

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UNB PLANALTINA  
CURSO DE GESTÃO DO AGRONEGÓCIO**

TAINÁ ALVES DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE FOLHAS SENESCENTES DA  
MACÚBA *ACROMIA ACULEATA* PARA A PRODUÇÃO DE  
BIOELETRICIDADE A PARTIR DO PREÇO DE VENDA.**

Brasília - DF  
2017

TAINÁ ALVES DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE FOLHAS SENESCENTES DA  
MACÚBA *ACROCOMIA ACULEATA* PARA A PRODUÇÃO DE  
BIOENERGIA A PARTIR DO PREÇO DE VENDA.**

Relatório final de estágio supervisionado apresentado à Universidade de Brasília, *campus* Planaltina como parte do requisito para a aquisição do título de bacharel em Gestão do Agronegócio.

Orientador: Reinaldo José de Miranda Filho

Brasília - DF  
2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter tido a oportunidade de entrar na Universidade de Brasília, quando se estuda a vida inteira em escola pública entrar na UnB se torna um sonho difícil de se conquistar.

Agradeço a minha família que me apoiou em tudo e que não duvidou da minha capacidade. Muitas vezes pensei em desistir, mas para que serve a família e os amigos? As dificuldades sempre existiram em contrapartida as oportunidades e superações foram de maior valia.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo deste curso, Wilstefânia, Thaís, Matheus, Rafael Henrique e Rubens, por todas as risadas, por todas as rodadas de cerveja, pelos momentos de seriedade, dedicação e alguns de desespero e por todas as viagens maravilhosas, apesar dos contratemplos.

Agradeço por ter tido ótimos professores!

*“Agradeço a meu Deus toda vez que me lembro  
de vocês.”*

*(Filipenses 1:3)*

## RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira nativa do cerrado amplamente distribuída no território nacional. Este recurso da biodiversidade brasileira apresenta elevado potencial para produção de óleo e biomassa. Atualmente é considerada a maior fonte alternativa potencial, entre espécies nativas do Brasil, não somente pela produção de óleo, mas também com potencial cogeração de energia através das folhas senescentes. A partir destes dados realizou-se um experimento na EMBRAPA Cerrados em Planaltina - DF com a intenção de avaliar o potencial de produção de óleo para a produção de biodiesel, com o passar do tempo verificou-se a necessidade de atribuir destinação ao relevante acúmulo de folhas secas de macaúba, a alternativa encontrada foi baseada na produção de energia elétrica que teve por objetivo analisar a viabilidade a partir do preço de venda da mesma. Os dados obtidos para esta análise de viabilidade buscaram verificar o potencial calorífico a partir da queima para a produção de energia, com isso, foi constatado em comparação ao poder calorífico da Cana de Açúcar que, a macaúba possui metade do acúmulo de biomassa, porém, obtém aproximadamente o mesmo poder calorífico ao da Cana de Açúcar, além destas informações o que determina o preço de venda são vários fatores como: estar inserido no mercado cativo onde a Aneel que estima o preço médio de venda de energia do MWh, a estimativa de produção, ou no mercado livre onde é negociado pelo vendedor e comprador os valores, outros fatores influenciam como: consumo interno, dependendo da quantidade excedente, verificar a tensão da rede elétrica do qual deseja conecta-se e equipamentos e estrutura que exigem investimento de médio a alto custo, irá depender da quantidade de biomassa disponível e entre outros fatores. Por fim, pode-se concluir que a macaúba apresenta potencial para a produção de energia elétrica, contudo é necessário avaliar a escala de produção o que ocasionará na destinação das folhas secas, se é para produção de bioeletricidade ou ser mantida no solo.

**Palavras-chave:** Macaúba (*Acrocomia aculeata*). Biodiesel. Bioenergia. Bioeletricidade (energia elétrica). Valor de venda da bioeletricidade.

## ABSTRACT

The macaúba (*Acrocomia aculeata*) is a palm tree native to the cerrado, widely distributed in the national territory. This Brazilian biodiversity resource presents high potential for oil and biomass production. It is currently considered the largest potential alternative source among Brazilian native species, not only for the production of oil, but also with potential cogeneration of energy through the senescent leaves. From these data an experiment was carried out at EMBRAPA Cerrados in Planaltina - DF with the intention of evaluating the potential of oil production for the production of biodiesel, with the passage of time it was verified the need to assign destination to the relevant accumulation of dry leaves of macaúba, the alternative found was based on the production of electric energy that had as objective to analyze the feasibility from the sale price of the same one. The data obtained for this feasibility analysis sought to verify the calorific potential from the burning to the energy production, with that, it was verified in comparison to the calorific power of the Sugar Cane that, the macaúba has half of the accumulation of biomass, however, obtains approximately the same calorific value as that of Sugarcane. In addition to this information, what determines the sale price are several factors, such as: Being inserted in the captive market where Aneel, which estimates the MWh average energy sales price, production estimate, or in the free market where the seller and buyer negotiate the values, other factors influence such as: internal consumption, depending on the quantity surplus, check the voltage of the electrical grid from which you want to connect and equipment and structure that require medium to high cost, will depend on the amount of biomass available and among other factors. Finally, it can be concluded that macaúba presents potential for the production of electric energy, however it is necessary to evaluate the scale of production which will cause in the destination of the dry leaves, if it is for bioelectricity production or be kept in the soil.

**Key words:** Macaúba (*Acrocomia aculeata*), Biodiesel, Bioenergy, Bioelectricity (electricity), Value of bioelectricity sales.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Objetivo geral: .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Objetivos específicos: .....</b>	<b>11</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 A produção de bioenergia no Brasil.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 A Macaúba como fonte de biodiesel no Brasil .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 A produção de bioenergia a partir das folhas senescentes de Macaúba .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Preço de venda de bioenergia no Brasil.....</b>	<b>22</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>5. RESULTADO E DISCUSSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## Índice de figuras

Figura 1 Representação das fontes de energia interna mais a importada .....	13
Figura 2 Produção de energia interna a partir das fontes .....	14
Figura 3 Produção das fontes de energia interna mais a importada no ano de 2016.....	15
Figura 4 Produção interna de energia por setor .....	16
Figura 5 Demanda por energia elétrica x Potencial da bioeletricidade (em MW médios).....	20
Figura 6 Ambientes de contratação .....	23
Figura 7 Comercialização de energia elétrica no setor elétrico brasileiro.....	24
Figura 8 Critérios de seleção de distribuição de energia. ....	25
Figura 9 Funcionamento físico do sistema.....	26
Figura 10 Quadro comparativo entre fontes de biomassa palha da cana-de-açúcar e folha senescente de macaúba em relação a produção de resíduo e energia. ....	1
Figura 11. Valores de nutricionais das folhas secas.....	3
Figura 12. Diagnóstico dos solos com ocorrência natural de macaúba em MG.....	4
Figura 13. Teor e acúmulo de nutrientes na palha e quantidade de nutrientes retirados da área em função da quantidade de palha retirada.....	4

## 1.INTRODUÇÃO

Atualmente grande parte das nações do mundo estão na fase de transição no uso de fontes de energia, na busca por fontes renováveis em prol da substituição dos combustíveis fósseis. Em função da crise energética mundial, dada pela oscilação de preço do petróleo e pelo aquecimento global, houve abertura do mercado consumidor por fontes de energia renováveis, mais baratas e menos poluentes (Miragaya, 2005). O crescente consumo exige alterações para redução de utilização de combustíveis não renováveis, e por esse motivo a pesquisa com bioenergia, principalmente de palmeiras se torna de grande importância, já que o Brasil possui uma das maiores diversidades de palmeiras do mundo.

A macaúba é uma palmeira rústica que pertence à família Arecaceae, antes conhecida por *Palmae*, motivo pelo qual as plantas desta família são conhecidas popularmente como palmáceas. Essa palmeira pode ser encontrada em toda a América Latina, entretanto, as maiores concentrações nativas estão localizadas em Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (Lorenzi, 2006).

Segundo Conceição, 2011 o recente cenário global prevê uma alta de preços do barril de petróleo, além do aumento da demanda pelo seu consumo, desta forma muitos países tomaram iniciativas, inclusive o Brasil, a investir em programas de produção de óleos vegetais em substituição ao óleo fóssil.

Além da diminuição da dependência externa de petróleo e aumento da demanda por combustíveis, o estabelecimento de metas acordadas para redução dos níveis dos gases de efeito estufa pelos países desenvolvidos adiciona-se as justificativas para o uso de fontes de energia renováveis.

Afora, o uso da macaúba como fonte de biodiesel vem sendo estudado o potencial de geração de energia elétrica através das folhas senescentes, que apresenta potencial comparado à cana de açúcar, o que pode ser justificado pelo crescente aumento do consumo de energia necessitando de um planejamento estratégico para promover uma maior diversificação da matriz energética brasileira, hoje ainda altamente dependente da hidroeletricidade (FIOMARI, 2008).

Outro fator importante no cenário atual a ser levado em consideração é o apelo ambiental. Uma das alternativas para atender a demanda tem sido a descentralização por meio de pequenas usinas hidrelétricas e termelétricas, com realce para o reforço energético do setor sucroalcooleiro pela cogeração de energia utilizando tanto o bagaço da cana como a biomassa

que compõe a planta em seu cultivo (ROMÃO JÚNIOR, 2009). Neste sentido, a utilização da folha senescente da macaúba cultivada para geração de energia, surge como uma nova conveniência de aproveitamento deste resíduo, e, provavelmente, um acréscimo para os rendimentos a futuros produtores de macaúba.

