕES DA LIGNINA. FATEC- Barretos. 2013.

ANDRADE, E.N. **O eucalipto e suas aplicações**. São Paulo: Typ. Brasil de Rothschild & Xia, 1928. 143p.

ANDRADE, G.A.; GAZZONI, D. L. Agroenergia: situação atual e perspectivas - Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais; Disponível em: http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio/projeto/palestras/capitulo_27.pdf; Acessado em: 10/4/2012

ANEEL 2009 – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em : maio de 2016.

ANEEL 2008 – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: maio de 2016.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim mensal de biodiesel. Janeiro de 2013

ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling in a Eucalyptus oblique (L'Herit) forest. IV. Nutrient uptake and nutrition return. Australian Journal of Botany, Collingwood, v. 28, n. 2, p. 199-222, Mar./Apr. 1980.

BALLARD, R. Fertilization of plantations. In: BOWEN, G. D., NAMBIAR, E. K. S. (eds.) Nutrition of plantation forests. London: Academic Press, 1984. p. 327-360.

BALLONI, E. A. Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento de Pinus caribaea Morelet Var. bahamensis (Griseb) Barret et Golfari em solo de cerrado do Estado de São Paulo. 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1984.

BARROS, E. V. B. A Matriz Energética Mundial e a competitividade das nações – Bases De Uma Nova Geopolítica. **Engevista**, v. 9, n. 1, PP.47-56, junho 2007.

BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, W.D.; SOUZA, A. P. **BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR**. As Rotas Para o Etanol Celulósico No Brasil. 370p. São Paulo-SP. Editora Blucher Ltda. 2010.

BUENO, G. D.; TADEU, É. G. C.; Princípios e aplicações de análises térmicas. USP, p. 6,2012..

CANA-ENERGIA- Melhoramento genético. SIFAEG. Jun,2016. Disponível em: < <http://www.sifaeg.com.br/noticias/cana-energia-2/>>. Acesso em: 04 mai, 2016.

CASTRO, M. D. G. CORREIA, A. J. OLIVEIRA, A. A. FRANCISCO, R. M. COGERAÇÃO A PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DEAÇÚCAR: ALTERNATIVA PARA EXPANSÃO DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA. Londrina- Paraná.2015.

CAVALHEIRO, E. T. G. A influência de Fatores experimentais nos Resultados de Análises Termogravimétricas.São Carlos, SP. 1995.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**. CGEE,2001. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

CGEE (2010). *Química Verde no Brasil: 2010-2030*. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

COMISSÃO Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro: FGV, p. 44-50, 1988.

COOMBS, J. Sugar-cane as an energy crop. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* ed.1, p.311-345, 1984.

COUTO, L.; Muller, M. **Bioenergia & Biorrefinaria**. Viçosa,MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 303p.

COUTO, L.; MÜLLER M.D.; DIAS, A.N.; TSUKAMOTO, A.A.; FONSECA, E.M.B.; CORRÊA, M.R. **Espaçamentos de plantio de espécies de rápido crescimento para dendroenergia**. Belo Horizonte: CEMIG, 2002. 66P.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Florestas plantadas para energia**: aspectos técnicos, sócio-econômicos e ambientais. In: CONFERÊNCIA - SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL: OS PRÓXIMOS VINTE ANOS, 2002. Campinas: UNICAMP, 2002 Disponível em: <<http://www.cgu.unicamp.br/energia2020>> Acesso em: 15 dez. 2006.

CRANE, W. J. B., RAISON, R. J. Removal of phosphorus in logs when harvesting *Eucalyptus delegatensis* and *Pinus radiata* forests on short and long rotations. *Australian Forestry*, Yarralumla, v. 43, n. 4, p. 253-260, Oct./Dec. 1980.

CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. Anais... São Carlos: 1989. v.2, p. 93-121.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES DE ANÁLISES TÉRMICAS. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2012.

DRABER, K. M. M. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO JÁ É REALIDADE. Lorena, SP. 2013.

EL BASSAM, N. *Energy Plant Species*. London: Science Publishers Ltd. p.321, 1998.

Geração com Biomassa cresce na matriz energética. Disponível em: <<http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=3905#>> Publicado em: 03/02/2016. Acesso em: 27 mai.2016.

GOVERNO lança Plano Nacional de Agroenergia. **Agroanalysis: Revista de Agronegócios**, v.25, n.10, p.34-35, 2005.

HALL, O. D.; HOUSE, I. J.; SCRASE, I. **USO DA BIOMASSA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA.** Visão Geral de Energia e Biomassa. Campinas-SP. Editora Unicamp. 28p. 2008.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

LORA, E. E. S. **Tecnologia e Aplicação Racional da Energia Elétrica e de Fontes Renováveis na Agricultura.** In: Odivaldo José Seraphim. (Org.). *Tecnologia e Aplicação Racional de Energia Elétrica e de Fontes Renováveis na Agricultura*. Campina Grande, Paraíba: UFPB, v. 1, pp. 97-134, 1997.

