

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NÍVEL DE MESTRADO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO CAPIM  
VETIVER ENRIQUECIDO COM GLICERINA PARA FIM DE  
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Jaíne Alves Anselmo**

**ITAJUBÁ, MG, BRASIL**

**2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NÍVEL DE MESTRADO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ESTUDO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO CAPIM VETIVER  
ENRIQUECIDO COM GLICERINA PARA FIM DE GERAÇÃO DE  
ENERGIA

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Geraldo Lúcio Tiago Filho

Itajubá, MG, Brasil

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NÍVEL DE MESTRADO EM MEIO  
AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Autora: **Jaíne Alves Anselmo**

Título: **Estudo do potencial energético do capim vetiver enriquecido para geração de energia**

Dissertação apresentada em 12 de março de 2019.

À Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho (orientador)  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Regina Mambeli Barros  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. Rossano Gimenes  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

---

Prof<sup>a</sup>. Dr. Lilian Vilela Andrade Pinto  
IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes

*Este trabalho é dedicado a minha mãe, Maria. Mulher de personalidade forte e de grande sensibilidade. Mulher que sempre me apoiou nas minhas escolhas e estava ali nos piores e melhores momentos da minha vida. Mulher forte, batalhadora e incrivelmente incrível. Este trabalho também é dedicado a memória do meu pai, Odair. Memória esta que preservo nos mais íntimos detalhes.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, pelo dom da vida e por sua incrível força habitante em mim.

Agradeço também a intercessão e proteção de Nossa Senhora do Carmo, santa à qual sou devota desde pequena.

Agradeço a CAPES pela bolsa de pesquisa durante esse dois anos de pós graduação

Agradeço a minha mãe, Maria, pelo apoio emocional e material. Por estar presente na vida e cuidar tanto assim de mim. Agradeço infinitamente pelo carinho e pela educação que me deu e, por contribuir muito pela minha formação como pessoa.

Agradeço a minha irmã, Jacqueline, pelo apoio, pelas risadas, pela pessoa que é. Agradeço por cada momento passado contigo e por cada palavra amiga e carinhosa.

Agradeço ao meu orientador Tiago pela dedicação e por me auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa

Agradeço ao Paulo, a Melina, Maria Cláudia e ao professor Rossano por toda ajuda e ensinamentos prestados a mim

Agradeço as pessoas que estiveram comigo ao longo dessa jornada: Paulo, Lilian, Thaís, Natália, Gabriela, Michele, Amanda, Paulinha, Lara e a todos meus amigos que colaboram fisicamente e emocionalmente para que esse trabalho fosse realizado.

## RESUMO

A biomassa pode ser considerada como a fonte mais antiga para uso energético. É utilizada desde os primórdios da humanidade para aquecimento e cozinhar alimentos. Atualmente, na matriz energética brasileira, possui considerável representatividade, destacando-se como uma das fontes de energias renováveis mais promissoras. O uso da biomassa moderna auxilia para que a biomassa exerça esse importante papel. Biomassa moderna pode ser entendida como aquela em que é atribuída tecnologias na sua fabricação. Tecnologia esta que auxilia na conservação, na qualidade, no armazenamento da biomassa gerada. Já biomassa tradicional é aquela *in natura*, ou seja, não fora empregado nenhum processo industrial em sua fabricação. Por isso, apesar do uso da biomassa tradicional ainda ser grande escala espera-se a substituição de seu uso pela biomassa moderna, com novas tecnologias capazes de melhorar o produto e contribuir para a ascensão do uso da biomassa. Espera-se que essa tendência no uso de energias renováveis seja crescente principalmente para a redução da dependência na utilização de fontes fósseis de energia e diversificação da matriz energética nacional. As gramíneas ganham espaço na busca de por novas fontes renováveis, principalmente por apresentar grande produtividade e adaptar-se a diversos climas. O capim Vetiver é uma gramínea com potencial já identificado para ser utilizado no setor energético. A glicerina é o subproduto da indústria do biodiesel, seu principal componente é o glicerol, que tem alto valor energético. O montante de glicerina produzido nos últimos anos tem sobrecarregado o mercado, utilizá-la no setor energético é uma alternativa viável para dar uma destinação adequada. O presente trabalho tem como principal objetivo estudar a potencialidade de geração de energia do capim vetiver. Verificou-se que a glicerina bidestilada obteve os melhores resultados, gerando um poder calorífico maior que as demais amostras avaliadas. No entanto, com o aumento da mistura de capim vetiver e glicerina, o poder calorífico diminuiu gradativamente. Portanto, a mistura não favoreceu a biomassa em estudo.

Palavras chaves: Bioenergia, Energia renovável, Sustentabilidade

## **ABSTRACT**

Biomass can be considered as the oldest source for energy use. It has been used since the dawn of mankind for heating and cooking food. Currently, in the Brazilian energy matrix, it has considerable representativity, standing out as one of the most promising renewable energy sources. The use of modern biomass helps biomass to play this important role. Modern biomass can be understood as the one in which technologies are attributed in its manufacture. This technology assists in the conservation, quality and storage of the biomass generated. Traditional biomass is already in natura, that is, no industrial process was used in its manufacture. Therefore, although the use of traditional biomass is still large scale, it is expected that its use will be replaced by modern biomass, with new technologies capable of improving the product and contributing to the rise of the use of biomass. It is expected that this trend in the use of renewable energies will increase mainly to reduce dependence on the use of fossil energy sources and diversification of the national energy matrix. Grasses gain space in the search for new renewable sources, mainly because it presents great productivity and adapts to diverse climates. Vetiver grass is a grass with potential already identified to be used in the energy sector. Glycerin is the by-product of the biodiesel industry, its main component is glycerol, which has a high energy value. The amount of glycerine produced in recent years has overwhelmed the market, using it in the energy sector is a viable alternative to give an adequate destination. The main objective of this work is to study the power generation potential of vetiver grass. It was verified that the bi-distilled glycerin obtained the best results, generating a calorific value higher than the other samples evaluated. However, with increasing mixture of vetiver grass and glycerin, the calorific value gradually decreased. Therefore, the mixture did not favor the biomass under study.

Keywords: Bioenergy, Renewable Energy, Sustainability

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Oferta de energia interna

Tabela 2 – Fontes de biomassas da matriz elétrica brasileira

Tabela 3 – Espaçamento de plantio e tempo de desenvolvimento

Tabela 4 – Concentrações de glicerina + capim vetiver submetidas ao teste de poder calorífico

Tabela 5 - Resultados das repetições feitas com capim vetiver

Tabela 6 – Resultados da análise de composição química elementar da gramínea vetiver

Tabela 7 – Análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver

Tabela 8 - Resultados das repetições feitas com a glicerina de a base de soja da empresa Caramuru

Tabela 9 - Resultados das repetições feitas com a glicerina a base de soja

Tabela 10 - Resultados das repetições feitas com a glicerina de sebo bovina

Tabela 11- Resultados das repetições feitas com a glicerina bidestilada

Tabela 12 – Resultados do teste de poder calorífico com todas as gliceras estudadas

Tabela 13 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina Caramuru

Tabela 14 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina a base de soja

Tabela 15 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina a base de sebo bovino

Tabela 16 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina bidestilada

Tabela 17 – Leitura da quantidade água presente nas amostras de glicerina

Tabela 18 – Resultados da análise de composição química elementar das gliceras estudadas



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Matriz Elétrica Nacional

Figura 2 - Capim Vetiver

Figura 3 – Reação de transesterificação

Figura 4 – Diferentes usos da glicerina

Figura 5 – Local do experimento

Figura 6- Croqui de um bloco do experimento

Figura 7 – Amostra de glicerina doada pela empresa Caramuru

Figura 8 - Amostra de glicerina doada pela empresa privada

Figura 9 - Amostra de glicerina doada pela JBS

Figura 10 - Amostra de glicerina bidestilada

Figura 11 - Determinação do teor de água na amostra

Figura 12 – Realização do termovácuo

Figura 13 – Filtragem com sulfeto de alumínio

Figura 14 – Calorímetro IKA Works utilizado para realização das análises

Figura 15 – Procedimentos no laboratório

Figura 16 – Procedimentos para o teste de poder calorífico

Figura 17 – Analisador elementar utilizado para determinação das análises

Figura 18 – Analisador Termogravimétrico utilizada para realização das análises

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Gráfico 1 – Primeiro teste da análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver

Gráfico 2 – Segundo teste da análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver

Gráfico 3 - Teste de poder calorífico das glicerinas em estudo

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
<b>1.1. CENÁRIO ATUAL</b> .....	13
<b>1.2. JUSTIFICATIVA</b> .....	14
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	15
1.3.1. OBJETIVO GERAL .....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
<b>2.1. QUADRO ENERGÉTICO BRASILEIRO</b> .....	17
<b>2.2. HISTÓRICO DO USO DA BIOMASSA</b> .....	19
<b>2.3. BIOMASSA TRADICIONAL VERSUS BIOMASSA MODERNA</b> .....	22
<b>2.4. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DAS BIOMASSAS</b> .....	25
<b>2.5. PRINCIPAIS BIOMASSAS UTILIZADAS NO BRASIL</b> .....	27
<b>2.6. USO DE GRAMÍNEAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA</b> .....	32
<b>2.7. GRAMÍNEA VETIVER</b> .....	33
<b>2.8. VALOR NUTRITIVO DO CAPIM VETIVER</b> .....	35
<b>2.9. PRODUÇÃO DE BIODIESEL E GLICERINA</b> .....	38
<b>2.10. GLICERINA</b> .....	38
<b>2.11. USO DA BIOMASSA ENRIQUECIDA COM GLICERINA PARA FINS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	39
<b>2.12. ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E ENERGÉTICA</b> .....	40
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	43
<b>3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	43
<b>3.2. OBTENÇÃO DA GLICERINA</b> .....	45
3.2.1 EMPRESA CARAMURU ALIMENTOS .....	45
3.2.2 GLICERINA A BASE DE SOJA .....	46
3.2.3 GLICERINA A BASE DE SEBO BOVINO .....	47
3.2.4 GLICERINA BIDEDESTILADA.....	48
<b>3.3. TRATAMENTO DA GLICERINA</b> .....	48
<b>3.4. ANÁLISE DE PODER CALORÍFICO</b> .....	51
<b>3.5. ANÁLISE TERMOGRÁVIMÉTRICA OU ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO IMEDIATA</b> ..	53
4. RESULTADOS	
4.1.1. TESTE DE PODER CALORÍFICO PARA O CAPIM VETIVER .....	55

4.1.2. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR PARA O CAPIM VETIVER .....	56
4.1.3. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO IMEDIATA COM ATMOSFERA DE N E O .....	56
<b>4.2. TESTE DE PODER CALORÍFICO PARA AS GLICERINAS ESTUDADAS.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3. TESTE DE PODER CALORÍFICO COM A MISTURA CAPIM VETIVER + GLICERINA .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4. ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR DAS AMOSTRAS DE GLICERINA ESTUDADAS.....</b>	<b>68</b>
<b>4.5. POTENCIAL DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA DA BIOMASSA DISPONÍVEL .....</b>	<b>69</b>
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Cenário Atual

O contínuo crescimento dos países em desenvolvimento, o aumento da população e as mudanças nos hábitos que as novas tecnologias proporcionam vêm sendo responsáveis pela ascensão da demanda por energia ao redor do mundo. Esse aumento no consumo de energia está diretamente relacionado a economia dos países. Os países que mais consomem energia são os pertencentes ao grupo dos países mais ricos.

Em contrapartida a esse crescimento no consumo têm-se a escassez das reservas de combustíveis fósseis ao redor do mundo e a instabilidade social e política dos países produtores de petróleo. Esses aspectos comprometem o fornecimento de energia e faz com que novos estudos de viabilidade energética sejam feitos. Devido a isso surgem novos espaços para fontes de energia renováveis.

Considerando esse novo cenário global, o uso da biomassa como fonte de energia tem importante destaque. Segundo Dafnomilis et al. (2017) com as reduções nas emissões de gases poluentes e a diminuição de combustíveis fósseis, a biomassa deverá desempenhar um papel importante no aumento do uso de energias renováveis.

A biomassa, segundo Tavares e Tavares (2015), é compreendida como todo recurso renovável, originada da matéria orgânica, que pode ser utilizada como fonte de energia. Podem ser de origem animal, florestal, agrícola e rejeitos urbanos e industriais e, de acordo com o autor, podem ser dividida em dois grandes grupos: biomassa tradicional e biomassa moderna. Sendo a tradicional constituída por recursos naturais e a moderna por produtos originados de processos tecnológicos, conforme será detalhado no item 2.3, a seguir.

A energia da biomassa é obtida da conversão da energia solar em energia química pela fotossíntese, portanto ela também é uma fonte indireta de energia solar (BERGMAN, 2008). A necessidade de novas fontes de energia renováveis tem impulsionados estudos ao redor do mundo. O uso de gramíneas na geração de energia tem despertado o interesse no Brasil e já faz parte do grupo das principais biomassas utilizadas no país. Nesse sentido, o **capim vetiver** tem importante destaque. Autores como Tavares e Santos (2013) recomendam o uso dessa gramínea para produção de energia térmica.

Além do uso de gramíneas e demais biomassas, o setor energético tem buscado fontes que utilizem subprodutos e resíduos de cadeia produtiva, proporcionando uma

destinação final correta aos resíduos. O uso da glicerina é um grande exemplo dessa tendência. O aproveitamento da glicerina como elemento de enriquecimento de biomassa para fins energéticos tem crescido nos últimos anos. A glicerina é subproduto do biodiesel e tem gerado grande excedente atualmente no mercado. O reuso desse material garante as indústrias a destinação adequada e evita um possível impacto ambiental, beneficiando as esferas econômicas e ambiental, promovendo o desenvolvimento sustentável.

O interesse do uso de gramíneas e o aproveitamento da glicerina como fonte de energia pelo Brasil é recente, e isso justifica-se pelo uso da biomassa estar em expansão pelo país. De acordo com Borges et al. (2017) o Brasil possui um grande potencial para produção de biomassa. Possui abundância de energia renovável e vantagens do uso da agricultura na energia. A capacidade de incorporar novas áreas destinada ao uso energético, sem competir com a produção de alimentos e manter a qualidade ambiental, são algumas vantagens apresentadas do uso da agricultura de energia.

Folleto (2005) afirma que as vantagens ambientais trazidas pelo uso da biomassa faz com que sua utilização seja uma opção estratégica para o país, dependendo apenas de políticas adequadas para sua viabilização. Considerando essa premissa, o governo brasileiro lançou em 2004 o PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O programa fora instituído para aumentar a participação de novas fontes de energia, como a biomassa.

O PROINFA foi um programa pioneiro de incentivo à da participação fontes renováveis de energia: eólica, solar e a pequenas centrais hidrelétricas na matriz elétrica nacional. O principal objetivo é promover a diversificação das fontes que compõem a matriz elétrica nacional. Atualmente, segundo a ANEEL (2017), 60,69% da matriz elétrica brasileira tem como base o potencial hídrico, 16% é referente a fontes fósseis, 7,71% a energia eólica, 8,74% de biomassa, 0,78% de energia solar e 1,19% de energia nuclear O país, portanto, tem grande dependência desse setor.

Dentre as fontes renováveis de energia, a biomassa tem-se apresentado como uma alternativa para compor a matriz elétrica brasileira e também para o setor de transporte, com uso dos biocombustíveis (etanol e biodiesel). A biomassa moderna, caracterizados pelo etanol e biodiesel, tem importante destaque para o Brasil. O país conta com legislações específicas que trazem a obrigatoriedade de sua adição na gasolina e Diesel.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

O aumento da quantidade de glicerina nos últimos anos tem levado as empresas a buscarem uma destinação adequada à esse subproduto do biodiesel. Hoje em dia a maior parte da glicerina produzida é destinada a indústria de higiene e limpeza na fabricação de xampus, sabonetes e sabões.