Segundo Ministério do Meio Ambiente pode ser considerado biomassa todo recurso renovável que é advindo de matéria orgânica e tem por finalidade a produção de energia. Uma importante vantagem do aproveitamento da biomassa, é que sua utilização é feita diretamente por meio da combustão em fornos e caldeiras. Devido a isso, a biomassa vem tendo um acréscimo em seu emprego para a geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração (combinação da produção de calor e eletricidade) (MMA, 2015).

A energia advinda de biomassa apresenta a vantagem de ser de fonte renovável (matérias de origem vegetal), sendo essas fontes renovadas em intervalos curtos de tempo. Atualmente são diversos os materiais utilizados como biomassa para geração de energia, compreendendo bagaço de cana, lenha de florestas naturais, cultivo de madeira especificamente para finalidade energética, resíduos industriais de serrarias, celulose e até mesmo o biogás advindo da decomposição de dejetos (OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2014).

Desta maneira este trabalho buscou apresentar a viabilidade do uso de folhas senescentes de macaúba para a produção de energia elétrica, ou seja, bioeletricidade através do preço de venda do excedente de energia produzido.

## 2. OBEJTIVOS

### 2.1 Objetivo geral:

Objetivou-se analisar a viabilidade do uso das folhas senescentes de macaúba para a produção de bioenergia.

### 2.2 Objetivos específicos:

- Analisar a matriz energética brasileira com ênfase nas fontes renováveis.
- Verificar a participação da Macaúba como potencial colaboradora de bioenergia na matriz energética brasileira, dando prioridade à produção de energia elétrica a partir das folhas senescentes.
- Estimar o preço de venda de energia advinda das folhas secas de *Acrocomia aculeata*.
- Avaliar a viabilidade para esta operação a partir do preço de venda de bioeletricidade.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A produção de bioenergia no Brasil

Atualmente existe uma crescente preocupação com a produção de energia elétrica no Brasil. Em nosso país a produção de energia elétrica irá suprir a demanda necessária da população daqui a dez anos? Desta forma as fontes alternativas de energia surgem como possível solução para suprir a demanda de energia no país. Segundo Bermann, (2003, p. 19)

As fontes energéticas podem ser classificadas em função da renovabilidade. Enquanto os combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral) são considerados não renováveis, pois levam milhões de anos para se formarem e sua disponibilidade é limitada em função do esgotamento das reservas, a hidroeletricidade e a biomassa (lenha, carvão vegetal, cana de açúcar,...) obtida através do plantio e reflorestamento são consideradas como fontes renováveis que, se bem manejadas, podem assumir o desejável caráter sustentável.

Tendo em vista que quase em totalidade a energia elétrica mundial é condicionada de energia derivada de combustíveis fósseis. Através do petróleo é fornecido energia para veículos motores, através da produção de gasolina, óleo diesel e querosene, mundialmente representa 31% do consumo energético primário. Além disso, também é responsável pelo abastecimento de usinas termelétricas.

Simoni, 2006, apresenta o conceito de energia renovável:

A energia renovável (hidroeletricidade, eólica, solar, biomassa, geotérmica, dos oceanos), como o próprio adjetivo indica, se renova de forma natural (o sol, a água dos rios, marés, ondas, geotermia e ventos) ou antrópica (plantio de fontes de biomassa, utilização de dejetos de humanos e animais).

Com o desígnio de “mostrar saídas para a dependência da água e do petróleo como únicas fontes de produção de energia”, Jorge (2005, p. 56) assinalou as tendências, vantagens, viabilidade do aproveitamento da energia solar, eólica e da biomassa como um recurso para preencher a demanda de energia brasileira e mundial, acrescentando que, Jorge (2005, p. 70) “a limitação das saídas para o desenvolvimento sustentável está mais relacionada à alienação e à conveniência do que à escassez dos recursos em si”.

Neste aspecto o Brasil tem se empenhado em incentivar tecnologias renováveis para substituição de combustíveis derivados de fontes não renováveis, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente de 2014 o Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol. Em relação à energia originada de hidrelétricas representam 70% de energia elétrica brasileira.

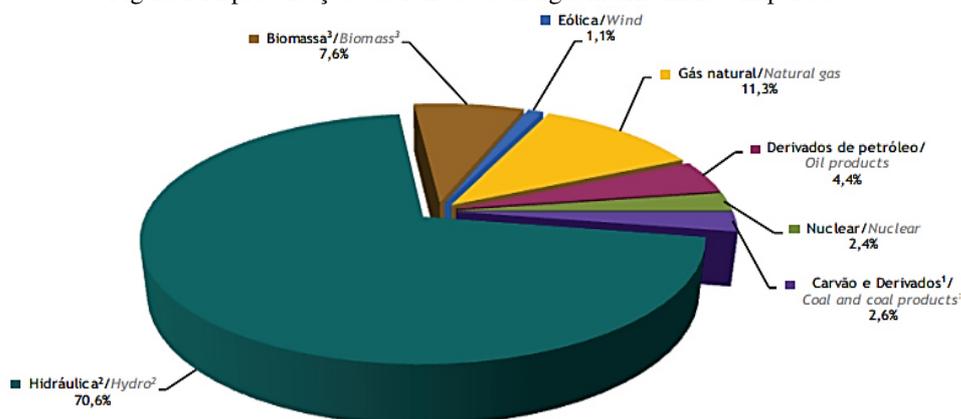
A utilização intensa de combustíveis de origem não renovável, para fins energéticos, tem sido apontada como a principal causa para o aumento da concentração de gases poluentes na atmosfera, com conseqüentes mudanças climáticas nos últimos anos. Assim, as fontes renováveis de energia vêm ganhando destaque diante das discussões globais para controle e/ou estabilização das concentrações de gases na atmosfera (OLIVEIRA, 2007).

Buscando alienar-se sobre as questões energéticas do Brasil o Ministério de Minas e Energia realiza anualmente um relatório sobre o BEN (Balanço Energético Nacional) que tem por finalidade documentar e divulgar, anualmente, extensa pesquisa e a contabilidade relativas à oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, à importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia.

Para a realização deste relatório anual conta-se com uma empresa pública a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) que tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinados a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Com base nos relatórios do BEN de 2014 e 2017 podemos analisar a demanda de energia no Brasil, a figura 1. Apresenta a participação das fontes de energia no país que é resultante da soma da produção nacional mais as importações, que são de origem renovável.

Figura 1 Representação das fontes de energia interna mais a importada.



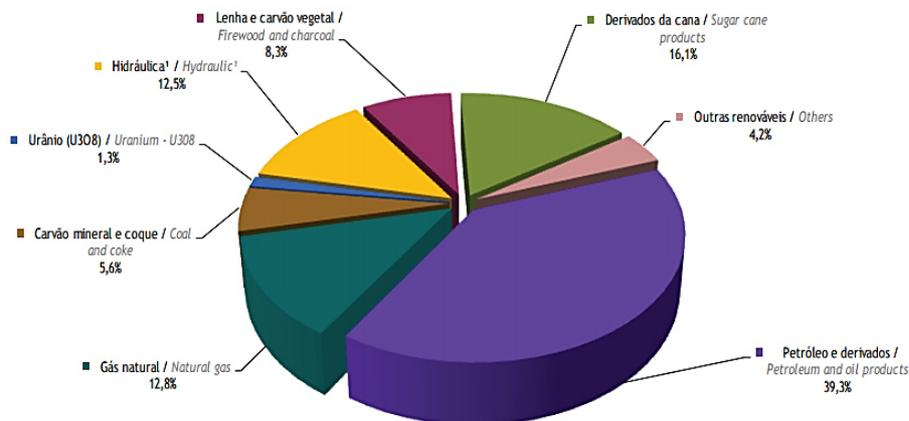
Fonte: apresentação relatório final BEN 2014.

Com base nessa figura pode-se avaliar que a fonte de energia de maior significância em 2014 foi oriunda de hidrelétricas e em segundo lugar por gás natural e em terceiro por biomassa.

A sociedade em que vivemos é altamente dependente da energia fóssil, fontes como petróleo, carvão e gás natural [SARKAR et al., 2011].

A figura 2, a seguir apresenta a produção interna das fontes de energia, e a partir deste gráfico nota-se que a produção interna é dominada pela exploração de combustíveis fósseis, como o petróleo, gás natural e carvão mineral, ou seja, energia esgotável e altamente poluente. No gráfico a energia originada do petróleo corresponde a 39,3%, o gás natural 12,8% e o carvão mineral 5,6%, somando mais da metade com 57,7% de energia oriunda de combustíveis fósseis. Já as hidrelétricas caíram para 12,5%, contudo a Cana de Açúcar ganha destaque sendo sua produção superior à hidrelétrica, desta forma a produção de bioenergia ganha espaço e incentivo à sua produção.

