

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA DA BIOMASSA**

**Francielly Gomes da Silva**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE  
TEOTÔNIO VILELA - AL**

**Rio Largo / AL  
2016**

**Francielly Gomes da Silva**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE  
TEOTÔNIO VILELA - AL**

Dissertação de Mestrado apresentada à  
Coordenadoria de Pós-Graduação em Energia da  
Biomassa da Universidade Federal de Alagoas  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Energia da Biomassa.

Orientador: Ricardo Araújo Ferreira Junior

Rio Largo  
2016

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecária Responsável: Janaina Xisto de Barros Lima

- O48p Oliveira, Ana Paula Teixeira da Silva.  
Plantas usadas e preferidas como combustível na comunidade Quilombola de Muquém, União dos Palmares, AL / Ana Paula Teixeira da Silva Oliveira. – 2016.  
56 f.: il.
- Orientador: Rafael Ricardo Vasconcelos da Silva.  
Dissertação (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) – Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2017.
- Bibliografia: f. 43-46.  
Apêndice: f. 47-51.  
Anexo: f. 52-56.
1. Lenha. 2. Conhecimento tradicional. 3. Etnobotânica. I. Título.

CDU: 662.63

## TERMO DE APROVAÇÃO

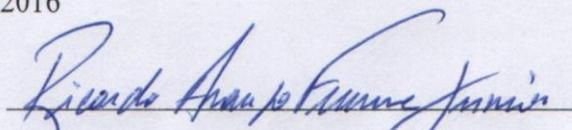
FRANCIELLY GOMES DA SILVA

### EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE TEOTÔNIO VILELA-AL

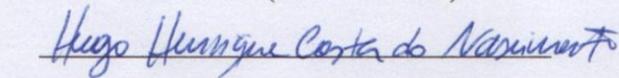
Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

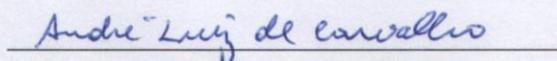
Aprovado em 07/10/2016

  
Prof. Dr. Ricardo de Araújo Ferreira Júnior

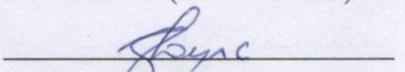
Orientadora (/CECA/UFAL)

  
Prof. Dr. Hugo Henrique Costa do Nascimento

Membro (CECA/UFAL)

  
Prof. Dr. André Luiz de Carvalho

Membro (CECA/UFAL)

  
Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Membro (CECA-UFAL)

Rio Largo – AL

2016

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela sabedoria e saúde para realizar este trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira pelo profissionalismo, confiança e ensinamentos durante o mestrado e para que esse trabalho se concretizasse.

Ao Centro de Ciências Agrárias – CECA/UFAL pela oportunidade e incentivo. Aos professores e direção pela transmissão de conhecimentos, aos quais levarei por toda vida.

A Usina Reunidas Serestas pelo fornecimento dos dados os quais utilizei nesse trabalho e que contribuíram para o desenvolvimento da dissertação de mestrado.

Ao colaborador Arnaldo Neri dos Santos pela contribuição.

Aos meus pais e minha família pelo apoio e encorajamento para que eu concluísse o Mestrado. Em especial ao meu esposo Jackson José do Nascimento Silva Júnior, cuja paciência, dedicação e apoio foram fundamentais.

Aos professores que disponibilizaram tempo ao fazer parte da comissão examinadora dando-me importantes sugestões para aprimoramento do meu trabalho.

Em fim, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Coordenação de pós-graduação do Centro de Ciências Agrárias – CECA/UFAL.

Aos colegas da pós-graduação pelo incentivo e encorajamento.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo” (Albert Einstein).

## RESUMO

A energia é tratada como um problema demográfico, econômico e ambiental do futuro. O balanço energético é uma atividade estatística cujo objetivo é contabilizar as entradas e saídas de energia e assim transformar os resultados em unidades energéticas. Assim, torna-se o método apropriado para verificação do uso da energia em um processo de produção, é através deste que se obtém a sustentabilidade do sistema. Diante disso, este trabalho buscou analisar a eficiência da cana-de-açúcar cujo objetivo principal foi estimar a eficiência energética em um sistema agroindustrial em Teotônio Vilela/AL. Na pesquisa foram consideradas as entradas (gastos) e saídas de energia (produção), os cálculos foram feitos através da transformação dos custos de cada operação agrônoma para Joule (J) e seus múltiplos obtendo-se o dispêndio energético para cada atividade. Os dados foram obtidos da Usina Reunidas Seresta, localizada em Teotônio Vilela – Alagoas, no período de Janeiro a dezembro de 2012. A eficiência energética apresentou-se positiva, as operações agrícolas como insumos representaram 34% dos gastos energéticos, sendo esses os responsáveis pelos maiores dispêndios energéticos. O plantio da cana-de-açúcar é viável, dessa forma o balanço energético comporta-se como ferramenta importante em um sistema agrícola, pois envolve ganhos com energia, se o sistema for eficiente.