No entanto a tendência da produção de biodiesel é aumentar significativamente nos próximos anos. Espera-se que surjam novos destinos dados a glicerina para evitar o passivo ambiental gerado por seu excesso. Um dos possíveis uso da glicerina é na indústria de energia. No setor energético a glicerina tem destaque importante, em especial por conter glicerol na mistura. O glicerol é o principal constituinte da glicerina e tem alto valor energético.

Frente a isso, soma-se o crescente estímulo dado as fontes renováveis de energia, dentre elas a biomassa. A biomassa é uma fonte de energia renovável promissora e coloca o Brasil em posição de destaque junto a outros países. O país possui condições ambientais e climáticas favoráveis para seu desenvolvimento além de poder contar com programas e políticas de incentivo internos.

Para o país estudos de novas fontes de energia renováveis são importantes para garantir a diversificação da matriz elétrica nacional e aliviar a dependência de fontes fósseis de energia.

### **1.3. OBJETIVOS**

Este trabalho de dissertação tem os seguintes objetivos gerais e específicos.

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

Estudar a potencialidade de geração de energia do capim vetiver, da área de estudo do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes, sem e/ou com a adição de glicerina;

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analisar o poder calorífico, a composição química elementar e imediata do capim vetiver.

- Analisar o efeito da glicerina sobre o poder calorífico no vetiver.
- Estimar a produtividade de capim vetiver da área de estudo do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes.

#### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho é dividido em seis capítulos. O primeiro capítulo diz respeito a introdução. Nela são expostos a problemática envolvendo a biomassa e o interesse por novas fontes de energia renováveis. Também são apresentados os objetivos da pesquisa e a justificativa do trabalho.

No capítulo dois é apresentado uma revisão bibliográfica sobre o tema. São abordados aspectos relacionados ao conceitos de biomassa moderna e tradicional, a importância para o Brasil, sua participação na matriz elétrica nacional, suas vias de conversão e principais biomassas utilizadas no Brasil. Além de expor também dados sobre o Capim Vetiver e a glicerina.

O capítulo três é referente a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. Nesse tópico está detalhado como o trabalho foi feito e quais os métodos utilizados. O capítulo quatro traz os resultados obtidos do trabalho. O capítulo cinco faz referência as conclusões obtidas. O capítulo seis traz as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. QUADRO ENERGÉTICO BRASILEIRO**

Matriz energética pode ser entendida como o conjunto de todos os tipos de energia utilizada pelo país. As fontes de energia não renováveis são aquelas originadas de fontes fósseis de energia e tem recursos limitados. Já a energia de fontes renováveis podem ser utilizadas por muito tempo, pois possuem ciclo de renovação natural. São exemplos: a energia hidrelétrica, solar, geotérmica, das marés, eólica e biomassa.

Como tendência global, é esperado que o uso de energia de fontes renováveis de energia seja crescente e cada vez mais presente na matriz energética dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A utilização de fontes renováveis de energia trazem equilíbrio as questões ambientais e buscam promover o desenvolvimento sustentável (PEREIRA et al., 2012). Investimentos e desenvolvimento de tecnologias tem sendo feito para o melhor aproveitamento energético dessas fontes.

O Brasil por possuir grande extensão territorial e ser rico em recursos naturais, possui grande potencial na utilização de energia renováveis (energia solar, eólica, biomassa e hidráulica) e, também tem destaque no uso de energias de fontes fósseis, principalmente quando são para o mercado externo (PEREIRA et al., 2012). O país, tem portanto papel de destaque nesse setor e com grandes possibilidades de crescimento, principalmente na utilização de fontes renováveis de energia.

Como afirma Oliveira (2014) o planejamento energético dos países está diretamente ligado ao desenvolvimento sustentável e manutenção dos recursos naturais para a geração futura, dado que a importância de um planejamento energético correto é uma dos princípios da sustentabilidade.

Dentre as energia renováveis, Goldemberg (2009) espera um futuro promissor para a biomassa. Segundo o autor, ao final do século XXI, o uso da biomassa deverá passar de 10% para 20% de toda a energia utilizada pelo mundo.

A matriz energética brasileira é composta por fontes de energias renováveis e não renováveis. Apesar de fontes fósseis representar pouco mais da metade do total utilizado pelo país, as fontes renováveis tem grande representatividade na matriz nacional.

Tabela 1- Oferta Interna de Energia

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		16/15 %	Estrutura %	
	2015	2016		2015	2016
<b>NÃO-RENOVÁVEL</b>	<b>175.903</b>	<b>162.975</b>	<b>-7,3</b>	<b>58,7</b>	<b>56,5</b>
<i>PETRÓLEO E DERIVADOS</i>	<i>111.626</i>	<i>105.354</i>	<i>-5,6</i>	<i>37,3</i>	<i>36,5</i>
<i>GÁS NATURAL</i>	<i>40.971</i>	<i>35.569</i>	<i>-13,2</i>	<i>13,7</i>	<i>12,3</i>
<i>CARVÃO MINERAL E DERIVADOS</i>	<i>17.625</i>	<i>15.920</i>	<i>-9,7</i>	<i>5,9</i>	<i>5,5</i>
<i>URÂNIO (U308) E DERIVADOS</i>	<i>3.855</i>	<i>4.211</i>	<i>9,2</i>	<i>1,3</i>	<i>1,5</i>
<i>OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS(*)</i>	<i>1.826</i>	<i>1.921</i>	<i>5,2</i>	<i>0,6</i>	<i>0,7</i>
<b>RENOVÁVEL</b>	<b>123.668</b>	<b>125.345</b>	<b>1,4</b>	<b>41,3</b>	<b>43,5</b>
<i>HIDRÁULICA E ELETRICIDADE</i>	<i>33.897</i>	<i>36.265</i>	<i>7,0</i>	<i>11,3</i>	<i>12,6</i>
<i>LENHA E CARVÃO VEGETAL</i>	<i>24.900</i>	<i>23.095</i>	<i>-7,2</i>	<i>8,3</i>	<i>8,0</i>
<i>DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR</i>	<i>50.648</i>	<i>50.318</i>	<i>-0,7</i>	<i>16,9</i>	<i>17,5</i>
<i>OUTRAS RENOVÁVEIS</i>	<i>14.223</i>	<i>15.667</i>	<i>10,1</i>	<i>4,7</i>	<i>5,4</i>
<b>TOTAL</b>	<b>299.570</b>	<b>288.319</b>	<b>-3,8</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>dos quais fósseis</i>	<i>172.047</i>	<i>158.763</i>	<i>-7,7</i>	<i>57,4</i>	<i>55,1</i>

Fonte: Resenha energética brasileira – Ministério de Minas e Energia (2017b)

A Tabela 1 ilustra a estrutura da Oferta de Energia Interna de 2015 a 2016. Pôde-se verificar diminuição de 7,3% da utilização de energia não renováveis no período avaliado, em contraste com o aumento de energia renováveis. A hidroeletricidade exerce a maior porcentagem de uso, e é a fonte renovável mais utilizada pelo país.

A Figura 1 representa os componentes da Matriz Elétrica Nacional. A energia de fontes renováveis representam 81,7% do total utilizado para geração de energia elétrica. A matriz elétrica nacional é majoritariamente renovável. A energia hidrelétrica tem a maior representatividade desse total, demonstrando a grande dependência do país nesse setor. O bagaço de cana de açúcar tem especial destaque, representando 7% do total, é a principal biomassa utilizada na geração de energia elétrica.

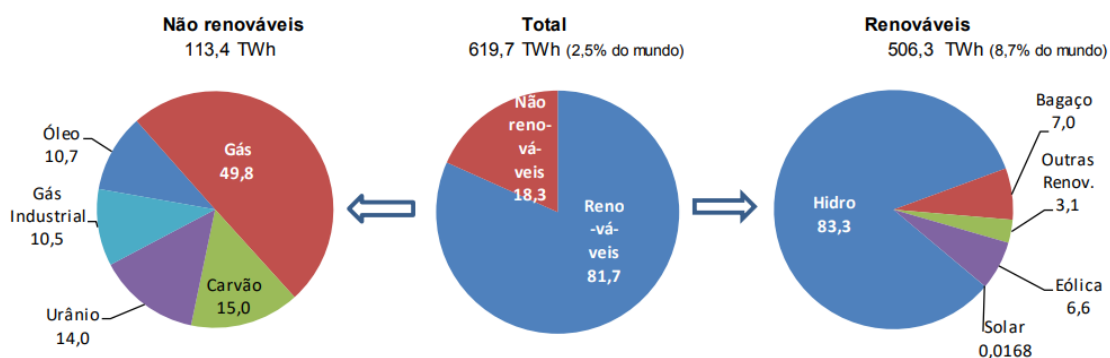


Figura 1 - Matriz Elétrica Nacional

Fonte: Resenha energética brasileira – Ministério de Minas e Energia (2017b)

A biomassa não exerce grande desempenho na matriz elétrica nacional. No entanto, as perspectivas de crescimento são altas. Espera-se que esse setor cresça e ocupe posição de destaque. Atualmente somente o bagaço da cana de açúcar tem ganhado espaço, principalmente nas usinas de co-geração de energia.

A cana de açúcar tem grande produtividade e encontra no Brasil condições climáticas ideais para ser desenvolvido. É esperado crescimento nesse setor, pois o uso do bagaço da cana como fonte de energia já é consolidado em diversas regiões, em especial, o estado de São Paulo.

## 2.2. HISTÓRICO DO USO DA BIOMASSA

A biomassa, segundo Goldemberg (2009) no século XIX representava 85% do consumo mundial de energia. Era praticamente a única forma de energia utilizada pelo homem no período, além da força dos ventos, do uso de animais para transporte e carvão, para aquecimento.

A Revolução Industrial teve início no século XVIII e foi marcada pelo uso das primeiras máquinas a vapor. O principal combustível utilizado para abastecer as caldeiras era o carvão. Em 1850 o uso do carvão representava 15%, já no fim do século XIX, esse percentual subiu para 50% (GOLDEMBERG, 2009).

O uso do carvão perdurou por muito tempo e impulsionou o desenvolvimento econômico e industrial. No entanto, o petróleo logo despontou como combustível mais utilizado e viável para os interesses e tecnologias da época. De acordo com Goldemberg (2009), o petróleo e o gás natural ofereciam algumas vantagens em relação ao carvão.

Para o Brasil, o século XX representou um período de grande atividade na economia, o que por consequência, resultou em uma demanda cada vez maior de energia. O processo de industrialização, urbanização e o aumento da população foram determinantes para que houvesse tal crescimento (TOMALSQUIN; GUERREIRO; GORINI, 2007)

A lenha, até 1940 correspondia por 75% do consumo de energia no país. Era a principal fonte utilizada (CARVALHO, 2011). O modelo característico dessa época, de 1940 a 1960, foi marcado pela criação de empresas estatais que responsabilizaram pela produção e distribuição de petróleo e gás. A Petrobrás, foi criada no governo Vargas, reforçando a forte intervenção do Estado na economia e no setor energético (GOLDEMBERG, 2007)

De acordo com Tomalsquin, Guerreiro e Gorini (2007) entre 1970 e 1980 o PIB brasileiro registrou aumento com menor uso de energia. Segundos os autores, tal fato justifica-se pela substituição de fontes de energia com menor eficiência (a lenha, por exemplo) por outras mais eficientes (petróleo e eletricidade). No período pós 1980, houve aumento do uso de energia pelo país, em consequência do maior desenvolvimento econômico e crescimento industrial.

Os anos de 1970 foi marcado pela primeira grande crise do petróleo e pela crescente preocupação com o meio ambiente, em decorrência do lançamento do livro “Os limites do crescimento”, em 1956, pelo Clube de Roma e também pelas primeiras conferências ambientais que surgiram pós esse período.

O uso do álcool obteve sucesso no Brasil, principalmente pelo aumento do preço da gasolina e em decorrência também da grande preocupação ambiental gerado pelo uso do petróleo. O Brasil necessitava de um combustível de menor preço e independente da instabilidade política dos países produtores de petróleo.

Em 1973 com a primeira grande crise do petróleo, o álcool ganhou notoriedade e despontou como um combustível complementar a gasolina. No entanto, em 1922, já realizavam-se estudos para utilização do álcool em motores. Em 1933 foi criado o Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA). O IAA trouxe a obrigatoriedade de destinar parte da produção da cana para fabricação do álcool (CARVALHO, 2011)

Em junho de 1975 foi instituído o Plano Nacional do Álcool e, em novembro do mesmo ano, foi criado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). O Proálcool previa a

substituição do petróleo pelo álcool. O programa desenvolveu-se rapidamente até meados da década 1990, com estrutura financeira dependente da Petrobrás (CARVALHO, 2011)

A Lei 8.723/93 estabeleceu inicialmente a adição de 22% de etanol na gasolina. Atualmente o valor está em torno de 27%. De acordo com Pereira et al. (2012), o Proálcool obteve grande sucesso na substituição em larga escala de combustíveis advindos do petróleo. O programa trouxe vantagens econômicas ao reduzir a importação de petróleo. Com a queda do preço do petróleo, o programa entrou em declínio. Além disso, questões internas e problemas com os carros movidos a álcool, também colaboraram para o insucesso do programa (MORAES; BACHI, 2014).

No período de 1975 a 2000, foram fabricados cerca de 5,6 milhões de carros com motor a álcool (PEREIRA et al., 2012). Em 2003 a montadora Volkswagen lançou o primeiro carro com motor flex no Brasil e no mundo, ou seja, compatível com álcool ou gasolina. Como conta Moraes e Bachi (2014), a novidade resultou em aumento das lavouras de cana de açúcar e ressaltou novamente a importância do setor para o país. A região centro oeste teve destaque por fazer parte dessa nova expansão agrícola. No entanto, a crise econômica de 2008 interrompeu o processo de crescimento.

A Lei 10.438/2002 estabeleceu a criação do Programa de Incentivo às Fontes de Alternativas, o PROINFA. Este programa buscava estimular a geração de eletricidade por fontes eólicas, de pequenas centrais hidrelétricas (PCH) e de biomassa, através de projetos administrados por produtores independentes de energia, que não sejam controlados por uma concessionária. O PROINFA é dividido em duas fases, ambas com a prioridade de estimar o desenvolvimento de energias renováveis a curto e longo prazo (DUTRA;SZKLO, 2008).

De acordo com as metas estabelecidas, a primeira fase do programa previa-se a geração de 3.300 MW obtido através dessas fontes. Já a segunda fase estabelecia uma meta de 10%, dessas fontes na matriz elétrica nacional num período de vinte anos, no entanto foi abandonada. A Lei n.10.762/2003 e o Decreto 5025 de 2004, foram criados para revisar e supervisionar a Lei 10.438/2002 (GOLDEMBERG, 2007).

Segundo Dutra e Szklo (2008), o PROINFA pode ser considerado com um dos mais importantes iniciativas para o incentivo ao uso de fontes alternativas de energia no Brasil e no mundo. O Brasil também foi pioneiro em pesquisas com o biodiesel. Mas somente em 2003 foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Além do estímulo ao uso de etanol e biodiesel, o país também estimula o uso e o desenvolvimento de novas biomassas. A Resolução n° 6/2009 do Conselho Nacional de

Política Energética (CNPE) aumentou para 8% o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel.

### **2.3. BIOMASSA TRADICIONAL VERSUS BIOMASSA MODERNA**

A madeira e resíduos agrícolas eram as principais formas de obtenção de energia no século XIX. O carvão começou a ser empregado a partir de 1850 e, já por volta de 1900 o consumo de petróleo e derivados, fontes fósseis de energia, começou a ser explorado pelo mercado (GOLDEMBERG, 2017).

No entanto, o século XX também foi acompanhado pela crescente preocupação ambiental e a busca para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, ocasionado pelo aumento da utilização de fontes de energia não renováveis e que causam prejuízo ao meio ambiente. A partir de então, a biomassa e outras formas de energia, despontaram-se como alternativas viáveis na substituição dos combustíveis fósseis (GOLDEMBERG, 2017).