Figura 2 Produção de energia interna a partir das fontes



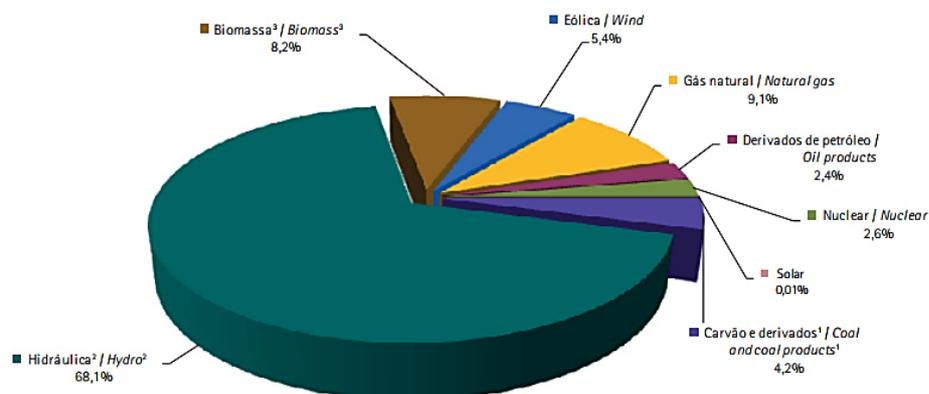
Fonte: apresentação relatório final BEN 2014.

Tomando com referência o relatório final do BEN de 2017 que é baseado no ano de 2016, os valores em relação ao ano de 2014 mostram que a produção interna de energia vem melhorando e dependendo menos da energia advinda de outros países como Argentina e Uruguai, essa importação se dá pelo nível baixo dos reservatórios das usinas hidrelétricas, tendo prazo de importação até 31 de dezembro de 2018.

O crescente aumento do consumo de energia demonstrou a necessidade de um planejamento estratégico para promover uma maior diversificação da matriz energética brasileira, hoje ainda altamente dependente da hidroeletricidade (FIOMARI, 2008).

A figura 3, abaixo apresenta a produção das fontes de energia interna mais a importada no ano de 2016, que aponta a diminuição da energia advinda de hidrelétricas e do petróleo que em 2014 expressava valores em 4,8% e em 2017 apresentou relevante diminuição de produção de energia com 2,4%, assim como exibe aumento de energia oriunda de fontes como a biomassa, solar e a eólica.

Figura 3 Produção das fontes de energia interna mais a importada no ano de 2016.



Fonte: apresentação relatório final BEN 2017.

A partir destes dados pode-se concluir que a energia renovável vem ganhando rápido espaço no cenário energético brasileiro.

Segundo CONCEIÇÃO, 2004:

O estabelecimento de metas quantitativas acordadas para redução dos níveis dos gases de efeito estufa pelos países desenvolvidos, somado ao aumento da demanda por combustíveis, tem impulsionado o uso de fontes de energia renováveis, com o objetivo de, além de diminuir a dependência externa de petróleo, minimizar os efeitos das emissões veiculares na poluição, principalmente nos grandes centros urbanos, e controlar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

O desenvolvimento progressivo do uso de energia advindo de fontes renováveis na matriz energética tende a expandir e obter vantagens como o aumento e diversificação de fornecimento de energia, diversidade na matriz energética, redução dos impactos ambientais por ser pouco poluente, não emitindo dióxido de carbono - de acordo com o ciclo natural de

carbono neutro, a biomassa sólida, sendo as cinzas menos poluentes e mais baratas e segurança de produção já que não depende de combustíveis fósseis.

De forma a apresentar dados mais recentes que comprovam esta afirmação do potencial e rápida substituição de energia a partir de combustíveis fósseis a figura 4, apresenta valores em MW (Megawatts) referentes à produção interna de energia de acordo com os setores de produção ao longo dos anos.

Figura 4 Produção interna de energia por setor

FONTES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	SOURCES
<b>NÃO RENOVÁVEL</b>	<b>51,9</b>	<b>52,1</b>	<b>53,8</b>	<b>53,0</b>	<b>54,8</b>	<b>54,7</b>	<b>54,2</b>	<b>56,5</b>	<b>57,9</b>	<b>58,5</b>	<b>NON-RENEWABLE ENERGY</b>
PETRÓLEO	40,6	39,7	42,0	42,1	42,5	41,7	40,6	42,8	44,1	44,2	PETROLEUM
GÁS NATURAL	8,1	9,0	8,7	9,0	9,3	10,0	10,8	11,6	12,2	12,8	NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	1,0	1,1	0,8	0,8	0,8	1,0	1,3	1,1	0,9	0,9	STEAM COAL
CARVÃO METALÚRGICO	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	METALLURGICAL COAL
URÂNIO (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	1,6	1,7	1,7	0,7	1,6	1,5	0,9	0,2	0,2	0,0	URANIUM - U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	OTHER NON-RENEWABLE
<b>RENOVÁVEL</b>	<b>48,1</b>	<b>47,9</b>	<b>46,2</b>	<b>47,0</b>	<b>45,2</b>	<b>45,3</b>	<b>45,8</b>	<b>43,5</b>	<b>42,1</b>	<b>41,5</b>	<b>RENEWABLE ENERGY</b>
ENERGIA HIDRÁULICA	14,4	13,4	14,0	13,7	14,4	13,9	13,0	11,8	10,8	11,1	HYDRAULIC
LENHA	12,8	12,4	10,2	10,3	10,1	10,0	9,5	9,1	8,7	7,8	FIREWOOD
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	18,1	19,0	18,6	19,3	16,9	17,6	19,1	18,1	17,6	17,2	SUGAR CANE PRODUCTS
EÓLICA	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,6	1,0	WIND
SOLAR									0,0	0,0	SOLAR
OUTRAS RENOVÁVEIS	2,8	3,1	3,3	3,6	3,7	3,7	3,9	4,2	4,3	4,3	OTHER RENEWABLE
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>TOTAL</b>									

Fonte: apresentação relatório final BEN 2017.

Afirma o superintendente de Energias Renováveis da Empresa Cícero Bley Jr que o país tem condições de produzir energia através dos excedentes de produção, transformar resíduos-dejetos em energia com baixo custo e gerar desenvolvimento rural para algumas regiões, ocasionando a descentralização, gerando energia em locais isolados, assim como a produção de bens e serviços locais poderá gerar novas oportunidades de emprego e diminuição do êxodo rural e para complementar o clima tropical brasileiro acaba tornando-se uma vantagem competitiva que poucos países têm disponível no mundo.

Diante das alternativas de produção de energia o biocombustível vem com uma oportunidade excelente de colocação no mercado, pois a energia mais poluente em questão é advinda do petróleo, sendo mais utilizada pelo transporte brasileiro, desta forma alternativas vão aparecendo e se tornando viáveis como o caso da produção de biodiesel a partir da Macaúba *Acrocomia aculeata* que apresenta grande capacidade de produção de biodiesel a partir do óleo por unidade de área, se comparadas às culturas anuais, como soja, girassol e outras oleaginosas.

### 3.2 A Macaúba como fonte de biodiesel no Brasil

Diante da constante busca por ideias inovadoras sustentáveis e a preocupação com o esgotamento de matéria prima e conseqüentemente no futuro próximo o aumento no valor dos derivados de matéria prima oriunda de fósseis, o biodiesel tornou-se uma prioridade nas estratégias de política energética em uma escala global. Sua produção e uso tornaram-se obrigatórios devido aos seus aspectos ambientais (Jegannathan et al., 2011).

Conforme Epamig (2005), o biocombustível é um combustível de queima limpa, derivado de fontes naturais e renováveis como os vegetais. A matéria prima é um dos fundamentais pontos para produção de biodiesel e se deve levar em conta alguns fatores como, o valor agregado em alguns tipos de óleos, podendo impactar no preço final do biodiesel, o percentual de óleo no grão e a produção de grãos por área, a facilidade agrícola de cada região e especialmente a produção de biodiesel por fontes não alimentares. (QUINTELLA et al., 2009).

Mediante alternativas de biocombustíveis a Macaúba (*Acrocomia aculeata*) vem sendo estudada como potencial produtora de biodiesel, apresentando grande potencial para a produção de óleo com amplo aproveitamento em setores industriais e energéticos, com proficiências sobre outras oleaginosas, sobretudo com relação à sua maior rentabilidade agrícolas e produção total de óleo (ROLIM, 1981).

O primeiro aspecto favorável à utilização da macaúba para a produção de combustível é a competência que a fruta tem para gerar coprodutos. Podem ser aproveitados, além do óleo, os produtos da polpa, a amêndoa que se transforma em torta para alimentação do gado, e as fibras que se transformam em carvão de excelente qualidade. (Lorenzi, 2004)

Segundo (Lorenzi, 2004), a Macaúba é uma palmeira que apresenta ampla distribuição geográfica ao longo da América tropical e subtropical ocorrendo especialmente no estado de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo em áreas abertas sujeitas a altos níveis de insolação. A macaúba é uma espécie oleaginosa com grande potencial para a produção de biodiesel, devido à alta produtividade e à qualidade dos óleos do mesocarpo e da semente de seus frutos (Lorenzi, 2006).

A palmeira se adapta a solos arenosos e com baixo índice hídrico permitindo o cultivo em áreas de situação peculiar. Contudo, como qualquer outra planta se desenvolve melhor em solos férteis (Gray, 2005; Missouri, 2005).

Segundo CONCEIÇÃO, 2004,

Diversas espécies de palmeiras têm sido objeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) no Brasil visando à produção de biodiesel. Entre as espécies estudadas, a macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart., uma palmeira nativa das florestas tropicais e amplamente dispersa no território brasileiro. Seu aproveitamento econômico pode ser medido em termos energéticos, como produtora de óleo de polpa para produção de biodiesel e carvão do endocarpo, além do potencial de uso na indústria de alimentos, ração animal e cosméticos.