**Palavras-chave:** Balanço Energético, *Saccharum spp* e Energia.

## SUMMARY

The energy has been treated as a future demographic, Economic and environmental's Problem. The energy balance is a statistical activity whose purpose is accounting the energy's inputs and outputs and thus transform the results into energetic units. So, it becomes an appropriate method to check the energy use in production process. And therefore, it becomes the way how the system's sustainability is obtained. At that, this paper, looked for a way to analyze the sugar cane's efficiency, whose purpose was to estimate the energetic's efficiency into an Agroindustrial's system in Teotonio Vilela City AL. In the present study were considered the inputs (expenditure) and the power outlets (production), Calculations were made using the transformation of the cost of each agronomic operation for joule (J) and its multiple obtaining the energy expenditure for each activity. The obtained data were obtained from Reunida Seresta's Factory, located in Teotonio Vilela AL, from January 2012 to December 2012. The energetic efficiency was positive, the Agricultural Operations like Inputs accounted for 34% of energy expenditure. These one have been considered as the responsible for the biggest Energy expenditure. The act of planting suggar cane, is practible, the energetic balance behaves as an important tool in an agricultural system likewise, because it involves gains with energy, if the system is efficient

**Keywords:** Energy balance, *Saccharum spp* and Energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação energética entre o calcário e a aplicação do produto.....	23
Figura 2 - Gasto energético na operação agrônômica mecanização.....	24
Figura 3 - Gasto energético na operação agrônômica transporte.....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Divisão de controle agrícola para o plantio da cana-de-açúcar no ano 2012.....	20
Tabela 2 – Gasto energético nas operações agronômicas da cana-de-açúcar na Usina Seresta, no ano 2012.....	22
Tabela 3 – Custo financeiro (R\$) nas operações agronômicas da cana-de-açúcar na Usina Seresta, no ano 2012.....	22
Tabela 4 - Investimento/Dispêndio energético com mão-de-obra nas operações agronômicas da cana-de-açúcar na Usina Reunidas Serestas.....	25

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Energia da biomassa.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Cana-de-açúcar.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Balanço Energético da cana-de-açúcar.....</b>	<b>17</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Localização de estudo.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Balanço Energético.....</b>	<b>19</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A biomassa é entendida como matéria orgânica, renovável e pode ser de origem vegetal, animal ou microbiana (DIAS et al, 2012). É subdividida nas categorias de biomassa energética florestal, agrícola e rejeitos urbanos (MME, 2007), ao qual pode ser utilizada para geração de calor ou eletricidade, poderá também ser transformada em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (DIAS et al, 2012).

O Brasil, em virtude de sua grande produção agrícola e florestal, apresenta biomassa residual com teor energético ao qual deve ser melhor aproveitado (DIAS et al, 2012). Essa alta produção agrícola e industrial é em virtude da variedade climática, além da dimensão territorial e reservas de água doce (MME, 2007).

Tendo em vista essas características, a cana-de-açúcar passará 518.10<sup>6</sup> ha em 2010 para 1140 10<sup>6</sup> ha no ano 2030 (MME, 2007). Sua produtividade está associada à capacidade de armazenamento de sacarose (MAPA, 2007) e por esse motivo é a principal matéria-prima na fabricação do açúcar e álcool (etanol) (MAGRO et al, 2011).

MANOCHIO (2014) expressa que o uso do etanol, independente da biomassa, é uma alternativa aos combustíveis fósseis, pois reduz o seu uso e também às emissões de gases do efeito estufa. Além disso, no setor canavieiro, o uso dos resíduos da biomassa é uma possibilidade de exploração econômica, pois as pontas, folhas e bagaço possuem alto conteúdo energético (SANTOS et al, 2016).

A cana-de-açúcar sempre foi de grande importância em Alagoas, pois esse estado possui condições naturais que beneficiaram a expansão dos canaviais e conseqüentemente o fortalecimento da agroindústria e a concretização da agricultura canavieira como a principal atividade econômica (SANTOS, 2011).

Segundo NOVACANA (2016), há 25 usinas de cana de açúcar no estado, o qual é o maior produtor do Nordeste (SANTOS, 2011). Na safra 09/10, foram 24.269.890 t de cana moída, com produção de 625.785 m<sup>3</sup> de etanol anidro e hidratado (SINDAÇUCARAL, 2009/2010). O setor sucroenergético é o que mais contribui com o PIB de Alagoas, outra característica do setor é que todas as usinas atendem suas próprias necessidades energéticas, algumas exportam o excedente (SANTOS et al, 2016).

A usina Reunidas Seresta, fundada na década de 70, totaliza em 11. 871,89 ha plantados com cana-de-açúcar ao qual tem capacidade de moer 1.450.000 toneladas por ano nos meses de setembro a março (USINASERESTA, 2015).

De maneira geral, uma das preocupações na produção agrônômica tem sido a questão energética, por isso é importante fazer uma avaliação energética dos atuais sistemas produtivos visando uma análise da viabilidade ao longo dos anos (FURLANETO, ESPERANCINI e CARVALHO, 2013), ou seja, é necessário realizar o balanço de entradas e saídas de energia (MACEDO et al, 2004).

Essa análise estatística tem seu valor estabelecido pela relação entre a energia obtida com o combustível pela energia gasta durante o processo de produção, assim será positiva se resultado for maior que 1 (OLIVEIRA, SERRA e OLIVEIRA, 2014). Assim, a sustentabilidade também está relacionada à maior responsabilidade na produção, consumo e uso da energia (FILHO e JULIANE, 2013).