O uso da biomassa para obtenção de calor e energia, não era apoiado em uma produção sustentável. Por isso, por muito tempo fora associado a ideia de desmatamento. Como descreve Guardabassi (2006), apenas no final do século XX, o conceito de biomassa moderna e biomassa tradicional começou a ser empregada para diferenciar o processo de obtenção de energia.

A lenha e recursos naturais são os principais constituintes da biomassa tradicional. Já a Biomassa moderna é composta por produtos oriundos de processos avançados, tais como os biocombustíveis (etanol, biodiesel, pellets, briquetes) (MARTÍNEZ; LORA, 2014).

O ano de 2010 registrou consumo de biomassa em 53 EJ, representando cerca de 10% do consumo de energia primária. Desse percentual, 70% corresponde a forma primitiva de utilização de biomassa. Os outros 30% são correspondentes ao uso de biomassa moderna, como os biocombustíveis (GOLDEMBERG, 2017).

Atualmente, o uso da biomassa continua muito presente e sua utilização no quadro energético brasileiro e mundial tende a crescer. No entanto, diferentemente do que acontecia no séculos anteriores, hoje em dia emprega-se mais a utilização da biomassa originada de um processo tecnológico.

No entanto, o uso da biomassa tradicional ainda é muito presente em alguns países do mundo. De acordo com Goldemberg (2017), cerca de um terço da população mundial dos continentes africanos, asiáticos e latino americanos, sobrevivem com o uso da

biomassa tradicional. Em áreas rurais dos países em desenvolvimento, a biomassa tradicional é a principal fonte de energia utilizada por 2,5 bilhões de habitantes.

Segundo Martínez e Lora (2014) a demanda de biomassa tradicional cresceu cerca de 1,3% durante o período de 1990 a 2010. Uma taxa relativamente curta pelo período estudado. Espera-se que a demanda global por biomassa moderna venha a aumentar, chegando a 9% até 2020.

Segundo Lohri et al. (2016), cerca de 40% da população global, dependem prioritariamente da biomassa para cozinhar e mais de 95% dessas pessoas vivem na África ou na Ásia. A biomassa tradicional é largamente utilizada por países em desenvolvimento e em regiões isoladas, principalmente por ser um combustível barato e de fácil acesso. No Brasil, o uso da lenha é significativa, sobretudo no preparo de alimentos e na produção de carvão vegetal (GOLDEMBERG, 2007).

Segundo Escobar e Coelho (2014), atualmente mais da metade da madeira que tem como destino a produção de energia no Brasil ainda é proveniente de florestas nativas. E, a tendência no uso da madeira é continuar aumentando. A grande questão é desenvolver e aplicar tecnologias que possam satisfazer as demandas do mercado e melhorar o aproveitamento energético da madeira, sem uso de madeira originada de mata nativa.

O uso da biomassa tradicional no Brasil tem destaque por vários fatores, dentre eles destacam-se a disponibilidade de recursos e mão-de-obra baratas, rápida industrialização e urbanização (GOLDEMBERG, 2007). A biomassa tradicional, portanto, é uma importante fonte de energia para os países em desenvolvimento. Porém deve-se ater ao modo em que é utilizado para que seu uso seja um meio de melhorias sociais e econômicas, e não cause danos ao meio ambiente (GUARDABASSI, 2006).

No Brasil, a biomassa moderna tem importante destaque na produção dos biocombustíveis. O setor tem crescido no país. Segundo Mota, Silva e Gonçalves (2009), o setor de transporte é o ramo que detém maior responsabilidade pela liberação de gases poluentes na atmosfera, em decorrência também da maioria dos veículos utilizarem combustíveis a base de petróleo.

O sucesso do uso dos biocombustíveis deve-se também a questão levantada pelos autores. A preocupação ambiental é crescente e ter novas fontes de energia é essencial para o desenvolvimento econômico dos países. Destaca Mota, Silva e Gonçalves (2009) que o uso limite dos combustíveis fósseis, não se dará somente pela exaustão das reservas, mas sim pela própria capacidade do planeta em absorver a poluição causada pelo seu uso frequente.

Os biocombustíveis estão presente no Brasil pela obrigatoriedade da adição de etanol e biodiesel, respectivamente, na gasolina e diesel comum, o Estado brasileiro estimula e subsidia esse setor, o que o torna importante para a economia o país. Atualmente, o país é o segundo maior produtor de etanol do mundo e tem a cana de açúcar como principal matéria prima para a sua produção.

O etanol produzido no Brasil é tido como um produto de sucesso frente aos países justamente pelo sucesso de sua comercialização e pelos programas internos de incentivos (EICHLER et al., 2015). Goldemberg (2009) reforça a posição de destaque do etanol brasileiro. Para o autor o saldo energético positivo e o estímulo interno para a produção são os principais benefícios encontrados para sua comercialização e responsável por etanol abastecer cerca de 40% dos veículos do país.

O uso dos biocombustíveis é resultado de uma política global que estimula o uso de fontes de energia renováveis (TOIVANEN; NOVOTNY, 2017). Além do exemplo brasileiro, outros países também tem interesse no uso de biocombustíveis. Na América, a Colômbia conta com a obrigatoriedade da adição do etanol na gasolina (GUARDABASSI, 2006).

A exemplo do Brasil, a União Europeia tem na biomassa a maior fonte de energia renovável, contribuindo com cerca de 60% no quadro energético desses países. (DAFNOMILIS et al., 2017). De acordo com Santos et al. (2012) o uso dos biocombustíveis é estimulado pela redução da dependência de fontes fósseis de energia e diminuição dos gases de efeito estufa. Em média, a queima de fontes fósseis representa 82% das emissões de gases causadores do efeito estufa.

Goldemberg (2009) destaca que a experiência brasileira coma utilização do etanol, tem demonstrado que os impactos ambientais causados pela grande produção podem ser mitigados. O etanol já é consolidada como uma alternativa viável aos combustíveis fósseis, em decorrência principalmente do baixo impacto ambiental e baixo custo (SANTOS et al., 2012).

O biodiesel, assim como o etanol, é uma alternativa promissora em substituição aos combustíveis fósseis. Ele é obtido a partir da transesterificação de óleos vegetais com álcoois (MOTA; SILVA; GOLÇALVES, 2009). O diesel é uma opção ao diesel comum. Embora o Brasil tenha incentivo para sua produção, o etanol detém maior interesse e



destaque, mas ele fundamenta-se como um biocombustível importante no quadro energético brasileiro.

É esperado que o maior uso de biomassa no quadro energético mundial fundamente-se no ideal que os biocombustíveis possam substituir diretamente os combustíveis fósseis (TAVARES; TAVARES, 2015).

Os biocombustíveis líquidos são os principais representantes da biomassa moderna. No entanto, os biocombustíveis sólidos e o biogás também merecem destaque. O uso de resíduos madeireiros e folhosos, resíduos agrícolas e agrofloretais são constituintes da fabricação dos biocombustíveis sólidos adensados, os pellets e briquetes (TAVARES; TAVARES, 2015).

Os “pellets” que é constituído por biomassa aglomeradas na forma de pelotas, vem ganhando no Brasil novo espaço a cada dia, no entanto sua produção é pequena quando comparada com outros países e não tem capacidade de exportação (MARTÍNEZ; LORA, 2014). Já os briquetes resultam de um processo intermediário entre a biomassa natural e biomassa carbonizada. O produto final possui melhores características energéticas do que a madeira in natura. A principal vantagem no seu uso está no elevado poder calorífico, pouca umidade, facilidade no armazenamento e no transporte.

De acordo com Oliveira (2014) o biogás é obtido a partir da digestão anaeróbia da matéria orgânica em aterros sanitários e do tratamento de esgoto. O biogás é composto principalmente de gás carbônico e metano. O metano é um gás extremamente poluente, é cerca de 21 vezes mais poluente que o gás carbônico. O uso do biogás como fonte de energia, reduz as emissões de metano sendo essa, uma das principais vantagens ambientais sua utilização (GOLDEMBERG, 2009). A energia obtida do biogás pode ser considerada de baixo custo econômico.

## **2.4.APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DAS BIOMASSAS**

Por ser considerada uma fonte sustentável de baixo custo e abundante, o aproveitamento de biomassa para produção de energia vem despertando cada vez mais interesse no Brasil (BORGES et al., 2017). As principais fontes de biomassa incluem: resíduos de madeira, resíduos agrícolas, culturas agrícolas, resíduos sólidos municipais e de animais. Essas fontes são considerados meios potenciais de combustíveis

(GOLLAKOTA; KISHORE; GU, 2017).

Conforme descreve Goldemberg (2009) as principais variáveis das tecnologias de conversão da biomassa são: escala, qualidade do combustível, e custo. Combustão em leito fixo, leitos fluidizados, combustão de carvão e biomassa, recuperação de resíduos sólidos urbanos assim como diversos tipos de sistemas para gaseificação, pirólise, são tecnologias que já estão no mercado, no entanto em muitos países em desenvolvimento essas tecnologias não estão disponíveis.

A geração combinada de energia elétrica e mecânica a partir de uma mesma fonte de energia, é chamada de cogeração. Essa tecnologia é muito utilizada em usinas de produção de açúcar e álcool. Nesse caso, a energia mecânica é aproveitada para dar funcionamento as moendas ou para acionar turbinas na geração de eletricidade. Já a energia térmica é destinada para ser aproveitada processos como fonte de calor (MARAFON et al., 2016).

A combustão da matéria orgânica em fornos ou caldeiras é portanto, uma das principais vantagens do uso da biomassa (BERGMAN, 2008). Nesses sistemas o licor negro da indústria de papel e celulose, resíduos de madeira, carvão vegetal, casca de produtos agrícolas, capim elefante e o bagaço da cana de açúcar, são exemplos de biomassa que contribuem com esse sistema. Em especial, o bagaço da cana de açúcar é responsável por mais de 80% dessa energia elétrica gerada por termoelétricas (ESCOBAR; COELHO, 2014).

A energia elétrica gerada pelas usinas de cogeração de cana de açúcar caracterizam um alívio para as hidrelétricas brasileiras no período de estiagem. A energia elétrica gerada pela queima do bagaço da cana de açúcar pode ser aproveitada pela própria instalação da usina e o excedente gerado é vendido a companhia elétrica.

Em países em desenvolvimento a incineração da biomassa é a principal fonte doméstica de energia. Em torno de 90% das residências na região rural desses países utilizam energia obtida a partir da queima direta da madeira, carvão vegetal, resíduos agrícolas e de madeira (ARBEX, 2004).

## 2.5.PRINCIPAIS BIOMASSAS UTILIZADAS NO BRASIL

Segundo a ANEEL (2017), o Brasil possui investimentos nos seguintes tipos de combustível: carvão vegetal, resíduos de madeira, bagaço de cana de açúcar, casca de arroz, licor negro, biogás (originados de fontes agroindustriais, resíduos de animais e de resíduos sólidos urbanos), capim elefante e óleo de palmiste.

Tabela 2 - Fontes de biomassas da matriz elétrica brasileira

Origem	Fonte		Capacidade Instalada			Total			
	Fonte nível 1	Fonte nível 2	Nº de usinas	(KW)	%	Nº de usinas	(KW)	%	
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	396	11.097.035	6,8404	414	11.209.890	6,9100	
		Biogás-AGR	3	1.822	0,0011				
		Capim Elefante	3	65.700	0,0404				
		Casca de Arroz	12	45.333	0,0279				
	Biocombustíveis líquidos	Etanol		1	320	0,0001	3	4.670	0,0028
			Óleos vegetais	2	4.350	0,0026			
	Floresta	Carvão Vegetal		7	41.197	0,0253	87	2.848.418	1,7558
			Gás de Alto Forno - Biomassa	10	114.265	0,0704			
			Lenha	3	15.650	0,0096			
			Licor Negro	17	2.273.036	1,4011			
			Resíduos Florestais	50	404.270	0,2492			
			Resíduos animais	Biogás - RA	13	4.439			
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU		17	117.972	0,0753	18	124.950	0,0770
			Carvão - RU	1	2.700	0,0016			

Fonte: ANEEL (2017)

De acordo com Guardabassi (2006) e conforme mostrado na Tabela 2, a biomassa de maior representatividade na matriz energética brasileira é o bagaço da cana de açúcar, que é responsável pelo fornecimento de energia elétrica, mecânica e termal nas usinas de açúcar e fabricação do álcool. A região sudeste, em especial o estado de São Paulo, detém maior produção de bagaço da cana de açúcar.

A Companhia Nacional de Abastecimento (2018) informou que a safra da cana de açúcar de 2017/2018 foi de 633,26 milhões de toneladas, registrando queda de 3,6% em relação à safra do período anterior. O etanol anidro, utilizado na mistura com a gasolina, teve aumento de 0,1%, totalizando 11,09 bilhões de litros. Enquanto que a produção de etanol hidratado foi de 16,68 bilhões de litros.

Desde a criação do Pró álcool, o bagaço da cana era visto como principal resíduo da produção do açúcar. A grande quantidade de bagaço gerado e a crescente crise no setor energético, fizeram com que esta biomassa fosse vista como um resíduo promissor na geração de energia elétrica. Além reutilizar o resíduo gerado, contribui para diminuir o passivo ambiental das unidades produtoras.

O etanol da cana de açúcar é uma alternativa promissora em substituição aos combustíveis fósseis, visto que alcança grandes reduções nas quantidades de gases poluentes emitidos. O Brasil e os Estados Unidos da América- EUA são os maiores produtores de etanol da cana-de-açúcar. Em 2010 representam juntos 86% da produção total de etanol (BEN-IWO; MANOVIC; LONGHURST, 2016).

Segundo Ben-Iwo, Manovic e Longhurst (2016) existe uma grande preocupação em manter uma produção sustentável da cana de açúcar, preservando a qualidade do solo e garantindo a produção de alimentos. Esta preocupação pode ser sentida no Brasil, líder mundial em etanol de cana-de-açúcar.

Em especial, a competição com a produção de alimentos tem desencadeado uma série de discussões. Muitos acreditam que a plantação da cana ocupe terras férteis e produtivas e que, pelo bom preço, os produtores rurais tem preferência no plantio da cana em detrimento de outro gênero alimentício.

O Brasil também possui bom potencial na geração de energia através da casca de arroz. O seu uso para geração de energia é uma boa alternativa do ponto de vista econômico e ambiental, visto que o país tem uma grande produtividade e apresenta condições climáticas e ambientais favoráveis para seu desenvolvimento (FOLLETO, 2005).

Segundo dados do Conab (2018), a safra brasileira de 2017/2018 de arroz está estimada em 11,38 milhões de toneladas. Pelas estimativas também é esperado grande quantidade de resíduo gerado pela alta produção, o que por sua vez, serve de incentivo ao setor energético além de ser uma alternativa viável na reutilização de resíduos agrícolas.

A casca do arroz representa cerca de 20% do peso da quantidade total colhido (BERGMAN, 2008). O Brasil é grande produtor de arroz, tem destaque especial os Estados do Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo (COUTO et al., 2004).

A participação da casca de arroz como biomassa utilizada na geração de energia é relativamente pequena quando comparada com a grande participação do bagaço da cana de açúcar na matriz elétrica nacional. No entanto, espera-se crescimento desse setor, principalmente pelo grande consumo de arroz, compõe a base da alimentação brasileira e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Dendroenergia é o nome dado ao uso de energia gerada através da madeira e de seus subprodutos, como os resíduos florestais. É utilizada principalmente por países em desenvolvimento e vem ganhando destaque como fonte de energia renovável importante e forte substituta aos combustíveis fósseis, além de promover a sustentabilidade (SALOMON; TIAGO FILHO, 2007).

Apesar de ser principal fonte de energia para muitos países, o uso da madeira para obtenção de energia é considerada a forma mais arcaica de utilização de biomassas. (GUARDABASSI, 2006). O Brasil tem destaque na utilização da lenha, carvão vegetal, licor negro e resíduos florestais.