Assim inúmeras pesquisas indicam a utilização de biomassa para fins energéticos, principalmente para fins de uso como combustíveis. É importante lembrar que biomassa são todos os organismos biológicos que podem ser aproveitados como fontes de energia: a cana-de-açúcar, o eucalipto, a beterraba (dos quais se extrai álcool), o biogás (produzido pela biodegradação anaeróbica existente no lixo e dejetos orgânicos), lenha e carvão vegetal, alguns óleos vegetais (amendoim, soja, dendê, mamona), etc (RAMOS, 2003).

Estudos já apontam que, a uso da biomassa para fins energéticos, vem tendo uma participação crescente diante da matriz energética mundial, levando a estimativa de que até o ano de 2050 poderá duplicar o uso mundial de biomassa disponível (FISCHER, 2001).

A produção de biodiesel a partir da *Acrocomia aculeata*, segue uma das investidas tecnológicas em médio prazo, com a ampliação de sistemas de produção de oleaginosas perenes, onde não é possível o cultivo de dendê devido a restrições ambientais (Gazzoni, 2008).

O potencial produtivo da macaúba já foi comprovado segundo a EMBRAPA, (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) 2014, após estudos e experimentos com a palmeira concluiu que da espécie *Acrocomia aculeata* observados na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais, as melhores plantas alcançaram 6,9 toneladas/hectare de óleo de polpa, utilizado na produção de biocombustíveis, uma produtividade média geral de 114,1 kg/planta/ano, avaliando as regiões avaliadas, a produtividade esperada é de pelo menos 45,6 toneladas/hectare de cachos para uma densidade de cultivo de 400 plantas/hectare. Se for considerada uma eficiência de 70% da extração, o rendimento bruto de óleo por prensagem do fruto fresco poderá atingir 4 toneladas de óleo/hectare/ano da polpa e 0,8 tonelada de óleo/hectare/ano da amêndoa.

Em outro estudo realizado pela Universidade Estadual de Maringá – PR publicado no I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis foi analisado o potencial do óleo da polpa de macaúba para a produção de biodiesel findando que utilização do óleo sendo uma matéria prima de baixo valor comercial e de grande produção, juntamente

com a Amberlyst 15<sup>1</sup> como catalisador, se mostrou próspera para a produção de biodiesel, obtendo teores próximos de 90%.

Além da expansão de produção sustentável o biodiesel tornou-se mais atrativo após o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) que visa beneficiar a agricultura familiar e promover a inclusão social com maior oferta de empregos no campo.

Outro fator motivador de produção foram os resultados de estudos a respeito da qualidade do produto produzido. O biodiesel foi determinado em comparação com o brasileiro (ANP), especificações americanas (ASTM) e europeias (prEN 14214), confirmando o potencial desta matéria-prima para a produção de biodiesel (Rodrigues,2007).

Existem inúmeras vantagens à produção de biodiesel e uma das vantagens é que não é necessária qualquer alteração nos atuais motores do tipo ciclo diesel. Desta forma, é mais simples e menos oneroso os fabricantes conservarem a tecnologia do que modificar os atuais motores, como foi o caso da tecnologia autorregulável do motor Elsbett<sup>2</sup> que já pode funcionar com qualquer tipo de mistura oleaginosa e inclusive biodiesel com banha.

### **3.3 A produção de bioenergia a partir das folhas senescentes de Macaúba**

Atualmente segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), as pressões ambientais protestam por fontes alternativas de energia implicando em incentivos ao melhor aproveitamento energético da biomassa que vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade. E para aumentar a eficiência energética e reduzir impactos socioambientais foram desenvolvidas e aperfeiçoadas tecnologias de conversão mais eficientes como a gaseificação e pirólise, bem como outros processos que também utilizem a biomassa como cogeração de energia elétrica.

A bioenergia é a energia alcançada através da biomassa que por sua vez armazena a energia adquirida do sol por meio do processo da fotossíntese. Uma das vantagens da biomassa é que a energia nela contida pode ficar armazenada por muitos anos. A biomassa é uma fonte de energia renovável, desde que as plantas sejam constantemente cultivadas, e pode ser transformada em combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos, por meio de tecnologias

---

<sup>1</sup> Resina ácida utilizada como catalisador para tornar viável a utilização do óleo de macaúba por possuir alto teor de acidez.

<sup>2</sup> Elsbett é uma empresa que desenvolveu o motor multicomustível que pode usar tanto óleo diesel, como óleos vegetais naturais.

conhecidas, causando calor para aquecimento, eletricidade ou combustíveis (AMARAL & TAVARES, 2013).

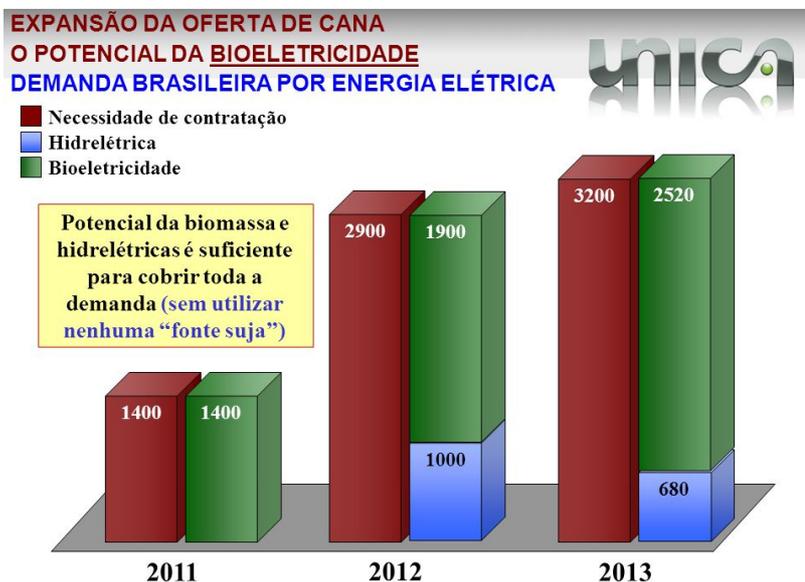
No Brasil a maior produção de bioenergia a partir da biomassa é dos resíduos de Cana de Açúcar, do ponto de vista energético, as usinas sempre produziram um grande volume de bagaço, tornando-se um grande contratempo quanto à acomodação deste bagaço na natureza. Diante deste fato, as usinas instalaram ao longo dos anos, modelos que consomem todo esse subproduto sem deixar nada sobrar. Dessa forma, evita-se o consumo de combustíveis externos e se dispõe do bagaço produzido (ZANETTI, 2006).

Macedo (2004) destaca que no caso das usinas de geração de energia elétrica a biomassa de cana-de-açúcar, apesar de ser emitido carbono na fase da queima do combustível, ocorre o sequestro do carbono da fase do crescimento da cana, assim o balanço das emissões é nulo e os créditos de carbono são conseguidos devido às emissões que são impedidas pela geração de energia elétrica nestas usinas em substituição às usinas térmicas a gás natural ou a óleo combustível, que possuem um balanço de emissões adversas.

Desta forma o setor sucroalcooleiro corrobora acondicionamento para assumir a responsabilidade de ajudar o Brasil a garantir o suprimento de energia elétrica a ser demandado. Garante o presidente da União da Indústria da Cana-de-Açúcar (Unica) no ano de 2008, Marcos Jank, que “Se tivermos a inteligência suficiente para desenvolver um programa adequado de ajustes regulatórios e incentivos, o setor poderá suprir 15% das necessidades elétricas nacionais ou o equivalente a quase duas usinas do porte de Itaipu”.

A figura 5 elaborada pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) apresenta a projeção de necessidade de contratação de energia elétrica juntamente com o potencial de produção de bioeletricidade, do qual demonstra que as hidrelétricas sozinhas não serão capazes de atender toda a demanda, desta maneira afirmando que as hidrelétricas e a bioeletricidade advinda de biomassa serão capazes de assumir esse papel de preencher a lacuna vazia.

Figura 5 Demanda por energia elétrica x Potencial da bioeletricidade (em MW médios).



Fonte: PSR. Elaboração: Única.

Contudo este gráfico foi elaborado no ano de 2008, estamos atualmente em 2017 e vivenciamos recentes quedas de energia, aumento da tarifa, e diminuição do volume de água disponível para produção de energia elétrica, confirmando que é necessário acelerar os processos de produção de energia advindos de fontes renováveis além das hidrelétricas.

Diante destes fatos as folhas senescentes da macaúba proporcionam potencial para a produção de bioeletricidade por acumular elevada quantidade de folhas senescentes, o resíduo da folha de macaúba apresenta potencial de produção de energia comparável à cana-de-açúcar.

Segundo o Ministério de Minas e Energia a geração de energia elétrica a partir da biomassa é uma realidade. A eficiência deste processo energético pode ser significativamente potencializado se, em vez da queima direta, a biomassa for condicionada a um processo de gaseificação e se o gás produzido for usado em um ciclo combinado de geração de eletricidade, por meio de um conjunto de turbina a gás, caldeira de recuperação e turbina a vapor.

Para a geração de energia a partir da biomassa existem algumas formas mais utilizadas, o Ministério Minas e Energia aponta como, a queima direta da biomassa para obtenção do calor para uso em fogões (cocção de alimentos), em fornos (na metalurgia) e em caldeiras (para a geração de vapor). Outra opção é a carbonização ou pirólise que consiste no

aquecimento a uma temperatura de 300° C a 500°C dando origem a um dos principais produtos, o carvão vegetal. E outra forma de transformar biomassa em energia é a gaseificação que consiste em vários processos acontecendo ao mesmo tempo, como pirólise, a combustão e a gaseificação. A mistura de gases gerado no final varia de acordo com as propriedades da biomassa e as condições a que foi submetida como pressão, temperatura e concentração de oxigênio. (FAAJ ET AL.,2005).