Este trabalho tem como objetivo estimar a eficiência energética em um sistema de produção agroindustrial visando à produção de etanol através da cultura da cana-de-açúcar, através de um método prático no Município de Teotônio Vilela no Estado de Alagoas e assim dar suporte à tomada de decisões para aperfeiçoamento das tecnologias utilizadas na produção do biocombustível.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Energia da biomassa**

A biomassa é descrita como a matéria biológica originada de organismos vivos ou recentemente vivos. Para NOGUEIRA e LORA (2003) a biomassa refere-se à matéria vegetal gerada pela fotossíntese assim como os resíduos orgânicos, os quais contêm energia química armazenada durante a fotossíntese, liberada durante algum processo de conversão de energia, como exemplo a combustão.

Conforme o BEN (2015), das energias renováveis: hidráulica, lenha e outros, os produtos derivados da cana-de-açúcar tiveram maior participação na produção de energia primária no ano 2014, ultrapassando a energia hidráulica; os mesmos apresentaram 15,7% da oferta interna de energia nesse mesmo período. Quanto ao consumo final de biomassa, o setor industrial apresentou a maior porcentagem em 2014, 49,2%.

A fonte de energia oriunda da biomassa é considerada limpa, renovável e pode ser aproveitada na recuperação de áreas degradadas. NOGUEIRA e LORA (2003) citam que os fluxos energéticos de biomassa estão associados aos biocombustíveis. Assim, esses são apresentados segundo sua origem e agrupados em dendrocombustíveis, os que são provenientes da madeira; agrocombustíveis os que são de plantação não florestal e os resíduos urbanos.

O biocombustível da madeira é obtido através da lenha e com atividades feitas com a madeira cuja transformação ocorre com as rotas termoquímicas. Os resíduos urbanos são formados por boa parcela do lixo e esgotos cuja utilização caracteriza-se como benefício ambiental, o processo de transformação vai desde a digestão anaeróbia à combustão direta (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Os biocombustíveis não florestais referem-se às culturas agrícolas, são os cultivos anuais cujo processo de conversão o transforma em outro produto. Dentro dessa classificação estão os subprodutos gerados os quais são chamados também de resíduos (NOGUEIRA e LORA, 2003).

As projeções da oferta de biomassa em base seca indicam um aumento para os resíduos agrícolas da cana-de-açúcar de 2015 a 2030, passando de 100 milhões para 160 milhões ton. ano<sup>-1</sup>, para os resíduos agroindustriais nesse mesmo período, passará de 97 milhões para 154 milhões ton. ano<sup>-1</sup> (MME, 2007).

A análise em uma escala temporal maior, de 2005 a 2030, a biomassa poderá triplicar, o destaque em quantidade é para os resíduos agrícolas. Quanto ao conteúdo energético primário desses resíduos somados aos agroindustriais e silviculturais, as projeções indicam

que em 2020 esse conteúdo será de 17.857 milhões para 23.468 GJ ano<sup>-1</sup> em 2030 (MME, 2007).

De acordo com o MME (2007), os resíduos agrícolas são para as seguintes culturas: soja, milho, arroz (palha) e cana-de-açúcar (palha), os agroindustriais são para cana-de-açúcar (bagaço), arroz (casca), lixo e madeira. Os silviculturais são representados pela madeira.

É válido destacar outros resíduos que conforme DIAS (2012), além dos que foram acima citados, também são aproveitáveis como o trigo o qual fornece caules e folhas; café com a palha, casca e borra; algodão com a palhada; coco com o mesocarpo e endocarpo; feijão com a palhada e vagem; castanha-do-pará com a casca e ouriço; babaçu com as cascas; carnaúba com a bagana; carvão vegetal com o briquete a partir dos resíduos, amendoim com as cascas e cevada com o bagaço.

Os resíduos da cana-de-açúcar apresentam-se em condições adequadas para uso. Assim, o setor sucroenergético apresenta-se avançado no aproveitamento da biomassa através de rotas tecnológicas de recuperação e transportes (MME, 2007).

“[...] O aproveitamento do potencial energético da biomassa disponível para geração de energia elétrica dependerá do desenvolvimento das tecnologias eficiente de geração em média escala, entre as quais os gaseificadores de até 10 MW, e do fortalecimento dos mecanismos que favoreçam a geração distribuída e a injeção de excedentes de produção de energia elétrica nas redes de distribuição favorecendo a cogeração e otimização energética das plantas industriais, pois devido à descentralização da oferta deste recurso energético, verifica-se o encarecimento do seu transporte para uso em uma unidade centralizada” (MME 2007, p. 92).

Em geral, empregam-se tecnologias baseadas em processos de conversão, os quais podem ser físicos, termoquímicos e biológicos. Os físicos são representados por secagem tendo como produto final os pellets e briquetes; redução granulométrica resultando em aparas e prensagem mecânica o qual origina os óleos vegetais (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Os processos termoquímicos são feitos através da combustão em que gera calor e gaseificação que resulta em gases combustíveis, combustíveis líquidos e sólidos. Por fim, os processos biológicos são subdivididos em digestão anaeróbia a qual resulta em biogás e fermentação que fornece o etanol (NOGUEIRA e LORA, 2003).

O etanol pode ser obtido de várias fontes de biomassa, esses devem ter quantidades significativas de açúcares ou amido e celulose, produzido com a fermentação através das leveduras. Assim, o etanol proveniente da cana-de-açúcar tem maior viabilidade econômica (MME, 2007).

## 2.2. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, pertence à família *Poaceae*, tribo *Andropogonae* e ao gênero *Saccharum* (BARBOSA, 2014). É originária de dois continentes: Ásia - Índia e China e Oceania - Nova Guiné (DIOLA e SANTOS, 2011). Chegou ao Brasil em 1532 por Martim Afonso de Souza e devido às características fisiográficas do território brasileiro, a gramínea adaptou-se bem (EMBRAPA, 2006).