LORA, E. E. S.; TEIXEIRA, F. N. Energia e Meio Ambiente. In: Milton Marques; Jamil Haddad; André Ramon Silva Martins. (ORG). *Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*, v. 1, pp. 30-93, Itajubá: UNIFEI, 2001.

MACEDO, L. A. (2012). Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis processo de torrefação. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM - 189/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 49p.

MARCELO, C. F. Determinação da relação Siringila/Guaiacila em ligninas de *eucalyptus spp.* Por pirólise associada a cromatografia gasosa e a espectrometria de massas. VIÇOSA, MG. 2007.

MARIANO, J. Cana-energia, a revolução sucroenergética está começando.

NOVA CANA. out,2015. Disponível em:

<https://www.novacana.com/n/cana/variedades/especial-cana-energia-revolucao-sucroenergetica-201015/>>. Acesso em: 11 mai, 2016.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J. A.; MACCHERONI, W.; FOUTO, I. Bioenergia da Cana. In: Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool. (Eds. Santos, F.; Borém, A. e Caldas, C.) 2 ed. Viçosa: UFV, v.1. p 487-517, 2012.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>> Acesso em: 18 de agosto de 2005.

NOGUEIRA, E.W.; BISPO, C. J. C.; FRANCO, D. S. Potencial de utilização do eucalipto para geração de energia no município de Paragominas/PA, Brasil. 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2014.

PAOLIELLO, J. M. M. *Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira*. Bauru, 2006. 180p. Dissertação (Mestre em Engenharia) –Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista.

QUIRINO, F.W. VALE, T.A. ANDRADE, A. A. P. ABREU, S. L. V. AZEVEDO, S. C. A. **PODER CALORÍFICO DA MADEIRA E DE MATERIAIS LIGNO-CELULÓSICOS**. Publicado na Revista da Madeira. Nº 89 . Abril 2005. pag 100-106.

RAMOS, R. S. SELEÇÃO DE CANA ENERGIA. VIÇOSA, MINAS GERAIS – BRASIL. 2015.

RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; RODRIGUES, K. J. C.; ALEXANRE, G. P. ESTUDO DE ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE DIFERENTES BIOMASSAS LIGNOCELULÓSICAS UTILIZANDO A ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. Santa Maria. 2015.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds). Relação solo eucalipto. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. cap. 7, p. 265- 302.

Revista Opiniões. Açúcar e Álcool. **Sobre energias renováveis**. Editora WDS: Ribeirão Preto. São Paulo. Jan-mar 2008.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação**. TCC. UFJF. Juíz de Fora. 2010.

ROSSETTO, R. A bioenergia, a cana energia e outras culturas energéticas. Pesquisa e Tecnologia. V. 9, n. 1, 2012.

R. S. SANTOS, F.K.P. ALVES , A. P. F. C. VANZELA, L. A. PANTOJA, A. S. SANTOS. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO SUBMERSA PARA PRODUÇÃO DE XILANASE POR *Aspergillus tubingensis* AN1257 COM USO DE TORTA DE CAROÇO DE ALGODÃO COMO FONTE DE CARBONO. Florianópolis-SC. 2014.

Santos FA, Queiróz JH, Colodette JL, Fernandes AS, Guimarães VM, Rezende ST (2012). Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. Quim. Nova 35: 1004-1010.

SCHMER, M.R.; VOGEL, K.P.; MITCHELL, R.B.; PERRIN, R.K. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. PANS 105: p.464-469, 2008.

SEGUNDO, V. B. S.; SILVA, S. I. S. ; RESENDE, F. R.; NÓBREGA, L. A. ; SOUZA, A. G. ; SANTOS, N. A. POTENCIAL DA CANA ENERGIA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL. CONGESTAS, João Pessoa, PB. 2014.

SILVA, B. M. MORAES, S. A. **AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO BAGAÇO DE CANA EM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE E GRAUS DE COMPACTAÇÃO**. Xxviii encontro nacional de engenharia de produção. A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

STICKLEN, M. B. Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol. Nature Reviews v. 9, p. 433-443, 2008

Sun Y, Cheng JY (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology 83:1-11 Tew TL, Cobill RM (2008) Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: Vermerris W (ed) Genetic Improvement of Bioenergy Crops. Springer, New York, pp 249-271

TRUGUILHO, P. F. ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais. MG.

VIOLANTE, M. H. S. R. Potencial de produção de cana-energia. Dissertação. FGV. São Paulo, 2012.

WOODARD, K.R.; PRINE, G.M. Dry matter accumulation of elephantgrass energycane and elephantmillet in a subtropical climate. *Crop Science* v. 33, p.818-824, 1933.

YUAN, J.S.; TILLER, K.H.; AL-AHMAD, H.; STEWART, N.R.; STEWART Jr., C.N. Plants to power: bioenergy to fuel the future. *Trends in Plant Science* 13:421-429, 2008.