O uso de resíduos de madeira na geração de eletricidade é mais acentuada nas indústrias de papel e celulose. Os resíduos aproveitados são originados das cascas e restos das árvores processadas (BERGMAN, 2008). O uso de resíduos florestais, assim como

de bagaço da cana de açúcar e a casca de arroz, são importantes viés no desenvolvimento sustentável.

O licor negro ou lixívia negra é um resíduo originado do cozimento da madeira para a produção de celulose (BERGMAN, 2008). O carvão vegetal é obtido a partir da queima ou carbonização da madeira. De acordo com Guardabassi (2006), este tipo de combustível é produzido desde a colonização do Brasil e, quando a madeira é originada de florestas reflorestadas ou resíduos florestais é um combustível renovável.

A lenha e o carvão vegetal, em conjunto, totalizam 14% da energia primária mundial. É esperado aumento no consumo de dentrocombustíveis nas próximas décadas em várias regiões do planeta (SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007).

Outra biomassa presente na matriz elétrica nacional é o capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). De origem africana foi trazida para o Brasil para ser utilizada em pastagens na criação de gado de leite e de corte, e teve adaptou-se muito bem as condições climáticas do país. Esta gramínea é perene e sua altura pode variar de três a cinco metros. Pode ser cultivada em solos com poucos nutrientes, tem crescimento acelerado e tem grande produtividade por área (SANTOS et al., 2017).

A sua maior produtividade é justamente a principal característica para ser utilizada como fonte de energia. Rocha et al. (2017) destaca em seus trabalhos a alta produtividade quando comparada com a cana de açúcar, que atualmente é a biomassa mais utilizada na produção de energia elétrica no Brasil.

O capim elefante pode ser utilizado na produção de biocombustíveis, por meio da queima direta ou sob a forma de carvão vegetal, na geração de álcool ou metanol (FLORES et al., 2012). De acordo com Rocha et al. (2017), em especial, esta gramínea tem grande potencial para a produção de etanol.

De acordo com Santos et al. (2017) a conversão do capim elefante em energia, por meio da queima direta, inicia-se com a colheita em campo. Após colher toda a biomassa é necessário realizar a secagem. Por ser uma gramínea que atinge até 5 metros de altura, é preciso passar por um equipamento para reduzir em pedaços menores e retirar a umidade ainda presente. Os pedaços então são dispostos em uma caldeira, sendo queimados,

aquecendo a água e gerando vapor, que irá movimentar as turbinas para geração de energia elétrica.

No entanto, os trabalhos com potencial energético são recentes, necessitando de diversos estudos, dentre eles de viabilidade econômica para seu uso (ROCHA et al., 2017). O uso do capim elefante é considerado uma biomassa com potencial a médio e longo prazo para ser utilizada no setor energético (FLORES et al., 2012).

O biogás é originado através da decomposição biológica e com ausência de oxigênio da matéria orgânica. Além da produção do biogás, também é gerado resíduo no estado sólido, o chamado biofertilizante. Esse composto tem grande potencial para ser utilizado em produções agrícolas.

Em áreas rurais tem sido comum a implantação de biodigestores. Esgotos de animais e restos de comidas abastecem os biodigestores, que por sua vez realiza a degradação biológica da matéria orgânica ali presente, além da geração do gás metano. Esse gás pode ser utilizado na geração de energia elétrica ou como combustível em fogões, substituindo o gás de cozinha.

Guardabassi (2006) destaca a importância desse tipo de tecnologia para o homem do campo. As propriedades rurais em áreas isoladas e distantes dos centros urbanos, sofrem com a escassez de energia ou o difícil acesso a ela. Os biodigestores é uma tecnologia muito importante na preservação do homem nas áreas rurais.

O biogás gerado em aterros sanitários também tem destaque na matriz elétrica nacional. A geração do biogás inicia-se com a disposição dos resíduos sólidos nos aterros sanitários. De acordo com a Lei 12.305/2010 (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) entende-se por destinação final ambientalmente correta a disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2018a) a formação de gás metano já é encontrada nos primeiros três meses de disposição, podendo atingir 30 anos ou mais de geração. O gás metano é um dos gases de efeito estufa. A grande preocupação ambiental é justamente em dar uma destinação a esse gás para diminuir o impasse ambiental gerado pela liberação desse gás na atmosfera. O aproveitamento energético do biogás de aterro

sanitário pode ser através da geração de eletricidade, vapor, combustíveis para fogões, combustível veicular, gasodutos.

De acordo com a Associação Brasileira de Biogás e de Biometano (2018) é estimado a produção de biogás e biometano de segunda geração um valor em torno 78 milhões de metros cúbicos por dia. Espera-se nos próximos anos a expansão do uso do biogás no setor energético e maior participação na matriz elétrica nacional.

O óleo da palmiste é obtido a partir da amêndoa da Palma. Esse óleo vegetal é comestível e tem sido empregado na fabricação de biodiesel. A Palma é produzida no Pará, Amapá, Amazonas e Bahia. O Pará é o maior produtor do Brasil, concentrando 80% da produção. A Aneel destaca essa biomassa na matriz elétrica brasileira.

## **2.6. USO DE GRAMÍNEAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Diante da necessidade em obter novas fontes de biomassa para a geração de energia tem-se buscado novos estudos e aplicações de tecnologias. O uso de gramíneas já faz parte das principais biomassas utilizadas pelo Brasil e tem sua eficiência energética confirmada, embora seu uso seja recente.

A utilização de madeira ou materiais fibrosos (capins) tem maior facilidade em promover o ciclo do carbono. Esses materiais, em especial, possuem maior eficiência na conversão em biocombustíveis. Uma das vantagens da utilização de gramíneas na geração de energia é o fato de possuírem ciclo de vidas longas e serem extremamente adaptáveis aos diversos tipos de climas. Possuem como característica própria raízes de longa vida que absorvem os nutrientes do solo e podem estimular o brotamento (SOUZA; ROCHA; DAMASCENO, 2009).

O Brasil possui grande potencial na produção de gramíneas, além de grandes extensões de terra com solos agricultáveis e clima ideal para seu desenvolvimento e produção. As folhas, caules e até mesmo sementes das gramíneas podem ser utilizadas na geração de energia. Podem ser aproveitadas na forma bruta ou comprimida, como um briquete. Nos EUA, gramíneas selvagens tem tido um alta produção, produzindo cerca de 65 toneladas por hectare (SOUZA; ROCHA; DAMASCENO, 2009).

No Brasil, a gramínea de maior representatividade na matriz elétrica nacional é o



capim elefante. Segundo a ANEEL (2018) o país possui capacidade instalada para geração de energia, tendo o capim elefante como base, em 31.700 kW. É um número pequeno diante das proporções do bagaço de cana, que atualmente é a biomassa mais importante na matriz elétrica nacional, com potência de 11.239.335 kW. No entanto, espera-se que o os próximos anos a utilização de gramíneas seja mais representativo.

O capim elefante é originário do continente africano. As suas variedades mais plantadas no estado de Minas de Gerais são Taiwan A-146 e o Cameron. É recomendado o corte aos 60 e 90 dias de desenvolvimento vegetativo e o plantio deve ser feito no verão, para poder aproveitar o período das chuvas. (SOUZA; ROCHA; DAMASCENO, 2009).

Outras vantagens do uso do capim elefante que o colocam em destaque no cenário energético brasileiro é sua grande produção de matéria seca e sua eficiente absorção e fixação de gás carbônico atmosférico, contribuindo para a redução do efeito estufa (MORTOZA; PRETO, 2010).

Além da boa adaptabilidade as condições ambientais brasileiras, o capim elefante e demais gramíneas possuem boas características que justificam seu uso no setor de energia. Rocha, Souza e Damasceno (2009) encontraram em seus trabalhos sobre capim elefante e capim braquiária, poder calorífico superior em torno de 18,840 MJ/kg e 17,165 MJ/kg, respectivamente.

Outros autores também obtiveram valores muito semelhantes. Flores et al. (2012) registraram poder calorífico de 17,15 MJ/kg para o capim elefante. O resultado foi obtido a partir do caule e das folhas com a poda sendo feita aos 180 dias. Tavares e Santos (2013) encontraram um valor de cerca de 17,002 MJ/kg.

## **2.7. GRAMÍNEA VETIVER**

A gramínea Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty syn. *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) começou a torna-se popular a partir dos 1980, onde foi difundida, em especial nos países em desenvolvimento, para proteção de encostas, controle da erosão do solo e proteção do solo e da água. Rapidamente chamou a atenção por conta de suas qualidades ao campo.

É originário da Índia, sendo muito comum e cultivado na Indonésia e África. É pertencente à família Poaceae. Pode chega a atingir até dois metros de altura e suas raízes são profundas, chegando a atingir até três metros (TRUONG et al., 2008). As raízes dessa

gramínea chamam a atenção não só pelo tamanho, mas por serem utilizadas na estabilização de encostas e taludes, já que mantêm as partículas do solo unidas evitando desmoronamentos e erosão.

De acordo com Pereira et al. (2006) o vetiver é utilizado há mais de três mil anos na Índia para a fabricação de perfumes, remédios, estabilização de taludes e encostas. As raízes em especial, possuem essências únicas que produzem excelentes perfumes.

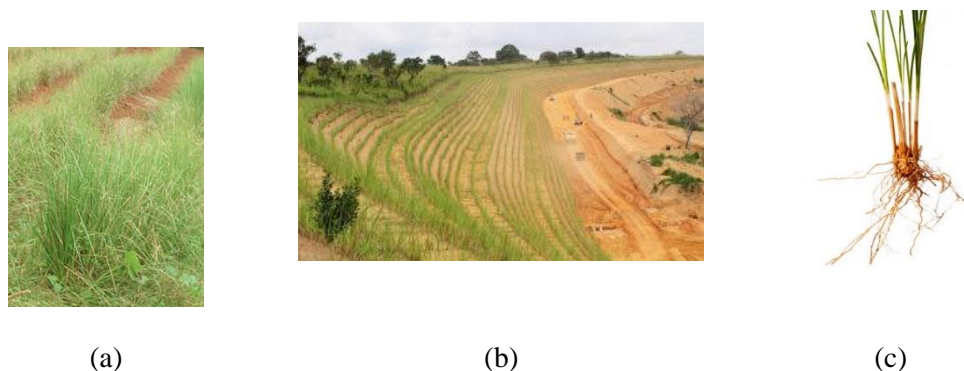


Figura 2 - Capim Vetiver: (a) aspecto geral da planta, (b) Vista de uma área de recuperação com capim vetiver, (c) muda de capim vetiver, visão da raiz

Fonte: DEFLOR (2019)

Segundo Truong et al.,(2008) o vetiver pode ser plantado em regiões de clima tropical, subtropical e mediterrâneo e, se adequa as diversas condições de solo. Também resiste a solos salinos e tolera os mais altos níveis de metais pesados, dentre eles o: mercúrio, cobre, zinco. (PEREIRA et al., 2006). Soma-se a isso a resistência natural a extremos, como as secas e inundações.

Outra vantagem do vetiver é o modo de propagação da gramínea. A propagação é feita somente através de mudas, ou seja, não é uma planta invasora e sua produção é controlada. Isso é uma grande vantagem quando comparado com outras gramíneas (CARDOSO, 2011). Demais gramíneas, em geral, tem suas sementes disseminadas pelo vento, tornando-se um problema para quem deseja cultivá-las.

O vetiver é conhecido e utilizado na conservação do solo e da água, no entanto, a gramínea possui outras utilidades. Cardoso (2011) destaca o uso do óleo essencial do

vetiver em cosméticos, as folhas na alimentação animal, produção de etanol, construção civil, paisagismo e artesanatos.

As folhas do vetiver são muito utilizadas em países da Ásia para a fabricação de blocos de argila. Como vantagem, esse material apresenta poucas rachaduras e baixa condutividade térmica, dando conforto aos moradores e também, economia de gastos por utilizar um material resistente e de baixo custo (PEREIRA et al., 2006).

## **2.8. VALOR NUTRITIVO DO CAPIM VETIVER**

O valor nutritivo de uma gramínea é expresso através de sua composição química e fatores ambientais as quais foram expostas. Anselmo et al. (2015) identificou altos teores de fibras, juntamente com um baixo teor de proteína bruta, o que contribuem para a recomendação do vetiver como biomassa na produção de energia.

O estudo da composição química do capim vetiver são importantes para o diagnóstico do potencial desta gramínea, uma vez que para a alimentação animal esperam-se plantas com alto valor nutricional, enquanto que plantas com baixo valor nutricional são esperados para utilização de biomassas.

O capim vetiver é uma planta com potencial já identificado pela literatura e em utilização em algumas partes do mundo a alimentação animal e uso energético - Truong et al. (2008) e Tavares e Santos (2013).

Tavares e Santos (2013) destacam que para a utilização de biomassa no setor energético é preciso a seleção de espécies vegetais que possuem características especiais para a geração de energia térmica, como o baixo valor nutritivo.

Estima-se atualmente que a biomassa represente cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária. Para atender a esta demanda, a busca por biomassas na geração de energia térmica vem se intensificando nos últimos anos, para tanto é necessário a seleção de biomassas vegetais que comporão os mesmos e que possuam determinadas características que os tornem aptos para a geração de energia térmica.

## **2.9. PRODUÇÃO DE BIODIESEL E GLICERINA**

Para estimular a produção de biodiesel no Brasil, em 2004, o governo federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel através da Medida Provisória nº 214/2004. No ano seguinte foi substituída pela Lei do Biodiesel, a Lei nº 11.097/2005.

O programa tinha como intuito promover o desenvolvimento regional atendendo as necessidades básicas do homem do campo. O programa ainda objetivava diminuir as desigualdades sociais, aumentar a qualidade de vida rural e, principalmente, oferecer um combustível renovável que possa competir com o diesel comum.

Como medida de estímulo para o mercado, o governo federal tornou-se obrigatório a adição do biodiesel no diesel comum, assim como acontece com o etanol anidro. O biodiesel pode ser produzido através de qualquer fonte natural, das mais variadas matérias primas, sendo de origem animal ou vegetal. Como fonte de origem vegetal destacam-se as plantas oleaginosas: soja, algodão, palma, amendoim, canola, mamona e girassol. Já as fontes de origem animal destaca-se o sebo, que é gerado através do abate de bovinos, suínos, aves e peixes (URIBE; ALBERCONI; TAVARES, 2014).

Dentre as espécies vegetais mais utilizadas na fabricação do biodiesel destaca-se a produção da soja. Desde o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, a soja foi a cultura mais utilizada. O domínio da soja no setor é devido a produção estar mais bem preparada e desenvolvida para atender os objetivos do programa.

O Protocolo de Kyoto estimulou o uso do biodiesel e etanol como umas das maneiras em reduzir e mitigar o efeito da poluição na atmosfera causada pelo gás carbônico, um dos gases formadores do efeito estufa. O biodiesel oferece algumas vantagens ao meio ambiente, por isso é considerado ecologicamente correto. É um produto não tóxico, libera cerca de 78% menos gás carbônico que o petróleo e é biodegradável (SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007).

Além das vantagens ao meio ambiente, a produção de matéria prima para o biodiesel estimula o desenvolvimento econômico e social, gera empregos diretos e indiretos e fixa o homem no campo.

Conforme mostrado na figura 3, a transesterificação é o processo químico mais utilizado na produção do biodiesel. Esse processo ocorre com adição de álcool na presença de um catalisador, em geral (NaOH ou KOH). O produto obtido pela reação é constituída por duas fases, que podem ser separadas. Uma delas é o próprio biodiesel e a outra é a glicerina bruta, que contém em sua composição cerca de 50% de glicerol e diversas impurezas (OLIVEIRA et al., 2013).

O glicerol presente na glicerina é o componente que tem maior quantidade e o mais energético. Ressalta-se aqui o interesse recente do uso da glicerina no setor energético, em justificativa principalmente pela presença de glicerol na mistura (OLIVEIRA et al., 2013).