Essa gramínea tem inflorescência na forma de espiga, apresenta colmos em sua estrutura, tem folhas com lâminas de sílica; cresce até haver limitação de água, diminuição de temperaturas ou até mesmo pelo florescimento. Possui melhor adaptabilidade entre 35° Lat N e 30° Lat S, a melhor altitude é de zero a mil metros (DIOLA e SANTOS, 2005).

A propagação ocorre com o plantio de parte do colmo, nesse caso a reprodução é assexuada, após um mês aproximadamente há o florescimento da gema, proporcionado por boas condições ambientais. Essas primeiras ramificações serão nutridas com reservas nutricionais presentes no colmo, com água e nutrientes retirados pelas primeiras raízes (DIOLA e SANTOS, 2005).

O clima ideal para a gramínea é aquele em que há duas estações distintas: uma quente e chuvosa e outra fria e seca, a primeira irá favorecer a germinação, perfilhamento e desenvolvimento e a segunda a maturação e o acúmulo de sacarose. No Centro-Sul a época indicada ao plantio é nos meses de janeiro a março e no Norte-Nordeste é de maio a julho (EMBRAPA, 2006).

Possui alta taxa fotossintética, assim é uma planta com ótima eficiência na conversão da energia solar em energia química (MAGRO, 2010). Em uma planta madura o colmo possui em média 2/3 de água e 1/3 de matéria seca (açúcares, sais e fibras) (BARBOSA, 2014).

Diante das características apresentadas essa gramínea evoluiu em produção, fato proporcionado com o aumento da área plantada e da produtividade. Em análise de seu perfil evolutivo, de 2005 a 2030 a área ocupada passará de  $6.10^6$  para  $13,9.10^6$  ha, respectivamente. Quanto à produção, passará de  $431.10^6$  t para  $1.140.10^6$  t, para o mesmo período (MME, 2007).

Para o total aproveitamento da cana-de-açúcar, a cadeia produtiva aproveita todas as partes da planta. Com a extração do caldo obtém-se o açúcar e o etanol, esse é gerado com a fermentação e destilação do melaço; desse processo é gerado como subproduto o bagaço que através da hidrólise pode gerar etanol ou poderá ser colocado em caldeiras e gerar eletricidade. (MME, 2007).

É importante destacar que a palha representa 1/3 de toda energia da cana-de-açúcar, seu aproveitamento para energia dobraria a oferta de biomassa, estimativas mostram que em 2030, 20% da palha será utilizada para geração de energia. Assim, a energia primária contida nesse resíduo é de  $966,30.10^6$  GJ/ano<sup>-1</sup>, para 2005 (MME, 2007).

Em análise por região brasileira da energia da palha para esse mesmo ano, o Norte apresentou-se com  $2,41.10^6$  GJ; o Nordeste com  $126,78.10^6$  GJ; o Sudeste com  $682,95.10^6$  GJ, a região Sul com  $67,23.10^6$  GJ e o Centro-Oeste  $86,93.10^6$  GJ (MME, 2007). As duas regiões do país com maior conteúdo energético na palha são Sudeste e Nordeste, respectivamente.

Quanto à estimativa energética contida no bagaço dos anos 1990 a 2005, houve uma evolução de  $602,8.10^6$  para  $990,0.10^6$  GJ/ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Por região no ano 2005, esse valor divide-se em  $2,5.10^6$  GJ para o Norte;  $129,9.10^6$  GJ para o Nordeste;  $699,7.10^6$  GJ para o Sudeste,  $68,9.10^6$  GJ para o Sul e  $89,1.10^6$  GJ para o Centro-Oeste (MME, 2007). Assim como para a palha, as regiões que apresentaram maior conteúdo energético para o bagaço foram Sudeste e Nordeste, respectivamente.

O conteúdo energético em uma tonelada de cana é de aproximadamente 560.000 kcal em 250 kg de bagaço úmido, 392.000 kcal em 70 litros de álcool e 60.000 kcal em 11.830 litros de biogás (65% de metano), obtidos com a biodigestão da vinhaça (CORTEZ, 2016).

Com tudo, a atividade agrícola caracteriza-se pela produção e consumo de energia (CAMPOS, 2001). O autor expõe que nesse processo de produção, a energia fóssil é responsável por maior gasto. Segundo Cunha *et al.* (2015), os insumos que correspondem aos fertilizantes possuem valores energéticos de  $8.260,80$  MJ ha<sup>-1</sup>.

Os nutrientes mais utilizados na produção agrícola são nitrogênio (N), fosfato (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássio (K<sub>2</sub>O), o chamado NPK (MEDEIROS, 2011). Entre esses, o nitrogênio é considerado de alto valor energético influenciando assim no consumo total de energia (SALLA *et al.*, 2009). Portanto, a cultura da cana no país é beneficiada pela utilização da vinhaça, favorecida pelo aumento da produção do etanol. Nesse contexto, a reciclagem dessas fontes de nutrientes no processo produtivo torna-se benéfica por reduzir o uso de produtos químicos (MACEDO, 2005).

Assim, esse subproduto não apresenta efeitos negativos se utilizado respeitando-se o volume aplicado e os recursos hídricos existentes; os benefícios do uso da vinhaça na produção agrícola estão relacionados ao aumento do PH e da capacidade da troca catiônica, disponibilidade de certos nutrientes, melhoria da estruturação do solo, aumento na retenção de água, no desenvolvimento da microflora e microfauna do solo além de recuperar sua fertilidade (MACEDO, 2005).