Podemos afirmar que a agricultura sempre teve a função de gerar alimentos, fibra e energia, porém hoje, a função de gerar energia cresceu muito em relevância. Se o objetivo é produzir energia, a questão que se coloca é qual a cultura mais eficiente para a produção de energia em determinada região? Certamente temos várias opções, mas a produtividade medida apenas em toneladas de biomassa por hectare, não pode ser comparada entre culturas diferentes (ROSSETTO, 2012; AMARAL & TAVARES, 2013).

### **3.4 Preço de venda de bioenergia no Brasil**

Segundo a ABRADE (Associação Brasileiro de Distribuidores de Energia Elétrica) a tarifa de energia é o preço cobrado por unidade de energia (R\$/kWh<sup>3</sup>). É de se esperar que o preço da energia elétrica seja desenvolvido pelos custos incorridos desde a geração até a sua disponibilização aos consumidores na tomada elétrica. Pelo fato da energia ser um bem de intenso consumo não se paga somente pelo consumo propriamente dito, mas também pela sua disponibilidade de 24 horas por dia, 7 dias por semana, ou seja, não é calculada apenas com a energia efetivamente consumida.

As relações comerciais no atual modelo do setor elétrico brasileiro de compra e venda de energia elétrica se estabelecem no Ambiente de Contratação Regulada – ACR e no Ambiente de Contratação Livre - ACL.

Segundo Torres (2006) “As distribuidoras são obrigadas a comprar energia no ACR e os geradores e as comercializadoras podem negociar tanto no ACR quanto no ACL. Os Consumidores Livres de energia devem negociar no ACL”.

Os consumidores livres de energia segundo ABRACEL foram estabelecidos em 1998, pela Lei no 9.648/1998, que criou dois grupos de consumidores aptos a escolher seu fornecedor de energia elétrica. O primeiro grupo é composto por consumidores acima de 3000

---

<sup>3</sup> Um watt-hora é a quantidade de energia utilizada para alimentar uma carga com potência de um watt pelo período de uma hora

KW atendidas em tensão maior ou igual a 69 kV<sup>4</sup>. Já o segundo grupo é composto por consumidores que possuem demanda maior ou igual que 500 kW<sup>5</sup> atendidos em qualquer tensão, também podendo escolher seu fornecedor, estando restrito à energia oriunda das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH's, Usinas de Biomassa, Usinas Eólicas e Sistemas de Cogeração Qualificada.

Segundo Magalhães (2009),

A principal característica do ACL é a autonomia que os agentes possuem para negociar as condições da compra e venda de energia elétrica. Estas condições compreendem preços, prazos, montantes de energia elétrica e flexibilidades no seu uso, hipóteses de rescisão, penalidades e garantias. São condições que, em geral, seguem refletidas em Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica (CCVEE), os quais podem ser de curto, médio ou longo prazo.

Segundo a CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica) os contratos no ACR tem regulação específica para aspectos como preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento, os quais não são passíveis de alterações bilaterais por parte dos agentes. Apesar de não ser contratada em leilões, a energia gerada pela usina binacional de Itaipu e a energia associada ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa são enquadradas no ACR, pois sua contratação é regulada, com condições específicas definidas pela Aneel.

Figura 6. Ambientes de contratação de energia elétrica.



<sup>4</sup> Tensão de entrada primária em transformadores ligados a redes de sub-distribuição, por exemplo, industriais (6 kV)

<sup>5</sup> Quilowatt ou kilowatt (kW) é unidade de potência correspondente a 10<sup>3</sup> watts.

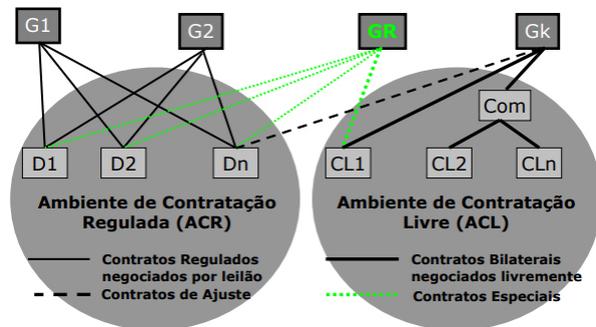
Fonte: Thymos Energia, 2016 com alterações.

No ambiente de contratação regulada, ou seja, consumidor cativo, que se resumem como consumidores residenciais, não participam da negociação nem pode escolher o gerador de energia elétrica. Os contratos são de longo prazo, entre 15 e 30 anos e são contratados em leilões, entre geradores e distribuidores e a energia tem preço fixado por tarifas, sem margem de negociação.

De acordo com Silva (2009), a figura abaixo apresenta as afinidades comerciais entre os diferentes ambientes do qual a concorrência se situa entre os Geradores convencionais de energia elétrica (G), Gerados Renováveis de energia elétrica (GR), Comercializadores de energia elétrica (COM), e Consumidores Livres de energia elétrica (CL).

No caso das Distribuidoras de energia elétrica (D), por serem concessionárias e prevalecer-se um bem público, devem comprar energia por licitação na modalidade de Leilão de Energia, ou seja, estas declaram a sua necessidade de compra de energia elétrica e os vendedores deste produto dão seus lances de venda. Vence o leilão o vendedor que submeter o menor lance para a venda de energia elétrica.

Figura 7 Comercialização de energia elétrica no setor elétrico brasileiro



Fonte: Fábio Stacker Silva, 2009.

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e gerenciado pela Eletrobras, surgiu com o objetivo de ser um instrumento para a diversificação da matriz energética nacional, garantindo maior confiabilidade e segurança ao abastecimento.

De acordo com a CCEE, toda a energia produzida pelos participantes do programa – pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), usinas eólicas e usinas de biomassa – tem garantia de contratação pela Eletrobras por 20 anos. Assim, os contratos do Proinfa representam os

montantes comercializados pela Eletrobras na CCEE, tendo como vendedoras as usinas participantes do Proinfa e como compradoras as concessionárias de distribuição de energia, consumidores livres e especiais e autoprodutores adquirentes da quota-parte deste programa.

A distribuição de energia é caracterizada segundo a Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) como parte do setor elétrico dedicado ao rebaixamento da tensão proveniente do sistema de transmissão, à conexão de centrais geradoras e ao abastecimento de energia elétrica ao consumidor.

O sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV).

No que diz respeito aos agentes de distribuição de energia oriundo de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa que integrem o PROINFA não será necessário licitação para aquisição se estiver dentro dos limites de contratação e repasse aos valores de regulação. Castro (2004).

A figura 8 apresenta de forma esquemática como é realizada a entrega de energia passando por vários processos até chegar ao consumidor final, o que implica em custos de distribuição. O modelo institucional do Setor Elétrico Brasileiro prevê a livre escolha do fornecedor de energia elétrica a um determinado conjunto de consumidores elegíveis (Consumidores Livres e Especiais que atendem aos critérios dos art. 15 e 16 da lei 9.074/95).

Figura 8 Critérios de seleção de distribuição de energia.

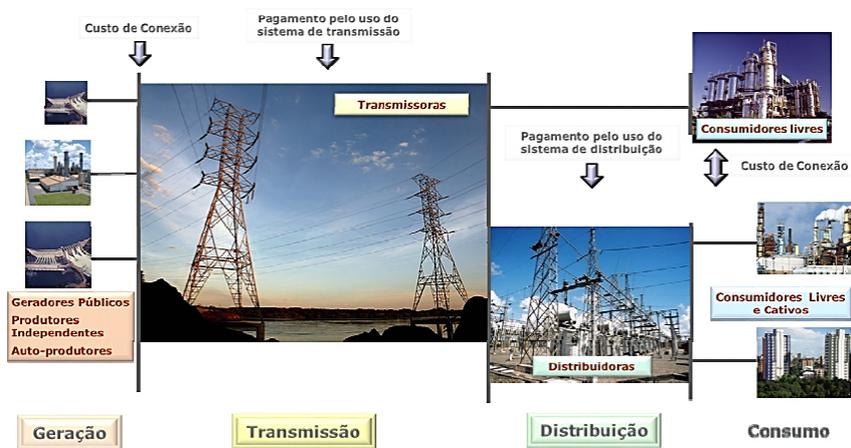
<b>Consumidor</b>	<b>Demanda mínima</b>	<b>Tensão mínima</b>
<b>Livre</b>	3 MW	69 kV
<b>Especial</b>	500 kW – 3 MW	2,3 kV

Fonte: Thymos Energia, 2016.

O consumidor caracterizado como especial ou conjunto de consumidores dispostos em área contígua ou que possuam o mesmo CNPJ, com demanda menor (acima de 500 kW), podem migrar para o mercado livre e escolher seu fornecedor desde que comprem energia proveniente de fonte de geração incentivada: PCH (Pequenas Centrais Hidrelétricas), Biomassa, Eólica e Solar. As fontes incentivadas preveem descontos nas tarifas de transporte de energia (“fio”) de 50%, 80% e 100% conforme a fonte, tendo em vista que o consumo é

menor, como consumidores de pequeno porte, como supermercados, hotéis, shoppings com faturas entre R\$ 60 mil e R\$ 300 mil. Já o consumidor livre é destinado a grande consumidores com uma fatura de R\$ 300 mil a R\$ 500 mil mensais de energia elétrica, como montadoras, siderúrgicas e outras grandes indústrias.