Várias matérias primas são utilizadas na fabricação do biodiesel e na consequente geração da glicerina. Portanto, como resultado disso pode haver diferentes graus de pureza da glicerina e também do biodiesel gerado.

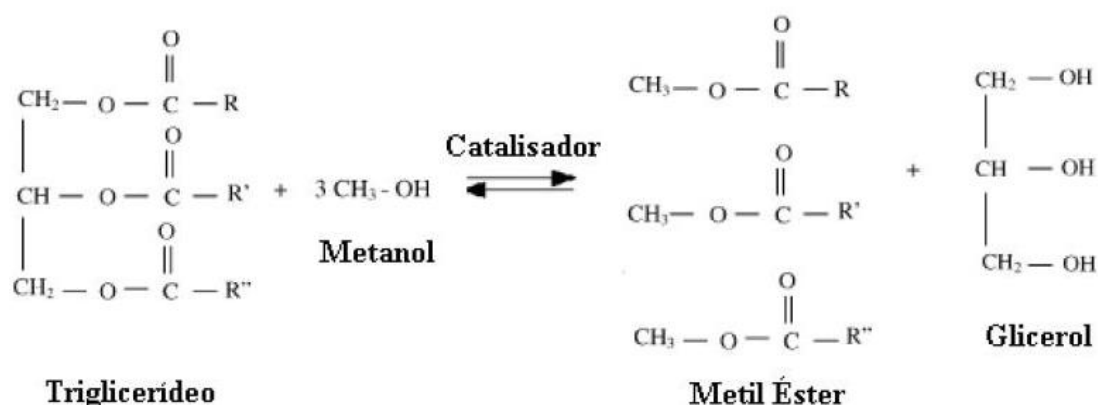


Figura 3 – Reação de transesterificação

Fonte: MATTOS (2014)

A produção mundial de biodiesel tem incrementado significativamente a quantidade de glicerina no mercado nos últimos anos. Durante o ano de 2010, no Brasil, a produção foi de 2,7 milhões de toneladas, representando cerca de 300 mil toneladas de glicerina bruta (CORDOBA, 2011). A glicerina é caracterizada como um produto químico renovável, com variadas utilizações, dentre elas, seu potencial uso na indústria energética.

Segundo Mota e Monteiro (2013), atualmente, há um excedente cerca de 10 vezes maior que a demanda tradicional de glicerina, que se concentra nos setores farmacêuticos, alimentícios e de higiene pessoal. Ainda de acordo com o mesmo autor, sua utilização no setor energético poderá ajudar diminuir essa demanda e reduzir o impacto ambiental causado pelo seu uso indevido.

## 2.10. GLICERINA

Quimicamente, o termo glicerina é aplicável em produtos de mercado contendo cerca de 95% de glicerol. A terminologia glicerol é aplicável exclusivamente ao componente químico puro 1,2,3 – propanotriol. Já o termo glicerina é destinada a mistura contendo glicerol e outras substâncias. O glicerol é o principal componente da glicerina, ele foi descoberto no século XVIII por Sheele. O pesquisador aqueceu óxido de chumbo com azeite de oliva, e apelidou o glicerol como sendo “o doce princípio das gorduras” (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009).

Comercialmente, há várias concentrações de glicerol e conteúdo químico nas glicerinas geradas, resultantes principalmente de sua matéria prima original. Mas, em geral, aquelas resultantes de processo de transesterificação para a fabricação do biodiesel, contém em média 30% de impurezas, sendo necessário empregar técnicas para realizar sua purificação e possibilitar ser usada comercialmente (LOPES et al., 2014).

De acordo com Oliveira, Carvalho e Souza (2011) citado por Barros et al. (2015), a glicerina pode ser classificada em virtude da quantidade de glicerol presente. Os níveis de classificação são: glicerina bruta com 40% a 70% de glicerol, glicerina bruta loira com 70% a 90% de glicerol, glicerina grau farmacêutica e glicerina grau alimentício acima de 99% de glicerol.

Duque e Alzaque (2016) também destacaram a classificação da glicerina através de sua pureza. A glicerina bruta é aquela recém formada pelo processo de fabricação de biodiesel. A glicerina grau técnico é aquela em que é necessário a purificação para ser utilizada na indústria. Já a glicerina refinada também chamada de purificada, bidestilada ou grau USP é aquela que já passou pelo processo de purificação. É utilizada em produtos farmacêuticos, cosméticos e na indústria alimentícia.

Segundo Mota, Silva e Gonçalves (2009) a alta produção de glicerina no mercado indica um problema a ser resolvido pelo setor do biodiesel, já que sua viabilização somente será possível com o consumo de toda a glicerina gerada no processo. Atualmente a maior parte de sua produção é destinada ao setor de cosméticos e fármacos, como pode ser visto na figura 4, no entanto com o possível aumento da demanda de biodiesel, é necessário outros meios de aproveitamento, como no setor energético.

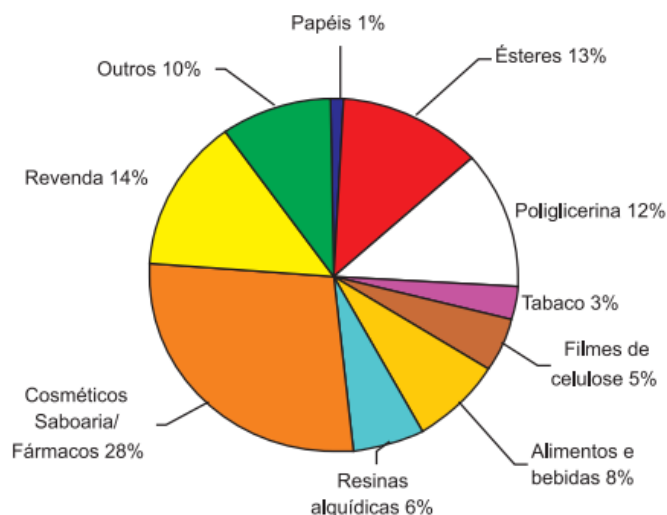


Figura 4 – Diferentes usos da glicerina Fonte: (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009).

A glicerina pode ser obtida por diferentes matérias primas. O exemplo mais comum é através da soja, já que o grão domina a produção brasileira de biodiesel. No entanto, outras fontes vem sendo testadas, uma delas é o sebo bovino. O sebo bovino corresponde ao derretimento da gordura dos animais abatidos. De acordo com Martins e Carneiro (2013) a soja é matéria prima mais utilizada, representando 78,48% do total da produção de biodiesel fabricado no país. No entanto, o sebo bovino vem crescendo, atualmente encontra-se na segunda posição com 17%.

O interesse do uso do sebo bovino é recente. A principal justificativa para o seu uso é o quantidade de rebanhos bovinos que o país abriga. O Brasil possui um dos maiores rebanhos do mundo. Martins e Carneiro (2013) destacam que o país pode produzir cerca de 1,4 milhões de toneladas de sebo bovino ao ano. Com o montante gerado ano a ano e a perspectiva de crescimento do setor no país, o sebo bovino desponta como uma alternativa frente a produção de biodiesel da soja, que ainda hoje, esbarra em grandes problemas sociais e ambientais.

## 2.11. USO DA BIOMASSA ENRIQUECIDA COM GLICERINA PARA FINS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

A adição de glicerina como aglutinante na biomassa tem como finalidade aumentar seu potencial energético. É crescente a busca por novas fontes de energia para a diversificação da matriz elétrica nacional, as gramíneas apresentam grande produção de

biomassa, tornando-se alternativas viáveis.

Alguns trabalhos destacam o uso da glicerina para aumentar o teor energético de determinadas espécies vegetais. Sant'anna et al. (2012a) verificou que quando misturado a glicerina ao briquete de casca de arroz, o poder calorífico do material pode atingir até 21 MJ/Kg.

Em briquetes produzidos com resíduos agroindustriais de frutas enriquecidos com glicerina, de acordo com Sant'anna et al. (2012a), o resultado também mostrou-se satisfatório com as variáveis observadas e, os autores recomendam o excedente de glicerina gerado nas usinas de biodiesel para fins energéticos.

Rodrigues et al. (2017) buscou avaliar briquetes formados por carvão vegetal, amido de milho e glicerina. Os autores destacam a importância da glicerina no processo e também reforçam a destinação final adequada ao subproduto, evitando assim possíveis danos ambientais.

Em estudos com o capim elefante enriquecido com glicerina, Sartori et al. (2017) observou que o maior poder calorífico, cerca de 15,729 MJ/kg, foi encontrado na amostra que concentrou maior teor de glicerina. Embora o uso da glicerina mostra-se viável para potencializar o uso energético da biomassa, ainda há poucos dados na literatura a respeito.

## **2.12. ANÁLISES DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E ENERGÉTICA DA BIOMASSA**

A composição química e física da biomassa afeta diretamente a qualidade do combustível. Para o melhor aproveitamento energético da biomassa é necessário que análises (elementar, imediata, poder calorífico e da composição química) sejam realizados. Ambas análises são essenciais para os processos de combustão e para determinar potencial energético da biomassa lignocelulósica (EICHLER et al., 2015).

### **○ Poder calorífico**

Pode ser considerado a propriedade mais importante avaliada num combustível. Trata-se da quantidade de energia que foi liberada pelo combustível, sob a forma de calor. Nessa propriedade a umidade da amostra interfere negativamente no poder calorífico gerado. Grande concentração de água resultará em um menor poder de queima (SANT'ANNA et al., 2012b)



A determinação do poder calorífico é essencial para avaliar se o combustível em estudo está apto para a geração de energia. Como destaca Tavares e Santos (2013) o poder calorífico é a propriedade mais importante na determinação da viabilidade de uso e estudo de determinada biomassa para geração de energia térmica.

Experimentalmente, o poder calorífico é determinado por uma bomba calorimétrica e é expresso em Kcal/kg ou MJ/kg. Martoza e Preto (2010) expuseram na literatura o poder calorífico de algumas culturas utilizadas na geração de energia, como bagaço e palha da cana de açúcar, com respectivamente 2.130 e 3.105 Kcal/kg, casca e palha de arroz, com respectivamente, 3.200 e 3.821 Kcal/kg, capim elefante com 4.200 Kcal/kg.

Tavares e Santos (2013) registram uma média de 3.765,99 Kcal/kg para o capim vetiver. Já em relação a glicerina, segundo a literatura o poder calorífico da glicerina é em média 4.179 Kcal/kg. De acordo com Mattos (2014) quando comparada com o diesel a glicerina apresenta poder calorífico cerca 10% menor.

- **Composição química elementar**

Diz respeito a análise de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre no combustível avaliado (MACEDO, 2012). Analisar a composição química elementar, assim como a determinação do poder calorífico, é de extrema importância para verificar as propriedades do combustível.

O carbono e o hidrogênio são responsáveis diretos pela qualidade do combustível gerado, já que suas características possibilitam oxidarem na presença de oxigênio. Esse tipo de análise é essencial para avaliar a combustão e quantificar quais substâncias são liberadas para a atmosfera (MATTOS, 2014).

Dentre os elementos analisados, como destaca Mattos (2014), o enxofre é o que deve ser encontrado em menor quantidade na amostra estudada, já que concentra elevada toxicidade. O nitrogênio também deve ser levado em conta nesse tipo de avaliação já que possibilita a formação de óxidos, que são poluentes ao meio ambiente.

- **Análise termogravimétrica ou Composição imediata**

São determinados a concentração de carbono fixo (F), voláteis (V), umidade (W) e cinzas (A) do combustível avaliado. Material volátil é correspondente aquele que é

queimado no estado gasoso. Carbono fixo é aquele que é queimado no estado sólido e pode indicar a duração da queima. O teor de cinzas é resultado da quantidade de material inorgânico presente (MACEDO, 2012).

Tavares e Santos (2013) destaca que em geral, apresentam maior poder calorífico, o combustível que tiver maior quantidade de materiais voláteis e concentram menos teor de cinzas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

As amostras de capim vetiver foram cedidas pelo IFSULDEMINAS, Câmpus Inconfidentes. O experimento foi desenvolvido em uma encosta experimental com declividade média de 30°, na Fazenda-Escola do IFSULDEMINAS, Câmpus Inconfidentes, situado no Município de Inconfidentes-MG.

O município de Inconfidentes apresenta altitude média de 855 m e posição geográfica de 22° 19' 00'' de latitude S e 46° 19' 40'' longitude W. Segundo a classificação de Koëppem o clima da região é do tipo tropical úmido com duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), com médias anuais de 1.800 mm e 19°C de precipitação e temperatura, respectivamente



Figura 5 – Local do experimento  
Fonte: Autor

O experimento foi dividido em nove parcelas, contendo diferentes espaçamentos, entre linhas e entre plantas. Os valores estão dispostos na tabela a seguir. Também foram avaliados três tempos de desenvolvimento vegetativo: 60, 120 e 330 dias. Sabe-se que aos 120 dias de desenvolvimento vegetativo, o vetiver atinge sua maturidade, por isso foi utilizado esse período para ser avaliado nos testes.

Tabela 3 – Espaçamento de plantio e tempo de desenvolvimento

<b>Parcelas (espaçamentos de plantio)</b>	<b>Subparcelas (tempo de desenvolvimento)</b>
0,15 m x 1,0 m	60 dias
0,30 m x 1,0 m	120 dias
0,45 m x 1,0 m	330 dias
0,15 m x 1,5 m	
0,30 m x 1,5 m	
0,45 m x 1,5 m	
0,15 m x 2,0 m	
0,30 m x 2,0 m	
0,45 m x 2,0 m	

Fonte: Autor

A área correspondente a cada parcela é 15 m<sup>2</sup>, sendo 2,5 m<sup>2</sup> de largura e 6 m<sup>2</sup> de comprimento, totalizando portanto uma área total de 135 m<sup>2</sup>. No entanto, foram deixadas bordaduras de 0,5 m nas laterais de cada parcela, totalizando uma área útil de 9 m<sup>2</sup>, por parcela, como pode ser visto na figura 6. Ao total tem-se que a área de estudo foi de 81 m<sup>2</sup>.

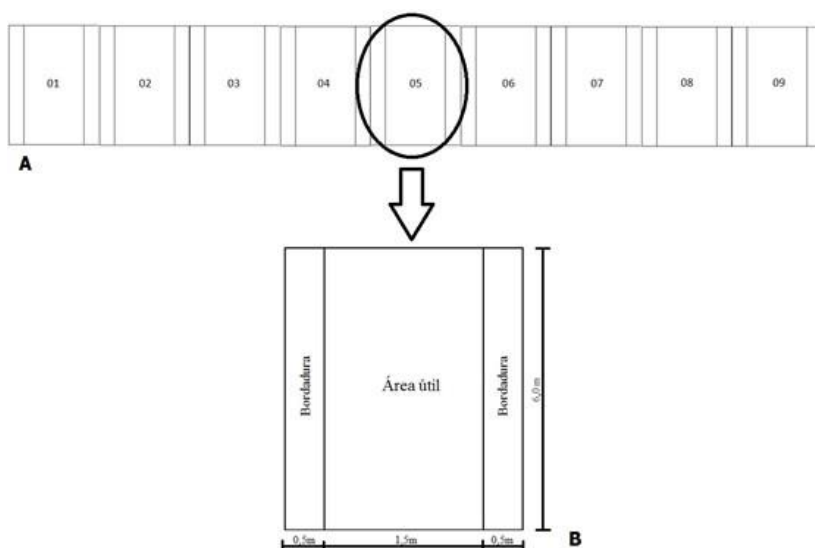


Figura 6 - Croqui de um bloco do experimento: A) Bloco com as 9 parcelas dos diferentes espaçamentos. B) Parcela de 15 m<sup>2</sup>, bordadura de 0,5 m nas laterais da parcela e área útil de 9 m<sup>2</sup>. Fonte: ANDRADE et al. (2011)

Aos 120 dias de desenvolvimento vegetativo foram realizados cortes da parte aérea das plantas (podas) a 15 cm do solo e coletados aleatoriamente 10 amostras da parte vegetativa por parcela, com cerca de 250 g cada. Essas amostras foram levadas a estufa com circulação de ar forçada a 65°C até atingirem peso constante (massa seca). Em seguida foram trituradas e armazenadas.