Quanto aos herbicidas e inseticidas os valores energéticos são  $302,0 \text{ MJ kg}^{-1}$  e  $306,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ , respectivamente (BUENO, 2002). De acordo com MACEDO (2005), a cogeração de energia produzida nas indústrias açucareiras, torna-as autossuficientes em energia.

Diante do potencial energético da cana-de-açúcar, é necessário uma análise dos gastos energéticos no processo de produção, pois a questão pertinente é a utilização de combustíveis fósseis durante a produção dessa cultura agrícola. Por tanto, faz-se necessário para contabilização de entradas e saídas de energia considerar os combustíveis consumidos, a energia contida nos insumos e o trabalho humano, isso envolve a produção e manutenção de máquinas (MACEDO *et al.*, 2004).

### **2.3. Balanço Energético da cana-de-açúcar**

Em termos conceituais balanço energético é uma atividade estatística para contabilização de entrada e saída de energia. Assim sendo, o objetivo do Balanço Energético é a transformação dos fatores de produção em unidades de energia (CAMPOS, 2001).

CAMPOS e CAMPOS (2004) expressam que o balanço energético estabelece os fluxos de energia, identificando os gastos e a eficiência, resultando em uma maior energia gerada ao final da produção e pela relação saída/entrada. Então, toda energia utilizada no processo é quantificada.

O cálculo energético em um sistema agrícola é essencial. SALLA et al (2009) afirmam que a estimativa de energia determina a dependência quanto ao uso de combustíveis fósseis, esses são limitantes em um processo de produção agrícola. Os autores citados, em seu trabalho concluíram que para cada hectare de cana-de-açúcar existe um gasto energético de  $14.370,9 \text{ MJ ha}^{-1}$ , o custo energético da cana-de-açúcar foi de  $2,0 \text{ MJ L}^{-1}$  e a eficiência foi de 1,1. Os maiores gastos foram com insumos, condução da lavoura e colheita.

URQUIAGA , ALVES e BOODEY (2005), mostram um custo energético total para produção da cana-de-açúcar em condições brasileiras de  $19,98 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e um balanço energético de 8,06. Já VIEIRA (2007) em seu trabalho apresenta dois sistemas de cana, um com queima da palha e outro sem a queima da palha, a entrada de energia para cana com queima foi de 220,65 MJ e para cana sem queima de 265,33 MJ.

A energia líquida gerada para cana com queima foi de  $2.030.792,97 \text{ MJ/ha}^{-1}$  e para cana sem queima foi  $1.888.808,86 \text{ MJ/ha}^{-1}$ . Quanto à eficiência energética, o mesmo autor encontrou 19,90 para o primeiro sistema e 15,73 para o segundo.

Dessa forma, os três autores concluíram que: a cadeia da cana-de-açúcar é sustentável e contribui como alternativa energética (SALLA et al, 2009), a contabilização de entradas e

saídas de energia comporta-se como método adequado para definir a viabilidade técnica de análise de programas bioenergéticos (URQUIAGA, ALVES e BOODEY, 2005) e ao analisar os gastos energéticos e custo da produção deve haver maior observação e planejamento para obtenção de uma conclusão (VIEIRA, 2007).

É possível notar que o balanço energético ao final da produção apresenta valores diferenciados, pode-se exemplificar o fato com esses autores citados acima. Com isso entende-se que o método de análise envolveu abordagens variadas em cada trabalho.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização do estudo**

A análise do balanço energético foi realizada com os dados, referente ao ano 2012, do sistema agroindustrial da Usina Seresta (Usinas Reunidas Seresta S/A) localizada no município de Teotônio Vilela, Alagoas. O município ocupa uma área de 229, 223 km<sup>2</sup>. Os solos classificam-se como Latossolos (IBGE, 2016). O clima do município é Tropical, com média maior que 18°C em todos os meses (IBGE, 1978).

A Usina Reunidas Serestas S/A foi fundada na década de 70, totaliza em 11.871,89 hectares plantados com cana-de-açúcar ao qual tem capacidade de moer 1.450 mil toneladas por ano. Na safra 2011/2012 totalizou 1.148.759 toneladas de cana moída (USINASERESTA, 2015).

#### **3.2. Balanço Energético**

Para a determinação do custo energético da produção um hectare de cana-de-açúcar foram obtidos dados dos custos financeiros (em reais) das operações relacionadas com o plantio da cultura. Onde os dados foram cedidos pelo Setor de divisão de controle agrícola da Usina Seresta, referentes ao plantio de hectares médios de cana-de-açúcar no ano 2012. As operações relacionadas com o plantio da cultura são divididas em pré-plantio, mecanização, transporte, mão-de-obra e insumos, e subdivididas conforme a tabela abaixo (Tabela 1).

Para avaliação energética foi feita a relação entrada/saída de energia (CAMPOS, 2001), utilizando como unidade padrão o Joule (J) e seus múltiplos.