Figura 9 Funcionamento físico do sistema



Fonte: Thyos Energia, 2016.

Segundo cálculo do EPRI (Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica dos EUA) o custo de produção de biomassa florestal em 1990 era de US\$ 25/t e poderia ser reduzido para US\$ 15/t em 2010. O custo de geração de energia com o uso de tecnologias de conversão mais eficientes e o cultivo dedicado de biomassa deverá situar-se em torno de US\$ 0,6/kWh (HALL; HOUSE; SCRASE, 2005)

Assim, ainda segundo ABRADE espera-se que o preço da energia seja satisfatório para arcar com os custos de operação e expansão de todos os elementos elétricos que compõem o sistema, desde a usina geradora até o ramal de ligação dos consumidores de baixa tensão devendo levar em consideração os impostos a serem inclusos neste valor. No caso, estes custos devem suprir as imissões realizadas na rede e a sua operação diária, que devem resultar em baixos índices de falhas e menores tempos para casuais consertos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica realizou o leilão nº 1/2016 (A-5) pela na sede da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica e terminou com a contratação de 49.206.048 MWh de 29 empreendimentos, sendo 8 usinas térmicas movidas à gás natural e

biomassa localizadas nos estados de Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo; 20 Pequenas Centrais Hidrelétricas, do Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Rondônia e Santa Catarina e 1 usina hidrelétrica (UHE) localizada no estado do Paraná.

A potência total das usinas licitadas representa 278,471 megawatts (MW), com 158,1 MW médios de garantia física. O preço médio de venda de energia desses empreendimentos foi de R\$ 198,59/MWh (reais por megawatt-hora), que representou depreciação média de 8,65%.

O preço médio de venda de energia do produto por quantidade (PCH's e UHEs) foi de R\$ 175,80 por megawatt-hora, com deságio de 22,55%. (Para o produto por disponibilidade térmicas a gás natural), o preço médio foi de R\$ 258/MWh, com deságio médio de 11,03% em relação ao preço-teto, de R\$ 290/MWh. Já o preço do produto com disponibilidade térmica de biomassa ficou em R\$ 235,95, com deságio médio de 5,99% em relação ao inicial de R\$251/MWh. No Mercado Livre, o consumidor tem gestão sobre o custo da energia, porém os custos do transporte (tarifa fio) continuam sendo cobrados pelas distribuidoras. Consumidores especiais medem desconto na tarifa fio, consumidores convencionais que compram energia incentivada também tem direito à desconto na tarifa fio.

Desta forma a CCEE afirma que os leilões de energia elétrica realizados por ela em delegação a ANEEL, constituem-se um dos principais mecanismos de comercialização de energia no Brasil.

A produção de bioenergia é uma medida de extrema importância para enfrentarmos os sérios desafios ambientais relacionados com os efeitos das mudanças climáticas globais. Ainda que a bioenergia não seja a única solução para este problema, ela certamente contribuirá para mitigar as emissões de combustíveis fósseis (BARCELOS, 2012).

#### 4. METODOLOGIA

Os dados obtidos para a realização deste trabalho foram conseguidos através de experimentos realizados na EMBRAPA Cerrados onde foram efetuadas análises laboratoriais e experimentos que tinham por objetivo estimar a produção de biodiesel a partir da macaúba com início em dezembro de 2008 quando se deu o plantio da cultura com espaçamento de 5m X5m. Para a correção de acidez no solo foram 3 t/ha de calcário e 2 t/ha de gesso; a adubação de base na cova com 300g de NPK (formulação 04-30-16) e adubação de cobertura em 60 e 120 dias após o plantio com 100g de sulfato de amônio. O objetivo inicial do experimento é avaliar resposta à irrigação e adubação em dois acessos (acesso DF e acesso SP) de macaúba cultivada.

Com o passar do tempo outras questões além do esperado foram surgindo e uma das questões foi o pensar em alternativas de destinação às folhas senescentes da palmeira que, por gerar um acúmulo relativamente alto se fez necessário atribuir alguma operação. Dentre essas alternativas encontrou-se a retroalimentação da palmeira necessitando de análises das folhas secas que pudessem mostrar os valores nutritivos e a possibilidade da reciclagem de nutrientes. Outra alternativa em questão se deu a destinação das folhas senescentes à produção de bioenergia, ocasionando análises laboratoriais para avaliar o potencial de queima e geração de energia elétrica.

Com este objetivo foram avaliados caracteres relacionados à produção de biomassa e potencial de energia produzido avaliando os seguintes fatores: energia produzida em uma tonelada de biomassa (ENERGIA/TON BIOMASSA), total de biomassa de folhas senescentes produzida por ano (TOTAL BIOMASSA) e estimativa de energia produzida em 1 ha/ano com base na biomassa produzida (TOTAL ENERGIA). Com base nestas amostras laboratoriais a macaúba acumula elevada quantidade de folhas senescentes apresentando potencial para produção de energia. Entretanto o uso da irrigação ou a origem da matéria não favorece o maior acúmulo de biomassa ou produção de energia. O resíduo da folha de macaúba apresenta potencial de produção de energia comparável à cana-de-açúcar. (CASTRO, 2015<sup>[T2]</sup>)

Para a obtenção de valores de venda da bioenergia foram realizadas pesquisas bibliográficas e documentais do qual a bibliográfica é obtida a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Já a documental recorre a fontes mais diversificadas

e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc. (FONSECA, 2002, p. 32).

## 5. RESULTADO E DISCUSSÕES

Mediante experimentos realizados na EMBRAPA Cerrados com a Macaúba para a produção de biodiesel, notou-se que a mesma produz um volume de folhas secas relativamente alto. Diante desta situação viu-se a oportunidade de dar uma destinação a essas folhas, com isso uma das alternativas encontradas para solução deste entrave foi o encaminhamento destas folhas secas para a produção de bioenergia e para a adubação da própria planta.

Para a produção de energia o retorno seria financeiro e para a adubação seria aproveitamento dos resíduos envolvendo aspectos como cobertura de solo e reciclagem de nutrientes.

A destinação da energia produzida poderá tomar dois caminhos: o primeiro caminho é para próprio consumo e o segundo caminho é vender o excedente da produção podendo ser conectado a rede ou não, “fio”.

Quando se fala em vender o excedente de energia produzida ocasiona questões de como fornecer essa energia, sendo necessário saber qual o provável potencial de energia que será produzido e ainda sim verificar se existe um rede elétrica com a tensão pretendida próximo ao local de produção de energia.

A figura abaixo apresenta um comparativo calorífico e de massa fornecido entre a palha de cana de açúcar e as folhas senescentes de Macaúba. Os dados transmitidos afirmam que o poder calorífico entre a palha de cana e as folhas secas de Macaúba são muito próximas. Entretanto, o poder calorífico da folha de macaúba (ENERGIA/TON BIOMASSA) é superior a palha de cana-de-açúcar enquanto a produção de resíduo/ha de folhas senescentes é praticamente metade do resíduo produzido em cana-de-açúcar em 1 ha (TOTAL BIOMASSA).

Transformando Gcal (Giga Calorias) em Kwh, sendo que 1 Giga Caloria<sup>6</sup> é igual a 1162.2 quilowatts-horas, tem-se 24,83 Gcal, logo tem –se aproximadamente 28.857,43 Kwh.

Figura 10 Quadro comparativo entre fontes de biomassa palha da cana-de-açúcar e folha senescente de macaúba em relação a produção de resíduo e energia.

---

<sup>6</sup> Conversão realizada no site: [Conversion-Website.com](http://Conversion-Website.com)

Fontes de Biomassa	ENERGIA/TON BIOMASSA (Gcal/ton)	TOTAL BIOMASSA (ton MS/ha/ano)	PRODUÇÃO ENERGIA (Gcal/ha/ano)
Palha da Cana-de-açúcar	2,58*	10,00**	25,80
Folha senescente de Macaúba***	4,64	5,35	24,83

\*: ZULAUF et al. (1985)

\*\* : KADAM & JADHAV (1995)

\*\*\*: Considerando Macaúba de sequeiro

3]

Fonte: Embrapa Cerrados

A partir dos dados da figura 10, podemos avaliar que em um hectare por ano da folha seca de macaúba será capaz de produzir aproximadamente 28.857,43 Kwh. Poderá cada hectare por mês em produção uniforme proporcionar 2.404,79 Kwh, ou seja, em 10ha eu consigo produzir aproximadamente 24.047,86 Kwh por mês, tendo por ano 288.574,3 Kwh.

Cabe ressaltar que este valor é por ano, tendo algumas peculiaridades como, por exemplo, qual será o período em que terá maior disponibilização de folhas secas? Qual será o consumo de energia utilizado no próprio estabelecimento? Dependendo das respostas a essas perguntas pode ser que não sobre excedente para venda, mas, em todo caso já será grande a economia.

O excedente da produção pode ser vendido de duas formas, conectado a rede ou não. É importante levar em consideração que o valor da bioenergia é tratado como igual às outras fontes. O que vai determinar se vale a pena ou não a produção de energia é o custo de produção e disponibilização da mesma. Ainda sim, são necessários implementos que possam tornar esse procedimento de venda possível, estando à energia ser vendida conectada à rede é um valor, e não estando conectado é outro valor que pode inviabilizar o projeto por alto valor e por fim estar de acordo com as normas da Aneel e concorrer a leilões de venda de energia elétrica.