## **3.2.OBTENÇÃO DA GLICERINA**

### **3.2.1 Empresa Caramuru Alimentos**

A amostra de glicerina foi doada pela empresa Caramuru Alimentos. A empresa está localizada no município de Goiás e atua na produção de biodiesel, commodities, logística, produtos de consumos e nos segmentos animal e industrial. Para a fabricação do biodiesel a empresa conta com três unidades de produção.

Duas dessas unidades estão localizadas em Goiás e outra no estado do Mato Grosso. Juntamente as três unidades conseguem fabricar 545 milhões de litros por ano. As unidades do Grupo Caramuru seguem as diretrizes do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (CARAMURU, 2018).

A empresa ainda possui o Selo Combustível Social. Este selo é destinado aos produtores de biodiesel que cumprem os preceitos do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e é cedido pelo de Desenvolvimento Agrário.

O combustível gerado pelas unidades é renovável e tem a soja como principal produto para a extração de óleos vegetais. O processo de obtenção de biodiesel pela empresa é a transesterificação. Esse é método mais comum utilizado. Pela grande importância nesse setor o Grupo Caramuru é um dos principais representantes brasileiros na produção de biodiesel (CARAMURU, 2018)



Figura 7 – Amostra de glicerina doada pela empresa Caramuru. Fonte: Autor

### 3.2.2. Glicerina a base de soja

A amostra de glicerina a base de soja foi doada por um empresa privada. A empresa não autorizou sua identificação, apenas a amostra foi trazida para fins de estudo. O processo de obtenção do biodiesel e geração da glicerina é por transesterificação.

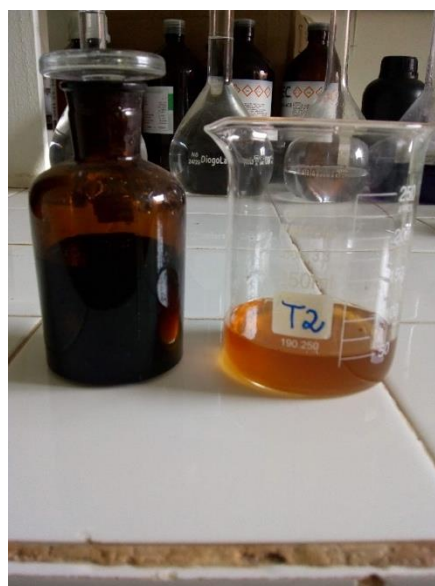


Figura 8 - Amostra de glicerina doada pela empresa privada. Fonte: Autor

### 3.2.3. Glicerina a base de sebo bovino

A amostra de glicerina a base de soja foi doada pela empresa JBS, localizada no estado Rio Grande do Sul. O processo de obtenção do biodiesel e geração da glicerina é por transesterificação.



Figura 9 - Amostra de glicerina doada pela JBS. Fonte: Autor

### 3.2.4. Glicerina bidestilada

A amostra de glicerina bidestilada da marca Farmax foi obtida no laboratório da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.



Figura 10 - Amostra de glicerina bidestilada. Fonte: Autor

### 3.3. TRATAMENTO DA GLICERINA

Para a realização das análises pertinentes aos trabalhos foi necessário retirar a grande quantidade de água das amostras de glicerina e solidificar para facilitar a leitura dos equipamentos. A primeira tentativa na solidificação consistiu em realizar a síntese de um polioli. Essa síntese consiste em empregar catalizadores de baixo custo, como ácido nítrico e ácido clorídrico. Nesse processo a glicerina iria condensar gerando polióis de alta viscosidade.

Para o teste foi utilizado 30 ml de glicerina da usina Caramuru e adicionado ácido nítrico e ácido clorídrico. O conteúdo foi aquecido a temperatura de 150°C. No entanto, não foi possível a solidificação em virtude da grande quantidade de água na amostra. Além de interferir no processo de solidificação, a água altera também o poder calorífico da amostra, por isso é importante sua determinação.

Para avaliar a quantidade de água presente na amostra, foi necessário realizar a medição através do equipamento Karl Fisher da marca Metrohm, no laboratório da Central Analítica da Unifei. O Karl Fisher permite a leitura do teor de umidade das amostras.





(a)



(b)

Figura 1q - Determinação do teor de água na amostra (a) Equipamento Karl Fisher (b) Manuseio do Equipamento

Foram determinado o teor de umidade para as amostras de glicerina da usina Caramuru, a base de soja e a de sebo bovino. Não foi feita a leitura para a glicerina bidestilada. Os resultados registraram alto teor de umidade, sendo necessário realizar a filtragem termovácuo do conteúdo presente, para reduzir a quantidade de água.

Para isso foi necessário passar toda amostra em filtros simples de papel (Figura 13a). Foi utilizado uma placa aquecedora para aquecer e também auxiliar na evaporação da água. O procedimento foi feito cerca de cinco vezes e foi realizado no Laboratório de Biomateriais e no Laboratório de Máquinas Térmicas da Universidade Federal de Itajubá.



(a)



(b)

Figura 12 – Realização do termovácuo (a) Filtragem da glicerina (b) Filtragem da glicerina com auxílio da bomba de vácuo

Fonte: Autor

Em seguida a amostra foi transferida a uma bureta e preenchida com sulfato de alumínio, por ser um sal higroscópico, auxilia na retenção da água.



(a)



(b)

Figura 13 – Filtragem com sulfato de alumínio (a) Bureta contendo sulfato de alumínio (b) Glicerina adicionada e sendo filtrada pelo sulfato de alumínio. Fonte: Autor

Após o processo, foi feita a leitura novamente do teor de umidade no Karl Fisher. Embora as amostras de glicerina registraram considerável redução, ainda concentrava grande quantidade de água.

### 3.4. ANÁLISE DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR

Para determinação do poder calorífico superior foi utilizado Calorímetro IKA Works (Figura 15), que está localizado no Laboratório de Máquinas Térmicas da Universidade Federal de Itajubá.

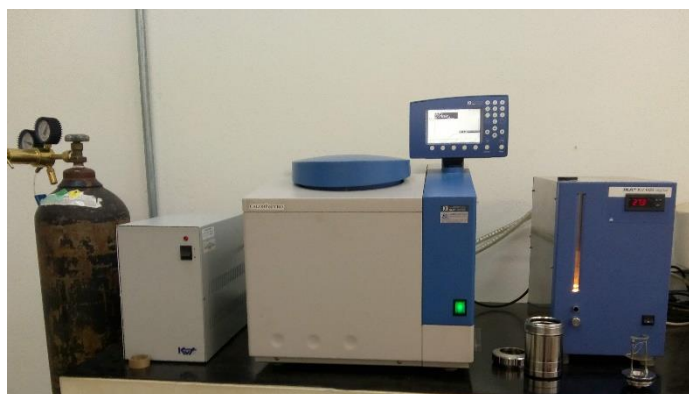


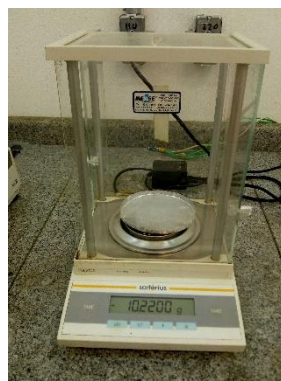
Figura 14 – Calorímetro IKA Works utilizado para realização das análises .

Fonte: Autor

As amostras já secas e trituradas (Figura 16a) foram pesadas em uma balança analítica (Figura 16b). Foram feitas três repetições para cada amostra avaliada. Em média utilizou-se 0,6 gramas para cada amostra.



(a)



(b)

Figura 15 – Procedimentos no laboratório (a) Amostras de vetiver seca e triturada; (b) Balança. Fonte: Autor

Foram confeccionadas pastilhas contendo a amostra (Figura 17a). Em seguida, essas pastilhas foram colocadas em cadinhos (Figura 17b) para serem dispostos dentro do vaso hermético (recipiente fechado que é usado para fazer a leitura dentro do equipamento). Dentro do vaso hermético (Figura 17c) as amostras entraram em contato com um fio fusível de algodão, para desencadear a queima do material.

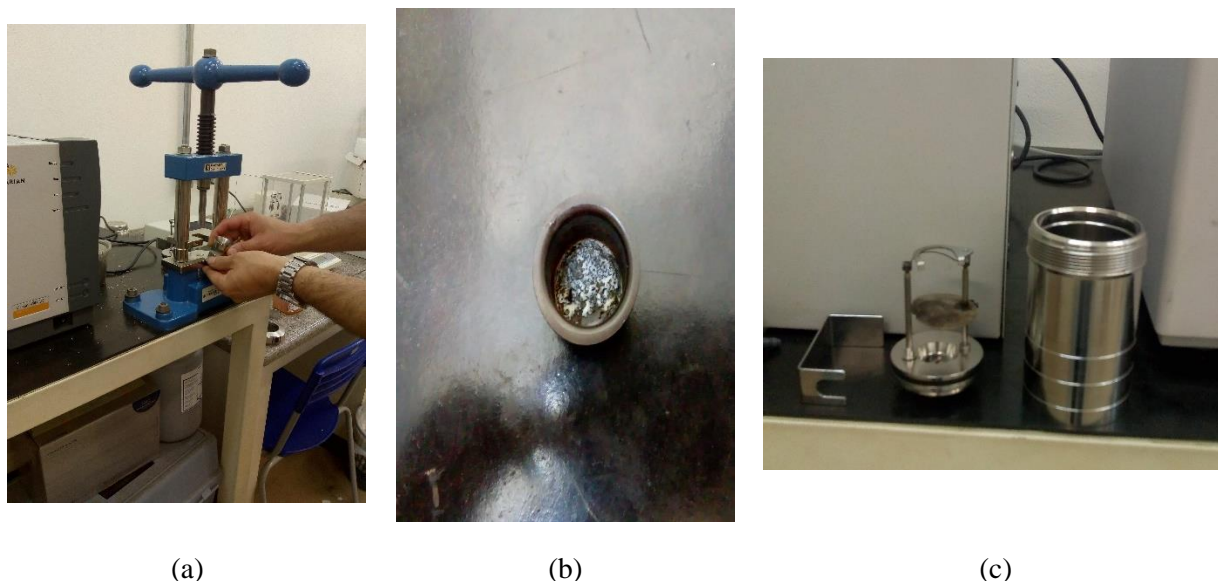


Figura 16 – Procedimentos para o teste de poder calorífico (a) Fabricação das pastilhas; (b) Cadinho utilizado no procedimento; (c) Vaso hermético. Fonte: Autor

O vaso hermético contendo a amostra foi colocado no interior do calorímetro, que já devidamente fechado, recebeu uma carga de oxigênio de 30 Àmperes. Primeiramente foi avaliado o poder calorífico somente do vetiver e das três amostras de glicerina, individualmente, depois foi avaliado com a mistura.

Com base na metodologia de Sant' Anna et al., (2012) foram avaliadas as concentrações de glicerina a 5%, 10%, 15%, 20% e 50%, conforme a tabela abaixo:

Tabela 4 – Concentrações de glicerina + capim vetiver submetidas ao teste de poder calorífico

% DE GLICERINA + CAPIM VETIVER		
Tratamento	Glicerina em %	Massa de vetiver %
1	5	95
2	10	90
3	15	85
4	20	80
5	50	50

Fonte: Autor

### 3.5. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR

As análises da composição química elementar foram realizadas em triplicadas no analisador elementar Perkin Elmer (Figura 18) localizado no Laboratório de Máquinas Térmicas da Universidade Federal de Itajubá.



Figura 17 – Analisador elementar utilizado para determinação das análises.

Fonte: Autor

Para o procedimento foram utilizadas em média 1,5 mg de amostra seca de capim vetiver, para cada repetição. E para as glicerinas também foram utilizadas na mesma quantidade.

O equipamento realiza a combustão da amostra e a geração de gases, na qual o carbono contido nela é transformado em dióxido de carbono, o hidrogênio é convertido em água e, o nitrogênio em óxido e gás de nitrogênio. O analisador não realizou a leitura do enxofre, mas o elemento também é avaliado nesse tipo de análise (MARAFON et al., 2016).

### 3.6. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA OU ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO IMEDIATA

A análise imediata ou termogravimétrica é referente ao teor de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e umidade presente no combustível. Tavares e Santos (2013) destaca que os materiais voláteis indicam a facilidade do combustível em queimas e o carbono fixo o tempo que dura essa queima. A biomassa que tem maior quantidade de materiais voláteis e concentram menos teor de cinzas apresentam maior poder calorífico.

O teste foi feito no Analisador termogravimétrico Leco. Foi utilizado 15 mg de amostra de capim vetiver para realizar o teste. Foram feitas duas leituras com o equipamento sob a atmosfera de gás oxigênio e gás nitrogênio.



Figura 18 – Analisador Termogravimétrico utilizada para realização das análises

Fonte: Autor



## 4. RESULTADOS

### 4.1.1. Teste de poder calorífico para o Capim Vetiver

O teste de poder calorífico superior para a gramínea vetiver indicou um valor médio de 16,454 MJ/Kg (3.929 Kcal/kg), como pode ser visto na Tabela 5. O valor encontrado é inferior aos trabalhos de outros autores, que tiveram gramíneas como fonte de estudo. Conforme os autores Rocha, Souza e Damasceno (2009), em estudos com capim elefante e capim braquiária, o teste de poder calorífico inferior indicou valores de, respectivamente, 18,840 MJ/kg e 17,165 MJ/kg.

Tabela 5 - Resultados das repetições feitas com capim vetiver

TESTE DE PODER CALORÍFICO	
Massa (gramas)	Poder calorífico (MJ/kg)
0,5959	16,436
0,6	16,456
0,5888	16,470
Média: 0,5949	Média: 16,454

Fonte: Autor

No entanto, Tavares e Santos (2013) em estudos com capim vetiver e demais biomassas, registraram uma média de 15,767 MJ/kg para a gramínea, resultado menor ao encontrado nessa pesquisa, no entanto bastante similar. Não foi informado pelos autores o tempo de desenvolvimento de plantio utilizado para a realizar o teste.

A maioria dos trabalhos que utilizam gramíneas como fonte de energia tem o capim elefante como principal biomassa a ser utilizada, tornando-se essa referência na literatura. Marafon et al., (2016) realizaram testes para verificar qual variedade de capim elefante é recomendada para ser utilizada no setor energético. Em seus trabalhos, constataram que as variedades capim elefante Madeira, Pasto Panamá e Cameroon Local são aquelas que apresentaram maior poder calorífico, registrando em média, respectivamente, 18,589 MJ/kg (4.440 Kcal/kg), 18,409 MJ/kg (4.397 Kcal/kg) e 18,388 MJ/kg (4.392 Kcal/kg).

Em comparativo com a média de poder calorífico do capim vetiver encontrado nessa pesquisa, podemos perceber que o valor encontrado é menor que o registrado na literatura para o capim elefante. No entanto, além das gramíneas, outras biomassas também podem ser comparadas. Martoza e Preto (2010) expuseram na literatura o poder calorífico de algumas culturas utilizadas na geração de energia, como bagaço e palha da cana de açúcar, com respectivamente 2.130 e 3.105 Kcal/kg, casca e palha de arroz, com respectivamente, 3.200 e 3.821 Kcal/kg.

Para Gentil (2008) citado por Tavares e Santos (2013) há diversos fatores que influenciam no poder calorífico das biomassas. O teor de carbono fixo, a quantidade de voláteis, a umidade, o tipo de biomassa estudada e a concentração de cinzas, são alguns parâmetros que causam alteração nessa propriedade, por isso devem ser analisados.