**Tabela 1- Divisão de controle agrícola para o plantio da cana-de-açúcar no ano 2012.**

	<b>Operação</b>	<b>Etapas</b>
		Calcário
<b>1</b>	<b>Pré-plantio</b>	Aplicação de calcário
		Subsolagem
<b>2</b>	<b>Mecanização</b>	1ª gradeação 2ª gradeação Sulcamento Coberta mecanizada Aplicação de herbicidas
		Transporte de semente Transporte mão-de-obra Carregamento de semente
<b>3</b>	<b>Transporte</b>	
		Corte de semente Distribuição de semente Semeio Picação Coberta manual Retificação de sulco Retificação de cobertura Administração agrícola Encargos de mão-de-obra
<b>4</b>	<b>Mão-de-obra</b>	
		Herbicida pré-emergência  Cupinicida Fertilizantes
<b>5</b>	<b>Insumos</b>	

Fonte: Usina Reunidas Seresta (2012)

Na determinação dos valores de entrada energética foi proposto uma metodologia não convencional, através da conversão do custo financeiro, em dólar, de cada operação agrônômica para custo energético, para um cultivo de um hectare. Nessa conversão considerou-se o valor do barril de petróleo (bbl) para transforma custo financeiro e em custo energético (1 bbl equivale a  $6,38 \times 10^9$  joule,  $1,45 \times 10^9$  cal,  $1,68 \times 10^3$  kWh ou 0,14 TEP). Os valores financeiros utilizados no presente estudo são referentes ao mês de maio de 2016, no qual o valor do dólar era R\$ 3,49 (BCB, 2016) e o valor do barril do petróleo igual a US\$ 46,17. Não foram considerados na análise os custos industriais do processo de conversão da matéria-prima em etanol.

Para obtenção do total energético produzido (Energia produzida) foi utilizado o valor calorífico do etanol, que de acordo com URQUIAGA, ALVES e BOODEY (2005) é de 22,3 Mega Joules por litro ( $\text{MJ L}^{-1}$ ). Logo, a Energia produzida foi considerada como a quantidade de energia contida nos litros de etanol produzidos através da produção de cana-de-açúcar em um hectare ( $70 \text{ ton ha}^{-1}$ ). Foi considerado que 1 tonelada de colmos industrializáveis produz 86 litros de etanol, conforme os mesmos autores anteriormente citados.

O balanço energético é calculado através da saída (produção) e entrada (gasto energético nas operações de produção). De acordo com MEDEIROS (2011), a eficiência é calculada pela seguinte equação:

$$\text{Eficiência energética: } E = \frac{\sum E \text{ Produzida}}{\sum E \text{ Consumida}}$$

em que:

$\sum E$  Produzida, é a energia gerada ao final da produção.

$\sum E$  Consumida, é a energia gasta no processo de produção.

#### 4. RESULTADOS

O custo energético para produção de um hectare de cana-de-açúcar foi 105.806,8 MJ. De todas as operações analisadas, os insumos apresentaram os maiores gastos (34%), a segunda operação com maior dispêndio energético foi mão-de-obra em que teve 27% de participação (Tabela 1), os quais totalizam em 61% do gasto energético total. SALLA et al (2009), expressa em seu trabalho que o maior gasto foi com os insumos.

**Tabela 2 - Gasto energético nas operações agronômicas da cana-de-açúcar na Usina Seresta, no ano 2012.**

<b>OPERAÇÃO</b>	<b>MJ (TOTAL)</b>	<b>% TOTAL</b>
<b>Pré-plantio</b>	9.473,6	9
<b>Mecanização</b>	20.156,1	19
<b>Transporte</b>	11.703,1	11
<b>Mão-de-obra</b>	28.607,7	27
<b>Insumos</b>	35.866,3	34
<b>Total</b>	105.806,8	100

FONTE: Usina Reunidas Serestas (2012)

É importante destacar que a análise dos custos financeiros é similar aos gastos energéticos, ou seja, os maiores gastos (R\$) foram com os insumos, 32%, seguidos de mão de obra, 28% (Tabela 2). VIEIRA (2007) também apresentou os maiores custos financeiro para os insumos, 47,44%.

**Tabela 3 - Custo financeiro (R\$) nas operações agronômicas da cana-de-açúcar na Usina Seresta, no ano 2012.**

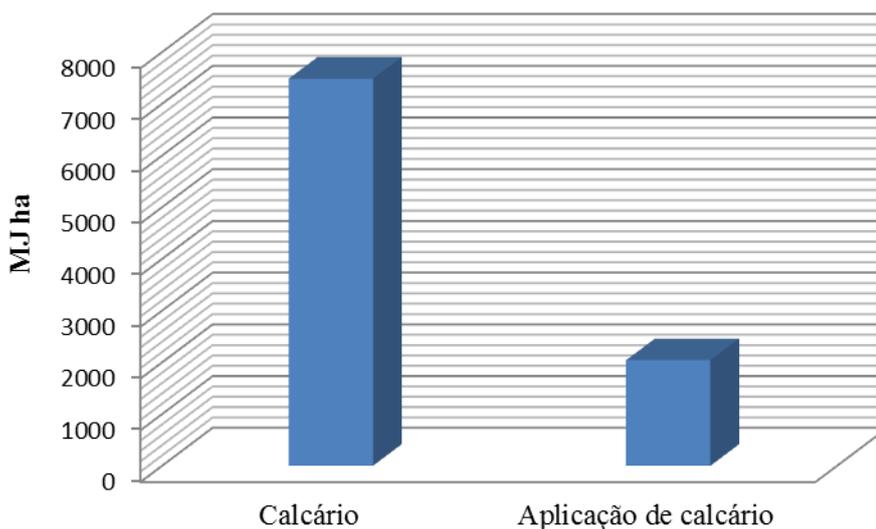
<b>OPERAÇÃO</b>	<b>CUSTO (R\$)</b>	<b>% TOTAL</b>
<b>Pré-plantio</b>	280,00	9
<b>Mecanização</b>	592,50	20
<b>Transporte</b>	344,00	11
<b>Mão-de-obra</b>	840,92	28
<b>Insumos</b>	982,50	32
<b>Total</b>	3039,92	100

FONTE: Usina Reunidas Serestas (2012)

Quanto às entradas de energia segundo a fonte, a energia indireta<sup>1</sup> teve maior participação nos gastos (73%), havendo um destaque para insumos e mecanização. Para VIEIRA (2007) em sua análise energética e econômica para cana sem queima prévia e colheita mecanizada, a energia indireta também assumiu maiores proporções nas operações de tratamentos culturais, 78,74%.