Segundo o professor e sócio-fundador e Diretor do Centro Brasileiro de Infra Estrutura (CBIE), Adriano Pires, a biomassa tem como foco a produção de energia elétrica para autoconsumo, mas e a exportação do excedente produzido é dificultada pela ausência de condições que facilitem a conexão dessas usinas à rede para comercializar energia.

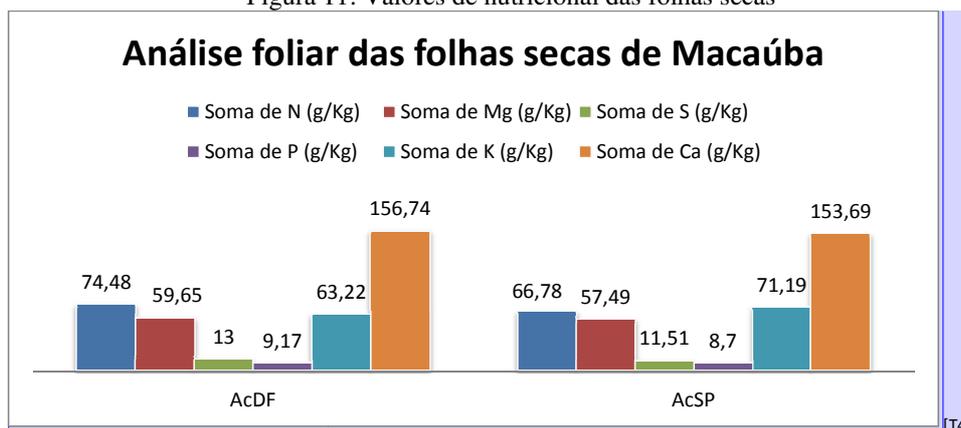
Com a produção de energia advinda das folhas senescentes de macaúba ela será inserida no Ambiente de Contratação Livre podendo escolher a quem fornecer desde que atenda a demanda exigida e levar em consideração não somente o preço da energia, mas também os prazos de fornecimento, as flexibilidades contratuais, a confiabilidade do

comprador e a garantia de fornecimento de energia. Uma vez no Mercado Livre, caso o consumidor deseje retornar ao Mercado Regulado o mesmo deve respeitar um prazo mínimo de 5 anos definido por lei.

Adicionalmente, os agentes que atuam no mercado devem estar sempre atentos às mudanças na legislação, nos procedimentos e nas regras do mercado que, por acaso, possam impactar seus custos e/ou operação.

Diante destas informações, caso o produtor desejar atribuir outra destinação às folhas secas foi realizada uma análise foliar na Embrapa das folhas secas para avaliar o potencial referente aos nutrientes das folhas, o gráfico abaixo apresenta análise de dois acessos: São Paulo e Distrito Federal, mediante os resultados não há diferença significativa de nutrientes entre os acessos.

Figura 11. Valores de nutricional das folhas secas



Fonte: Embrapa, elaborada pela autora.

A figura 11 apresenta a quantidade de nutrientes nas folhas secas, tomando como base alguns nutrientes (N,P,K, Ca, Mg), as folhas mostram relevante conserva de nutrientes que podem ser reaproveitados pela própria planta que podem ser ligados a figura 12 que são de origem de uma análise realizada em solos naturais em Minas Gerais, pode-se notar quais são os nutrientes em média são necessários para um bom desenvolvimento da macaúba. Atribuindo comparações pode-se observar que a folha seca de macaúba contém relevante reserva de nutrientes que poderiam ser reutilizadas para a reciclagem de nutrientes.

Segundo os dados da figura 11, a análise apontou que no acesso do Distrito Federal as folhas secas continham 9,17 g/kg de (P) Fósforo e 63,22 g/kg de (K) Potássio. Realizando

uma conversão simples de  $\text{mg/dm}^3$  para  $\text{g/kg}$  dos valores da média de P e K obtém-se 0,01  $\text{g/kg}$  de P e 0,097  $\text{g/kg}$ . Com isso podemos concluir que as folhas secas de macaúba podem ser essenciais para a nutrição do solo apresentado valores nutricionais de significativa importância para a cultura. Os nutrientes influenciam na manutenção da produtividade afetando o desenvolvimento da cultura, especialmente em solos de baixa fertilidade natural (MEDEIROS et al., 2010).

Figura 12. Diagnóstico dos solos com ocorrência natural de macaúba em MG.

Característica	Valor mínimo	Valor máximo	Média
pH (água)	4,6	6,0	5,5
P ( $\text{mg/dm}^3$ )	1	36	10
K ( $\text{mg/dm}^3$ )	27	136	97
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> ( $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ )	1,8	11,3	6,1
V(%)	17	87	59
m(%)	0	38	5
Argila (%)	6	51	26

Fonte: Adaptado de Motta *et al* (2002).

[15]

A figura a seguir exemplifica a importância de se manter no solo a palhada de cana de açúcar que pode ser adaptada a macaúba, ou qualquer outra cultura. No caso apresentado na figura, observa-se que com o aumento da retirada de palha têm-se uma diminuição na quantidade de nutrientes presentes no solo na mesma proporção. Quanto mais se retirou a palhada do solo mais se fez necessário adubação. Pode-se observar a quantidade de nutrientes presentes no solo oriundo da palha em função da quantidade de nutrientes retirados do solo devido à retirada da palha.

Figura 13. Teor e acúmulo de nutrientes na palha e quantidade de nutrientes retirados da área em função da quantidade de palha retirada.

Nutriente	Teor	Total	Retirada da palha (kg.ha <sup>-1</sup> )			
	g.kg <sup>-1</sup>	Kg.ha <sup>-1</sup>	2000	4000	6000	8000
<b>Palha</b>		12400	<b>Nutrientes retirados (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>			
<b>N</b>	9,0	11,9	18,0	36,1	54,1	72,2
<b>P</b>	0,6	6,8	1,1	2,2	3,3	4,4
<b>K</b>	4,5	55,2	8,9	17,8	26,7	35,6
<b>Ca</b>	3,1	37,9	6,1	12,2	18,3	24,4
<b>Mg</b>	1,2	15,1	2,4	4,9	7,3	9,8
<b>S</b>	0,9	10,8	1,7	3,5	5,2	7,0

Fonte: Vitti *et al.* (2008). [6]

Tomando como base a figura 13 e trazendo para a macaúba provavelmente poderá acontecer à mesma situação, com a retirada das folhas secas para a produção de energia ocasionará na diminuição dos nutrientes do solo e outros aspectos como cobertura de solo e matéria orgânica, além do uso de adubação e fertilizantes químico, já que as folhas na análise foliar apresentaram alta relevância nutricional.

Todos esses aspectos levam a uma questão chave na atualidade que é a sustentabilidade. Destinando as folhas para a produção de energia elétrica, ou seja, biomassa estará dentro dos parâmetros de sustentabilidade, porém, o valor de investimento se torna consideravelmente alto, necessitando de implementos específicos e mão-de-obra e sendo precisa a garantia de fornecimento de energia. Já a destinação das folhas para reciclagem de nutrientes não será necessário grande investimento, a princípio seria necessário picagem ou trituração das folhas, sendo assim contribuindo e estando dentro os parâmetros da sustentabilidade tornando-se mais fácil, porém, caso a macaúba seja produzida em escala a produção de energia tornara-se viável por ter alto potencial, desta forma pode ser que manter as folhas secas no solo, levando em consideração grande volume do acúmulo de folhas já não seria tão interessante.

## 6. CONCLUSÃO

Podemos concluir que a utilização da biomassa acarreta em benefícios que compreendem em uma renda extra, assim como economia na conta de luz e potencialmente no uso de adubos e contribuição para o meio ambiente agindo sustentavelmente.

Da mesma maneira como o etanol representa uma alternativa brasileira para o petróleo, a bioenergia a partir da macaúba apresenta potencial para complementar a nossa matriz energética tanto no biodiesel como na bioeletricidade.

Os estudos vêm avançando a respeito da produção de biodiesel a partir do óleo de macaúba, já a bioeletricidade é baseada na produção a partir da Cana de Açúcar que apresenta um suporte que pode ser adaptado, melhorado, reinventado para a macaúba.

Foram criadas políticas dentro do mercado livre de energia que beneficiam fontes renováveis limitados a 3 MW de potência com como PCH (Pequenas Centrais Hidroelétricas), Biomassa, Eólica e Solar, sendo necessário para entrar no mercado livre como gerador de energia a produção mínima de 500 kWh. Para esses geradores serem mais concorrentes, o comprador da energia decorrida deles, chamada de energia incentivada, recebe descontos (de 50%, 80% ou 100%) na tarifa de uso do sistema de distribuição. Já que, o custo de geração de energia além de equipamentos e estruturas, exige contrato com duração mínima de cinco anos.

Apesar de serem realizadas políticas de incentivo ao consumo de fontes renováveis a inserção à burocracia é inevitável, os trâmites, as exigências, os requisitos devem ser todos preenchidos corretamente.

Como sabemos, o Brasil possui a maior parte de geração de energia por fontes renováveis, entretanto, as grandes usinas hidrelétricas apresentam limitações ambientalmente sensíveis. Além disso, novas hidrelétricas como Madeira e Belo Monte são “usinas a fio d’água”, que armazenam pouca água, produzindo energia elétrica sazonal, dirigida nos meses chuvosos (janeiro e abril). Daí a obrigação na busca de fontes de energia renovável, complementares à matriz elétrica brasileira.