#### 4.1.2. Análise de composição química elementar do Capim Vetiver

Na Tabela 6 estão expostos os resultados obtidos da análise de composição química elementar da gramínea vetiver. Foram analisados a concentração em percentagem (%) dos elementos carbono, hidrogênio e nitrogênio. Para o carbono, foram registrados pelas repetições, uma média de 46,12%. Já para o hidrogênio, o valor ficou em torno de 6,05% e para o nitrogênio registrado é de 1,23%.

Tabela 6 – Resultados da análise de composição química elementar da gramínea vetiver

ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR			
Massa (mg)	Composição (%)		
	C	H	N
1,3	50,21	6,52	1,34
1,8	47,03	6,27	1,26
1,6	41,14	5,38	1,09
Média: 1,5	46,12	6,05	1,23

Fonte: Autor

A análise de composição química elementar do capim vetiver indicou altos teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio para as repetições realizadas. Tavares e Santos (2013) destacam a importância desses elementos, que constituem a parede celular das plantas e que são responsáveis pela produção de calor. Em seus trabalhos, os autores registraram



média de 39,55% de carbono, 5,54% de hidrogênio e 0,46% de nitrogênio para o capim vetiver.

Os resultados de carbono, hidrogênio e nitrogênio obtidos nessa pesquisa são superiores aos encontrados pelos autores citados. Tendo em vista que a média de poder calorífico encontrados pelos autores foi de 15.767 MJ/kg e que, esses elementos influenciam no poder de combustão da biomassa, os resultados encontrados nessa pesquisa estão de acordo com a literatura, já que com maiores concentrações desses elementos (C, H e N) resultam em maior poder calorífico.

De acordo com Partelini et al., (2013) a relação carbono/nitrogênio alta, como a obtida pelos resultados para o capim vetiver, é um parâmetro importante a ser avaliado, já que a combinação desses dois elementos indicam que a biomassa é constituída de uma material rico em fibra e lignina. Somado a isso, também tem-se a relação carbono/hidrogênio. Maiores valores indicam que a biomassa estudada é energética (PARTELINI et al., 2013).

Em comparação com outras gramíneas como o capim elefante, Tavares e Santos (2013) obtiveram média de 39,34% de carbono; 5,48% de hidrogênio e 0,87% de nitrogênio, valores estes inferiores aos encontrados nessa pesquisa para o capim vetiver.

Além das gramíneas, Macêdo (2012) obteve valores desses elementos para o eucalipto, bagaço de cana de açúcar e casca de arroz. Os valores para o carbono são, respectivamente: 50,74%; 48,11% e 47,30%. Já para o hidrogênio são, respectivamente: 5,86%; 5,87% e 6,08%. E, para o nitrogênio, os valores são, respectivamente: 0,17%; 0,48% e 0,92%. Os valores encontrados por Macêdo (2012) são superiores aos encontrados para o capim vetiver, exceto a percentagem de hidrogênio.

#### **4.1.3. Análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio do Capim Vetiver**

Na tabela 7 são encontrados os valores da análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver. Os valores médio de umidade, voláteis, voláteis secos, cinzas, cinzas secas e carbono fixo, respectivamente, são: 10,78%; 69,11%; 77,32%; 3,305%; 3,705% e 16,80%.

Tabela 7 – Análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver

ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO IMEDIATA COM ATMOSFERA DE N2 E O2					
Umidade	Voláteis	Voláteis secos	Cinzas	Cinzas secas	Carbono fixo
%					
10,8	69,76	78,21	3,45	3,87	15,99
10,76	68,47	76,43	3,16	3,54	17,61
Média: 10,78	69,11	77,32	3,305	3,705	16,80

Fonte: Autor

A análise de composição imediata do capim vetiver indicou altos teores de voláteis e baixo teor de cinzas, com média de 77,32% e 3,705%. De acordo com Tavares e Santos (2013), o menor teor de cinzas e maior teor de voláteis, podem indicar maior poder calorífico de uma biomassa, já que ambos são parâmetros que influenciam consideravelmente nesta propriedade.

Os autores encontraram, para o capim elefante, média de 89,90% de voláteis e 9,40% de cinzas. Já, para o capim vetiver foram registrados 90,59% de voláteis e 8,76% de cinzas. Os resultados encontrados nessa pesquisa são inferiores aos computados pelos autores, para as duas gramíneas em estudo.

Tal justificativa para a concentração de voláteis e cinzas serem menores, tem por base o teor de umidade na amostra. Tavares e Santos (2013) registraram para o capim vetiver e para o capim elefante, respectivamente, 9,73% e 8,89%. Já para essa pesquisa, a média do teor de umidade foi de 10,78%, sendo superior portanto aos teores encontrados pelos autores.

A umidade da biomassa irá interferir em seu poder de queima, portanto, quanto menor a concentração de água presente na amostra, melhor será a resposta do combustível e por consequência, mais vantajoso será seu aproveitamento energético. Já em relação as cinzas, Macêdo (2012) destaca que um alto teor de cinzas não é interessante para biomassa que tem como destino o uso energético. Além de diminuir o poder calorífico do combustível, ainda poderá causar um passivo ambiental, já que produzidas em grandes quantidades é necessário uma destinação correta, para evitar algum dano ao meio ambiente.

A exemplo de outras biomassas que apresentam alto teor de cinzas, está a casca do arroz. Macêdo (2012) encontrou média de 26,43%, um valor relativamente alto para a biomassa ser utilizada no setor energético. No entanto, atualmente vem sendo

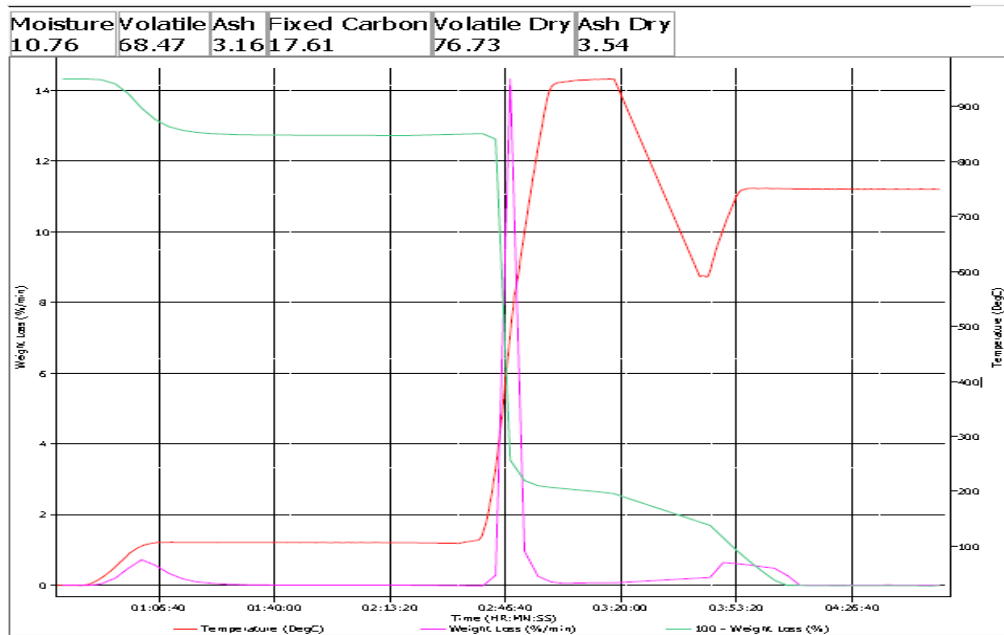
desenvolvida técnicas para reaproveitamento do excedente dessas cinzas, como na construção civil.

O estudo da concentração de cinzas também foi alvo de estudos para outros autores. Paterlini et al., (2013) realizou um estudo com diferentes partes vegetativas do capim elefante. Foram avaliadas as folhas, o talo e ambos (folhas + talos). Os resultados apresentados pelos autores indicaram que a concentração de cinzas é diferente em cada parte da planta. Nas folhas foram identificadas uma média de 8,77%. Já o talo registrou média de 6,15% e, ambos, foi encontrado um teor de 7,33%. Pode-se averiguar desse estudo que as folhas concentram maior teor de cinzas. Na pesquisa realizada, o teste também fora realizada nas folhas do capim vetiver.

O teor de carbono fixo é outro parâmetro avaliado na análise imediata. O valor encontrado para o capim vetiver registrou média de 16,80%. De acordo com Reis et al. (2012), em estudos sobre a composição da madeira e carvão vegetal do eucalipto, combustíveis que contém em sua formação altos teores de carbono fixo e baixos teores de voláteis, são susceptíveis a terem uma queima mais gradual, ou seja, mais lentamente quando comparadas com biomassas que registrem baixa taxa de carbono fixo. Tavares e Santos (2013) já reforçaram essa ligação em seus trabalhos ao afirmar que o carbono fixo tem forte influência no tempo de queima do combustível e os voláteis na facilidade do material ser queimado.

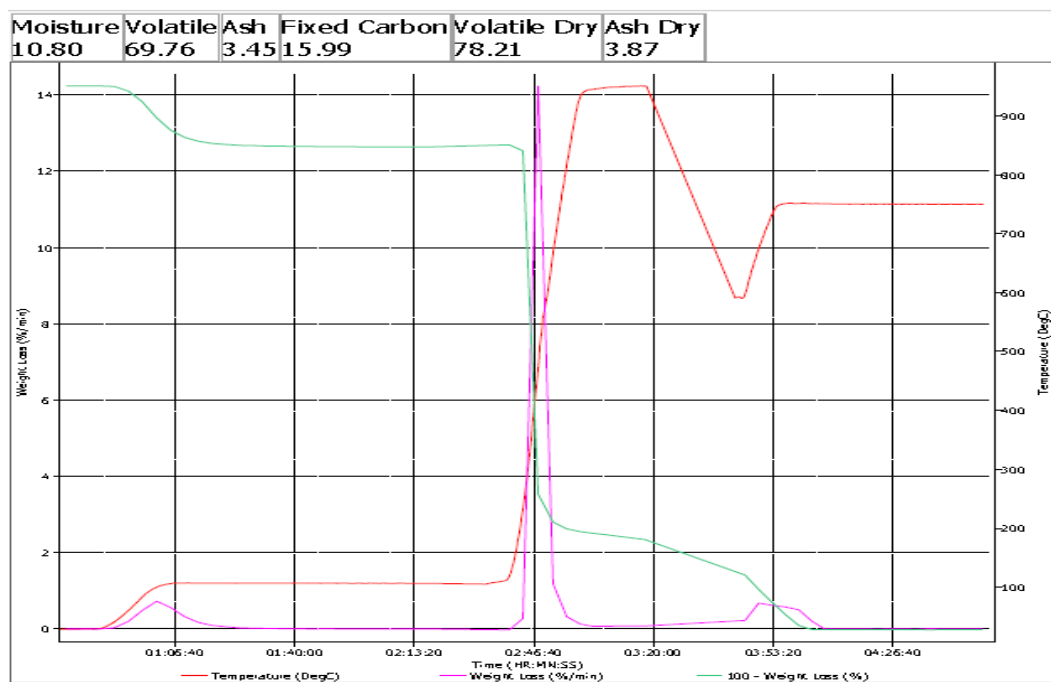
A seguir, são expostos os dois gráficos referentes a análise de composição imediata realizados para o capim vetiver.

Gráfico 1 – Primeiro teste da análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver



Fonte: Autor

Gráfico 2 – Segundo teste da análise de composição imediata com atmosfera de nitrogênio e oxigênio da gramínea vetiver



Fonte: Autor

#### 4.2. Teste de poder calorífico para as glicerinas estudadas

Nas tabelas a seguir estão expostas as médias para cada glicerina que foi submetida ao teste de poder calorífico. Foram avaliadas gliceras que tem como matéria prima a soja, é o caso da amostra cedida pela empresa Caramuru e por outra empresa privada cujo nome é confidencial. Também foi avaliada a glicerina que tem como base o sebo bovino, doada pela empresa JBS e a glicerina bidestilada, facilmente encontrada em farmácias e supermercados.

Tabela 8 - Resultados das repetições feitas com a glicerina de a base de soja da empresa Caramuru

<b>TESTE DE PODER CALORÍFICO</b>	
Massa (gramas)	Poder calorífico (MJ/kg)
0,5553	14,572
0,5400	14,562
0,5724	14,546
Média: 0,5559	Média: 14,560

Fonte: Autor

Tabela 9 - Resultados das repetições feitas com a glicerina a base de soja

<b>TESTE DE PODER CALORÍFICO</b>	
Massa (gramas)	Poder calorífico (MJ/kg)
0,5565	14,889
0,5277	14,860
0,5550	14,873
Média: 0,5464	Média: 14,874

Fonte: Autor

Tabela 10 - Resultados das repetições feitas com a glicerina de sebo bovina

<b>TESTE DE PODER CALORÍFICO</b>	
Massa (gramas)	Poder calorífico (MJ/kg)
0,5900	15,430
0,6	15,456
0,5800	14,460
Média: 0,5900	Média: 15,115

Fonte: Autor

Tabela 11- Resultados das repetições feitas com a glicerina bidestilada

TESTE DE PODER CALORÍFICO	
Massa (gramas)	Poder calorífico (MJ/kg)
0,5494	18,226
0,5885	18,118
0,6	18,320
Média: 0,5793	Média: 18,221

Fonte: Autor

A Tabela 12 reúne os resultados com as médias das quatro amostras de glicerinas analisadas e do capim vetiver. Houve diferença estatística entre todas as glicerinas avaliadas. Observa-se também que somente o valor encontrado pela glicerina bidestilada foi superior ao valor encontrado para o capim vetiver.

A glicerina bidestilada foi aquela que obteve maior poder calorífico superior, registrando 18,221 MJ/kg, enquanto que a amostra de glicerina doada pela empresa Caramuru registrou o menor teor, com média de 14,560 MJ/kg. As outras duas amostras registraram média de 14,874 MJ/kg e 15,115 MJ/kg, respectivamente para a glicerina a base de soja e a de sebo bovino.

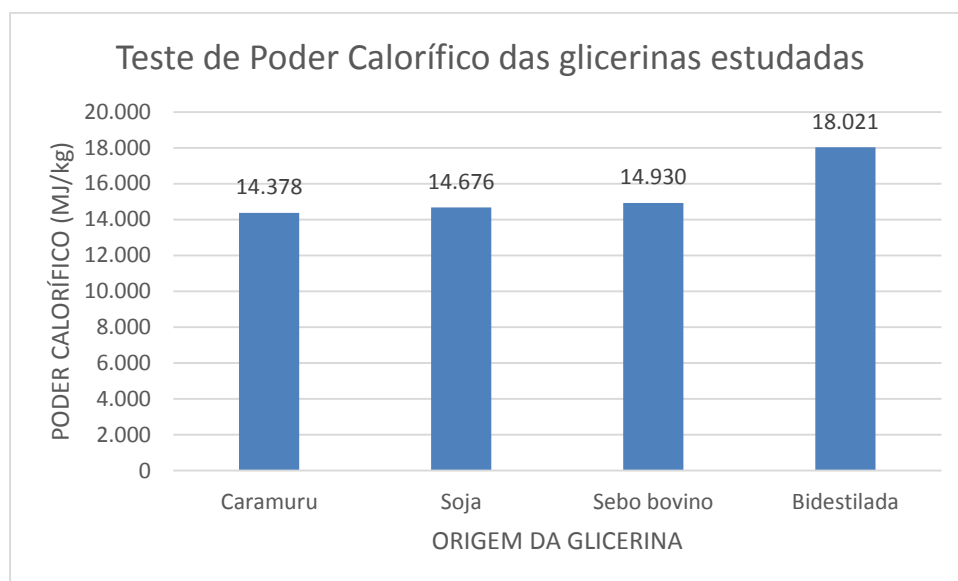
Tabela 12 – Resultados do teste de poder calorífico com todas as glicerinas estudadas

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	14.560	a1
2	14.874	a1
3	15.115	a1
5	16.454	a2
4	18.221	a3

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, para o valor nominal de 5% de significância.