Na fase de pré-plantio, o calcário apresentou o maior dispêndio energético, 79%. (Figura 1).

**Figura 1 - Comparação energética entre o calcário e a aplicação do produto em um hectare de cana-de-açúcar na Usina Seresta, no ano 2012.**

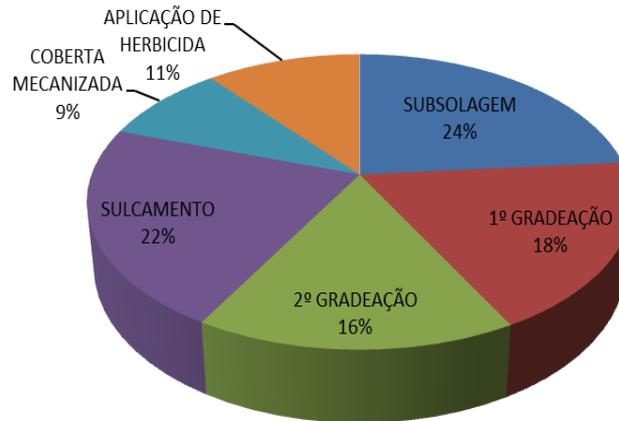


FONTE: Usinas Reunidas Seresta (2012)

Na operação mecanização a subsolagem assumiu maiores valores energéticos por hectare, representando 24% do total, seguido do sulcamento, 22% (Figura 2). Assim, o pré-plantio e a mecanização são as duas operações que demandaram maiores recursos financeiros (R\$). VIEIRA (2007) expressou em seu trabalho que do total dos custos financeiros, a mecanização teve maior expressividade.

<sup>1</sup> Segundo (FREITAS *et al*, 2006), as fontes de energia classificam-se em energia direta, aquela aplicada na forma que é apresentada e energia indireta aquelas referentes às atividades que gastam energia.

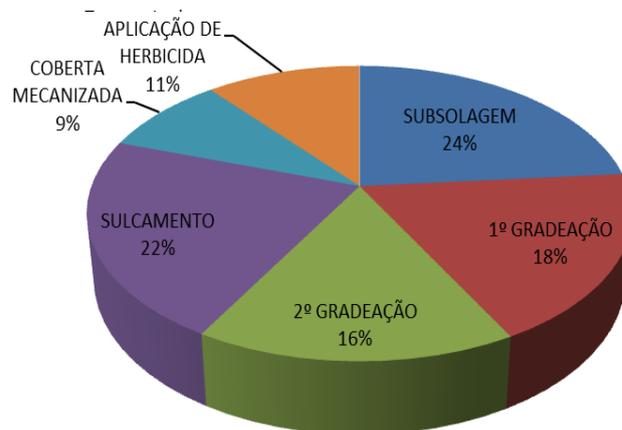
**Figura 2 - Gasto energético na operação agrônômica mecanização.**



FONTE: Usinas Reunidas Seresta (2012)

Na operação transporte, o transporte de sementes representou o maior conteúdo energético, 65% (Figura 3) e também maior custo financeiro (65%).

**Figura 3: Gasto energético na operação agrônômica transporte.**



FONTE: Usinas Reunidas Seresta (2012)

Para mão-de-obra (Tabela 2), maior gasto energético foi para encargos de mão-de-obra na qual apresentou 43%, seguido de corte de semente (23%) e coberta manual (10%). Os custos financeiros apresentam-se nessa mesma ordem de gastos.

**Tabela 4: Investimento/Dispêndio energético com mão-de-obra nas operações agrônômicas da cana-de-açúcar na Usina Reunidas Serestas.**

<b>MÃO-DE-OBRA</b>	<b>VALORES R\$</b>	<b>MJ</b>	<b>%</b>
<b>Corte de semente</b>	188,00	6.395,70	23
<b>Distribuição de semente</b>	32,90	1.118,70	4
<b>Semeio</b>	66,70	2.269,30	8
<b>Picção</b>	34,22	1.163,80	4
<b>Coberta manual</b>	86,55	2.944,00	10
<b>Retificação de sulco</b>	14,59	495,70	2
<b>Retificação de cobertura</b>	11,40	387,00	1
<b>Administração agrícola</b>	43,43	1.477,90	5
<b>Encargos de mão de-obra</b>	363,12	12.353,90	43
<b>TOTAL</b>	<b>840,92</b>	<b>28.606,00</b>	<b>100</b>

FONTE: Usinas Reunidas Seresta (2012)

Quanto aos insumos, os fertilizantes tiveram valores representativos, 86% em relação aos herbicidas (14%). Esse resultado é similar ao de (URQUIAGA, 2005), que identificou o maior conteúdo energético para fertilizantes/pesticidas no plantio da cana-de-açúcar.