Outro aspecto importante também a ser levado em consideração é a sustentabilidade ambiental do uso da macaúba para bioenergia do qual consegue-se evitar emissões de gases de efeito estufa, tendo potencial para substituição de fontes fósseis, e sem essa colaboração da bioeletricidade na matriz energética o setor elétrico teria um acréscimo de 8% nas emissões além das questões sócio ambientais e como ponto positivo na colaboração na matriz energética ocorre o aumento de disponibilização de energia interna limpa, dependendo menos

da importação de energia elétrica, descentralização das fontes de energia, geração de empregos e menos utilização de fontes fósseis.

No que diz respeito à destinação das folhas secas serem mantidas no solo falamos em economia expressiva com adubação, tendo em vista que os valores nutricionais apresentados nas folhas são capazes de suprir parte da exigência de nutrientes da macaúba.

O Brasil tem se mostrado aliado às atuais políticas de apoio a fontes de energia renováveis no mundo, focadas em reduzir as emissões de gases que ocasionam o efeito estufa. Mas temos ainda oportunidades e desafios para prosseguir evoluçionando, principalmente considerando o potencial da macaúba, *Acrocomia aculeata*.

## 7. REFERÊNCIAS<sup>[17]</sup>

ABRADE. Associação Brasileira de Direito Educacional. Disponível em: <http://www.abrade.org.br/> Acesso em 23 de outubro de 2017.

AMARAL, F.C.S; TAVARES, S.R.L. **Diferença do teor de fibra da cana-de-açúcar para fins energéticos motivada pelo bioma.** Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 25 p. - (Documentos, 159).

**Aneel. (2016).** Acesso em 11 de outubro de 2017, disponível em Aneel.gov.br: [http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/primeiro-leilao-de-geracao-de-2016-comercializa-energia-de-29-empreendimentos/656877?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/primeiro-leilao-de-geracao-de-2016-comercializa-energia-de-29-empreendimentos/656877?inheritRedirect=false)

**Balanço Energético Nacional. (2017).** Acesso em 23 de setembro de 2017, disponível em Empresa de Pesquisa Energética: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx>

BALEOTTI, L. O lixo que vira luz. **Revista AlcoolBras**, Sertãozinho, n. 113, 2008. Acesso em 11 de outubro de 2017, disponível em editoravalete.com.br: [http://www.editoravalete.com.br/site\\_alcoolbras/edicoes/ed\\_113/mc\\_1.html](http://www.editoravalete.com.br/site_alcoolbras/edicoes/ed_113/mc_1.html)

BARCELOS, C.A. **Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacaríneo [Sorghum bicolor (L.) Moench] para a produção de bioetanol.** 2012. 334f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2012.

BARREDA DEL CAMPO et al. **Análises energética e energética do sistema de cogeração da usina Vale do Rosário.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS, 7, 1998, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 1998. p. 307-312. v. 1.

Bermann Célio. *Energia no Brasil para quê? Para quem? Crise e alternativa para um país sustentável.* São Paulo: Editora: Livraria da física: FASE 2003.

**Bioenergia no Brasil. (2010).** Acesso em 2 de agosto de 2017, disponível em Ministério do meio ambiente : [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/arquivos/apresentacao\\_cenbio\\_mma\\_bioenergia\\_no\\_brasil\\_46.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/apresentacao_cenbio_mma_bioenergia_no_brasil_46.pdf)

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia: PNE 2030.** Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/> Acesso em: 4 de setembro de 2017.

CASTRO. P. R. 2015. *Utilização da folha seca de acrocomia aculeata como uma fonte potencial para geração de energia.* Planaltina – DF: UPIS – União Pioneira de Integração Social, 2015.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da. **Macaúba: potencial fonte alternativa para produção de biodiesel.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

**Economia da energia de biomassa.** (s.d.). Acesso em 11 de 2017, disponível em Instituto de Energia e Meio ambiente - Universidade de São Paulo: <http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/economia-da-energia-de-biomassa>

FIOMARI, M.C. et al. **Análise termodinâmica e termoeconômica de uma usina sucroalcooleira que produz excedente de energia para comercialização.** NUPLN - Núcleo de Planejamento Energético, Geração e Cogeração de Energia; UNESP. Ilha Solteira. 2008.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. **Global bioenergy potentials through 2050.** Biomass & Bioenergy, Pergamon, v.20, n.3, p. 151-159, mar., 2001.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GAZZONI, D.L. **Agroenergia: situação atual e perspectivas.** In: FALEIRO, F.G. & FARIAS NETO, A.L. (ed.). Savanas: desafios e estratégias para equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. cap. 27, p.861-878.

GRAY, M. Palm and Cycad Societies of Australia.

Jegannathan, K.R., Eng-Seng (Aneel, 2016) (Baleotti, 2008) (Bioenergia no Brasil, 2010) (Economia da energia de biomassa) (Matriz Energética), C., Ravindra, P., 2011. **Economic assessment of biodiesel production: comparison of alkali and biocatalyst processes.** Renew. Sust. Energ. Rev. 15, 745–751

JORGE, M. P. **Energias renováveis: uma visão econômica sobre o aproveitamento das energias solar, eólica e de biomassa.** Revista Pensamento e Realidade, São Paulo, v. 16, p. 56-71, 2005.

LEMOS, Eliana G. M.; STRADIOTTO, Nelson R. (Org.). **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. (Coleção PROPe Digital - UNESP). ISBN 9788579832567. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/123648>>

Lorenzi, G. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart.-Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável.** Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná. 2006, 154f.

Lorenzi, H.; Souza, H. M.; Costa, J. T. M.; Cerqueira, S. C. De; Ferreira, E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2004, 416 p.

MACEDO, I. C. **O Ciclo da Cana-de-Açúcar e reduções adicionais nas emissões de CO2 através do uso como combustível da palha da Cana.** Piracicaba-SP: Centro de Tecnologia Copersucar, 2000. 9f.

**Matriz Energética.** (s.d.). Acesso em 10 de 2017, disponível em Repsol: [https://www.repsol.com/pt\\_pt/corporacion/conocer-repsol/contexto\\_energetico/matriz-energetica-mundial/](https://www.repsol.com/pt_pt/corporacion/conocer-repsol/contexto_energetico/matriz-energetica-mundial/)

MIRAGAYA, J. C. G. Biodiesel: tendências no mundo e no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.26, n. 229, p.7-13, 2005.

OLIVEIRA, J. G. **Perspectivas para a cogeração do bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono do setor sucroalcooleiro paulista.** 2007. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

*Operador Nacional do Sistema Elétrico.* (2014). Fonte: <http://www.ons.org.br/> Acesso em 20 de setembro de 2017.

QUINTELLA, C. M.; TEIXEIRA, L. S. G.; KORN, M. G. A. **Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I.** Química Nova , v. 32, n. 3, p. 793-808, 2009.

RAMOS, L.P. et al. Biodiesel: **Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócioambiental para o Brasil.** Revista biotecnologia & desenvolvimento, São Paulo, v. 31, jul./dez., 2003.

**Relatório Final do Balanço Energético Nacional – BEN 2014.** (Agosto de 2015). Fonte: Empresa de Pesquisa Energética: <http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategoriaID=347>

Rodrigues, H.S., 2007. **Obtenção de esters etílicos e metílicos, por reações de transesterificação, a partir do óleo da palmeira Latino Americana macaúba – Acrocomia aculeata.** (Doctor Scientiae Thesis) Federal University of São Paulo, Brazil (236 pp.)

ROMÃO JÚNIOR, R.A. *Análise da viabilidade do aproveitamento da palha da cana de açúcar para cogeração de energia numa usina sucroalcooleira.* 2009. 165 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2009. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/nuplen/analise-da-viabilidade-do-aproveitamento-da-palha-da-cana-de-acucar-para-cogeracao-de-energia-numa-usina-sucroalcooleira.pdf> Acesso em: 24 de setembro de 2017.

ROSSETTO, R. A **BIOENERGIA, A cana energia e outras culturas energéticas.** Pesquisa & Tecnologia, v.9, n.51, 2012.

SARKAR, N.; GHOSH, S. K.; BANNERJEE, S.; AIKAT, K. **Bioethanol production from agricultural wastes: An overview.** West Bengal, India. 2011.

SIMONI, C. A. Tese de doutorado, O USO DE ENERGIA RENOVÁVEL SUSTENTÁVEL NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis; Disponível em: <http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5080/Carlos%20?sequence=1>; Acessado em 25/10/17 BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: . Acesso em: dez. 2010.

ÚNICA. União da Indústria de Cana de açúcar. Disponível em: <http://www.unica.com.br/> Acesso em 5 de outubro de 2017.

Valim, H. M. **Caracterização de acessos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) com base em variáveis quantitativas relacionadas com aspectos agronômicos e características físicas dos frutos**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 35f. Monografia.

ZANETTI, A.A.; OLIVEIRA JUNIOR, S. **Avaliação comparativa de sistemas de cogeração com utilização de bagaço de cana-de-açúcar e gás natural**. Disponível em: [http://www.poli.usp.br/d/pme2599/2006/Artigos/Art\\_TCC\\_020\\_2006.pdf](http://www.poli.usp.br/d/pme2599/2006/Artigos/Art_TCC_020_2006.pdf). Acessado em 23 de setembro de 2008.