Com uma produtividade de 70 toneladas por hectare (REVISTA RURAL, 2016) e 1.148.759t de cana-de-açúcar no ciclo 2011/2012, (SINDAÇUCARAL, 2016); o sistema agrônômico da cana-de-açúcar na Usina Reunidas Seresta é sustentável, tendo em vista que a eficiência energética foi igual a 1,2.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados pode-se destacar que os insumos consumiram 34% de toda energia gasta na operação agrônômica, a maior porcentagem das atividades analisadas.

Dos insumos, os fertilizantes assumiram a maior porcentagem, 50%. Em seguida, as atividades envolvendo mão-de-obra tiveram maiores dispêndios.

O balanço energético comporta-se como ferramenta importante em um sistema agrícola, pois envolve os ganhos com energia, se o sistema for eficiente.

Apesar da eficiência energética ter sido positiva, a metodologia proposta para determinação da entrada energética, que foi a conversão do valor financeiro em valores, não se apresentou como ferramenta adequada para essa determinação superestimando os valores.

É importante ressaltar para futuros trabalhos, um levantamento de informações para que seja possível a determinação da demanda energética conforme fórmulas que utilizam coeficientes energéticos para cada operação.

## REFERÊNCIAS

**BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015: Ano base 2014.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2015.

BARBOSA, Geraldo Veríssimo de Souza. **Contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de alagoas.** 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Curitiba, 2014, p. 116.

**BOLETIM GERAL DE PRODUÇÃO – CONVERSÃO EM ATR – SAFRA 2014/2015.** Alagoas: Sindicato da Indústria do açúcar e do álcool, no estado de Alagoas, 2015.

CAMPOS, A.T. **Balanço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite.** 2001. 236p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAMPOS, Alessandro Torres; CAMPOS, Aloísio Torres de. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. *Ciência Rural*, Santa Maria v.34, n.6, nov – dez, 2004, p.1977 – 1985.

**DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO DE SENADOR TEOTÔNIO VILELA.** Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005.

DIAS, José Manuel Cabral de Sousa et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais.** Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.

FREITAS, Silene Maria de et al. Análise comparativa do Balanço energético do milho em diferentes sistemas de produção. *Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, Fortaleza, 2006.

FURLANETO, Fernanda de Paiva Badiz; ESPERANCINI, Maura Seiko Tsutsui; CARVALHO, Osmar de. Custo energético da produção do maracujá amarelo na região de Marília – SP. *Energia Agrícola*, Botucatu, vol. 28, n.1, janeiro-março, 2013, p. 57-64.

(Org.) MACEDO, Isaías de Carvalho. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil.** Governo do Estado de São Paulo: Abril, 2004.

MACEDO, Isaias (Org.). **A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Berlendis & Vertecchia : UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005.

MAGRO, Fábio Jr. et al. *Biometria em cana-de-açúcar*. USP, Piracicaba, 2011.

MANOCHIO, Carolina. **Produção de Bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014, 33p, trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais 2014.

MAPA de clima do Brasil: temático. Escala 1: 5 000 000. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

MAPA de solos do Brasil: temático. Escala 1: 5 000 000. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

MEDEIROS, Lindoiri Flávia Santana de. **Avaliação da energia contida nos principais sistemas agrícolas e industriais da região médio norte do Estado de Mato Grosso – 2010**. 2010, Dissertação (Mestre em economia) – Universidade Federal do Mato Grosso, Mato Grosso, 2010, p. 149.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; LORA, Electo Eduardo Silva. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

**RELATÓRIO ESTATÍSTICO – SAFRA 2009/2010**. Alagoas: Sindicato da Indústria do açúcar e do álcool, no estado de Alagoas, 2010.

RODRIGUES, SAULO; JULIANI, Antonio. *Sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo*. Estudos avançados, 2013.

SALLA, Diones Assis et al. *Avaliação energética da produção de etanol utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.8, nov, 2009, p.2516-2520.

SANTOS, Sérgio Silva dos. **O Cultivo da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: Uma análise comparativa dos efeitos da mecanização no estado de São Paulo**. 2011, Dissertação (Mestre em desenvolvimento sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011, p. 103.

SANTOS, Lucas Amaro dos et al. Potencial energético da biomassa de cana-de-açúcar em uma usina sucroenergética. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 14, n. 2, ago./dez. 2016, p. 1101-1108.

URQUIAGA, Segundo; ALVES, Bruno José Rodrigues; BOODEY, Roberto Michael. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. *Política Agrícola*, Brasília, v.14, n.1, 2005, p.42-46.

VIEIRA, Gilberto. **Avaliação energética e custo de produção da cana-de-açúcar (Saccharum) do preparo de solo ao 5º corte**. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2007, p. 104.

**Plano Nacional de Energia 2030 Brasil**. Brasília: Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética - MME : EPE, 2007.

OLIVEIRA, Lucas Mendes; SERRA, Juan Carlos Valdés; OLIVEIRA, Karine Beraldo Magalhães. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias-primas. *Revista eletrônica do curso de Geografia, Jataí*, n. 22, Jan – Jun, 2014.

<[cbcb.gov.br](http://cbcb.gov.br)> Acesso em 01 de maio de 2016.

<[usinaseresta.com.br](http://usinaseresta.com.br)> Acesso em 23 de nov. de 2014.

<[www.revistarural.com.br](http://www.revistarural.com.br)> Acesso em 11 de julho de 2016.