- 1- Glicerina Caramuru
- 2- Glicerina a base de soja
- 3- Glicerina de sebo bovino
- 4- Capim Vetiver
- 5- Glicerina bidestilada

Gráfico 3 - Teste de poder calorífico das glicerinas em estudo



Fonte: Autor

Em comparação com os valores encontrados para o óleo diesel brasileiro, Córdoba (2011) registrou média de 45,19 MJ/kg e de acordo com Centro Brasileiro de Referências em Biocombustíveis (CERBIO, 2004) citado por Bonometo (2009) o biodiesel registrou média de 39,40 MJ/kg a 41,80 MJ/kg. Um menor valor de poder calorífico para a glicerina em relação ao diesel comum e o biodiesel já era esperado.

Mattos (2014) em pesquisa sobre a caracterização química do glicerol e seu possível aproveitamento no setor energético, tendo como o óleo de soja como matéria prima de estudo, registrou para o glicerol bruto, média de poder calorífico superior no valor de 22,42 MJ/kg. Na literatura os valores variaram de 13,94 MJ/kg para 23,780 MJ/kg (MATURANA, 2011; PATZER, 2007 citado por MATTOS, 2014). Os valores encontrados pela autora são maiores ao encontrados nessa pesquisa, que são respectivamente, 14,560 MJ/kg e 14,874 MJ/kg para a mesma fonte de estudo. Entretanto, pela literatura abordada, os valores encontrados são maiores que 13,940 MJ/kg e menores que 23,780 MJ/kg.

Mattos (2014) também obteve resultados de poder calorífico superior para a glicerina USP (glicerina bidestilada), o valor médio encontrado foi de 17,70 MJ/kg. O valor encontrado é menor que o obtido nessa pesquisa, registrando média de 18,221 MJ/kg, no entanto é um valor bastante próximo com diferença de 521 MJ/kg. Na literatura, Bohon (2011) citado por Mattos (2014) e Córdoba (2011) obtiveram, respectivamente, um total de 18,500 MJ/kg 18,310 MJ/kg para a glicerina purificada.

Em relação a amostra de glicerina de sebo bovina estudada, o poder calorífico

registrado foi de 15,115 MJ/kg. Na literatura foram registrados média de 23.73 MJ/kg (MATURANA, 2011 citado por MATTOS, 2014) para o glicerol bruto, componente essencial da glicerina e mais energético. O valor é superior ao encontrado nessa pesquisa para a amostra estudada. Em comparação com a glicerina formada pelo óleo de frango, Bonometo (2009) obteve valor médio de 32,81 MJ/kg.

Valor consideravelmente superior foi encontrado por Córdoba (2011). A amostra de glicerina de sebo bovino, que estava em estado sólido, foi registrado valor médio de 38,210MJ/kg. O autor atribui o alto valor ao teor de metanol presente na amostra, para ele, a grande quantidade desse composto contribuiu para o aumento no teor de poder calorífico. Alba et al., (2012) também registraram alto poder calorífico para o sebo bovino, porém nesse caso, os autores misturaram a glicerina de sebo bovino com outros biocombustíveis e obtiveram como resultado 31,836 MJ/kg.

Uma justificativa em razão da glicerina bidestilada registrar maior poder calorífico que as demais amostras avaliadas, está na composição química desta amostra. A glicerina purificada (também chamada de bidestilada e USP) apresenta em sua composição acima de 99% de glicerol, alguns autores falam em 95% (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009; BARROS et al., 2015) ou seja, é quase que em sua totalidade formada somente por glicerol. Está vantagem possibilita o melhor aproveitamento dessa glicerina, já que o glicerol é o seu componente mais energético.

No entanto, em relação as demais amostras avaliadas, que não foram submetidas ao processo de purificação, apresentam em sua composição, em média 80% de glicerol, água, metanol e sais dissolvidos (MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009). A diferença entre a glicerina bidestilada e as demais amostras contendo glicerina bruta (recém formada no processo de biodiesel) está em sua composição.

Uma glicerina que contém muita água em sua composição influencia negativamente em seu poder calorífico. Tavares e Santos (2013) reforçam que essa é a propriedade mais importante a ser avaliada em um combustível para ser utilizada energeticamente e que a grande quantidade de água limitará o poder de combustão da amostra estudada. Já em relação aquelas amostras que apresentam maior quantidade de glicerol, terá maior aproveitamento energético.

#### **4.3. Teste de poder calorífico com a mistura: Capim Vetiver + Glicerina**

Os resultados contendo os valores dos testes feitos com a mistura das amostras de



glicerinias com o capim vetiver estão dispostos na tabela a seguir. Houve diferença estatística em todos os tratamentos avaliados. Na tabela 13 estão expostos os valores de poder calorífico do capim vetiver com as misturas correspondentes.

Tabela 13 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina Caramuru

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	13,876	a1
4	14,145	a2
3	14,243	a3
2	14,276	a4
1	14,378	a5

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, para o valor nominal de 5% de significância.

Tratamento 5 – 50% de capim vetiver + 50% de glicerina Caramuru

Tratamento 4- 80% de capim vetiver + 20% de glicerina Caramuru

Tratamento 3 – 85% de capim vetiver + 15% de glicerina Caramuru

Tratamento 2 – 90% de capim vetiver + 10% de glicerina Caramuru

Tratamento 1 - 95% de capim vetiver + 5% de glicerina Caramuru

Na tabela 14 estão expostos os valores de poder calorífico do capim vetiver e as misturas de glicerinias. Também foi observado que houve diferença estatística em todos os tratamentos avaliados.

Tabela 14 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina a base de soja

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	14.205	a1
4	14.468	a2
3	14.562	a3
2	14.610	a4
1	14.676	a5

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, para o valor nominal de 5% de significância.

Tratamento 5 – 50% de capim vetiver + 50% de glicerina a base de soja

Tratamento 4- 80% de capim vetiver + 20% de glicerina a base de soja

Tratamento 3 – 85% de capim vetiver + 15% de glicerina a base de soja

Tratamento 2 – 90% de capim vetiver + 10% de glicerina a base de soja

Tratamento 1 - 95% de capim vetiver + 5% de glicerina a base de soja

Na Tabela 15 também houve diferença estatística entre todos os tratamentos. Nota-se uma tendência observada em todos os tratamentos, de todas as glicerinas, os valores de poder calorífico diminuí conforme aumenta-se a concentração de glicerina.

Tabela 15 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina a base de sebo bovino

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	14.540	a1
4	14.700	a2
3	14.810	a3
2	14.885	a4
1	14.930	a5

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, para o valor nominal de 5% de significância.

Tratamento 5 – 50% de capim vetiver + 50% de glicerina a base de sebo bovino

Tratamento 4- 80% de capim vetiver + 20% de glicerina a base de sebo bovino

Tratamento 3 – 85% de capim vetiver + 15% de glicerina a base de sebo bovino

Tratamento 2 – 90% de capim vetiver + 10% de glicerina a base de sebo bovino

Tratamento 1 - 95% de capim vetiver + 5% de glicerina a base de sebo bovino

A Tabela 16 expõe os resultados da mistura de capim vetiver e glicerina bidestilada. Assim, como nas tabelas anteriores, também foi verificado diferença estatística em todos os tratamentos estudados.

Tabela 16 – Resultado da análise estatística das diferentes misturas entre capim vetiver + glicerina bidestilada

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	17.698	a1
4	17.823	a2
3	17.910	a3
2	17.971	a4
1	18.021	a5

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, para o valor nominal de 5% de significância.

Tratamento 5 – 50% de capim vetiver + 50% de glicerina bidestilada

Tratamento 4- 80% de capim vetiver + 20% de glicerina bidestilada

Tratamento 3 – 85% de capim vetiver + 15% de glicerina bidestilada

Tratamento 2 – 90% de capim vetiver + 10% de glicerina bidestilada

Tratamento 1 - 95% de capim vetiver + 5% de glicerina bidestilada

Em todas as concentrações avaliadas (5%, 10%, 15%, 20% e 50%) houve decréscimo no poder calorífico conforme aumenta-se a quantidade de glicerina. Pode ser verificado que a mistura com concentração a 5% de glicerina e 95% de capim vetiver obteve os maiores teores de poder calorífico, enquanto que a mistura a 50% de glicerina e 50% de capim vetiver foram registrados os menores teores. É importante ressaltar, que em todas as glicerinas estudadas (a base de soja, de sebo bovino e bidestilada) esse comportamento foi notado.

Também fora observado que embora os valores das concentrações em estudo foram inferiores ao poder calorífico das glicerinas avaliadas isoladamente (a glicerina bidestilada, da empresa Caramuru, a base de soja e de sebo bovino, registraram média, respectivamente, de 18,221 MJ/kg; 14,560 MJ/kg; 14,874 MJ/kg e 15,115 MJ/kg), ou seja, o valor das amostras são maiores do que quando misturadas com capim vetiver, a glicerina bidestilada quando adicionada ao capim vetiver, em todas as concentrações em estudo, registrou maior poder calorífico que o capim vetiver isoladamente, mas indicou menor teor quando comparada somente com a glicerina.

Portanto, somente com as concentrações da glicerina bidestilada o poder calorífico do capim vetiver (que é de 16,454 MJ/kg) foi superado, registrado média de 18,021 MJ/kg, 17,971 MJ/kg, 17,910 MJ/kg, 17,823 MJ/kg e 17,698 MJ/kg. Entretanto, o poder calorífico da glicerina bidestilada (de 18,221 MJ/kg) ainda continua sendo superior do que aquele registrado com a mistura.

Sant' Anna et al., (2012) utilizou a glicerina, originada do processo de biodiesel, como aglutinante para fabricação de briquetes de resíduos da indústria de frutas. Os autores também misturaram os resíduos agroindustriais com diferentes proporções de glicerina. As concentrações utilizadas foram as mesmas desta pesquisa, exceto na concentração de 50%. Para a mistura com 5%, 10%, 15% e 20%, os valores de poder calorífico encontrados pelos autores foram de, respectivamente: 18,160 MJ/kg, 17,903 MJ/kg, 17,626 MJ/kg e 17,213 MJ/kg.

Os valores encontrados por Sant' Anna et al., (2012) acompanham a tendência dessa pesquisa. Conforme a aumento na concentração de glicerina, há conseqüente diminuição do poder calorífico da amostra. Os autores destacam que isso ocorre em função da quantidade de água presente na amostra. O poder calorífico é diretamente afetado pela alta umidade, causando alteração em seu valor e no poder de queima da biomassa.

Como pôde ser visto, conforme há aumento da quantidade de glicerina na mistura, o poder calorífico da amostra diminuiu, devido portanto ao teor de umidade presente. Entretanto, Rodrigues et al., (2017) também avaliou diferentes concentrações de glicerina misturadas ao carvão vegetal. Os autores constataram que aos 20% de concentração de glicerina e 80% de carvão vegetal, o poder calorífico é maior, ou seja, houve efeito benéfico da glicerina nesse caso. O poder calorífico com 20% de glicerina aumentou para 11,634 MJ/kg (2781 Kcal/kg).

Pela grande interferência que presença de umidade causa na leitura do poder calorífico, foram avaliadas através do equipamento Karl fisher a quantidade de água contidas nas amostras de glicerinas, os resultados estão dispostos na Tabela 17.

A glicerina doada pela empresa Caramuru foi aquela que registrou os maiores teores de água em sua composição. Assim como a literatura informa, o poder calorífico desta amostra também fora o menor teor encontrado, comprovando que a alta umidade interfere negativamente no poder calorífico dos amostras. As demais amostras também registram alta concentração de água, no entanto, obtiveram resultados de poder calorífico melhores que a amostra doada pela empresa Caramuru.

Tabela 17 – Leitura da quantidade água presente nas amostras de glicerina

QUANTIDADE DE ÁGUA PRESENTE NAS AMOSTRAS DE GLICERINA	
Origem da glicerina	Quantidade de água
Glicerina da empresa Caramuru	209852.50 ppm
Glicerina a base de soja	199840.40 ppm
Glicerina de sebo bovino	179834.30 ppm
Glicerina bidestilada	-

Fonte: Autor

#### **4.4. Análise de composição química elementar das amostras de glicerina estudadas**

Na Tabela 18 estão expostos os resultados obtidos da análise de composição química elementar das glicerinas estudadas. Foram analisados a concentração em percentagem (%) dos elementos carbono, hidrogênio e nitrogênio. O maior percentual de

carbono foi registrado para a glicerina de sebo bovino, assim como a maior concentração de hidrogênio e de nitrogênio.

Os resultados encontrados corroboram com aqueles abordados por Córdoba (2011). Ao caracterizar o sebo bovino, o autor registrou para o carbono, hidrogênio e nitrogênio, respectivamente, 50,29%, 9,66%, 2,60%. Já em relação aos menores valores, a glicerina bidestilada registrou para o teor de carbono 40,12%. Mattos (2014) registrou para a glicerina USP, concentração de carbono em 39,10%. Para os outros dois elementos, o menor teor de hidrogênio foi registrado para a glicerina Caramuru, enquanto que a glicerina a base de soja registrou o menor teor de nitrogênio.

Como já demonstrado por Tavares e Santos (2013), a alta concentração desses elementos químico influenciam positivamente no poder calorífico do combustível avaliado. No entanto, como pode ser visto nesta pesquisa, a glicerina que apresentou maior poder calorífico foi a bidestilada e não a de sebo bovino, embora esta tenha apresentando maior concentração desses elementos.

Tabela 18 – Resultados da análise de composição química elementar das gliceras estudadas

ANALISE DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA ELEMENTAR			
Glicerina estudadas	Composição (%)		
	C	H	N
Glicerina Caramuru (T1)	46,01	6,20	1,00
Glicerina a base de soja (T2)	47,30	7,30	0,9
Glicerina de sebo bovino (T3)	49,14	8,38	2,10
Glicerina bidestilada (T4)	40,12	8,10	1,23

Fonte: Autor

#### 4.5. Potencial de Geração Termelétrica da Biomassa disponível

A energia térmica disponível na biomassa ( $E_{thbio}$ ) pode ser calculada conforme a equação (1) abaixo:

$$E_{thbio} [kWh] = (1 - \beta) \times M (Vapim\ Vetiver) \left[ \frac{t}{ha} \right] \times PC \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \times \left( \frac{1}{3.600} \right)$$

(1)

Sendo,

$E_{tdCE}$  = Energia térmica disponível no Capim Vetiver

$m_{CV}$  = Massa do Capim Vetiver

$\beta$  = Umidade em base seca do Capim Vetiver

PC = Poder Calorífico do Capim Vetiver

Para o cálculo de geração de energia térmica foi estimado a produtividade em toneladas da área de estudo do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. A produtividade foi estimada em 0,333 ton/ha. O poder calorífico do vetiver de 16,454 MJ/kg foi convertido para KJ/kg, resultando em 16.438 KJ/kg. A área considerada para o cálculo foi de 1 ha e o valor da umidade em base seca do capim vetiver foi de 0,23 unidades.

- A produtividade da área de estudo é de 0,333 ton/ha.ano (base seca)
- Área considerada para o cálculo é de 1 ha.
- O número de horas de operação por ano é: 6.500 h.
- Fator de capacidade de 85%

$$E_{thbio} = (1 - 0,23) \times 0,333 \left[ \frac{t}{ha} \right] \times 1[ha] \times 16.438 \left[ \frac{Kj}{kg} \right] \times \left( \frac{1}{3.600} \right) \quad (2)$$

$$E_{thbio} = 1,170 [kWh] \text{ Térmicos anuais}$$

$$thbio = E \frac{thbio}{t} = \frac{1,170[MWh]}{6.500[h] \times 0,85} \rightarrow P_{thbio} = 0,0002117 [kW] \quad (3)$$

A energia térmica disponível na área de estudo é de **0,0002117 [kW]**. O valor é pequeno diante da produção brasileira, no entanto demonstra potencialidade da gramínea ser utilizada como biomassa, em razão, principalmente de seu alto poder calorífico. De acordo com a ANEEL (2018) o Brasil possui 3.008 empreendimentos em operação a base de energia térmica, com potencial instalado de 41.997.382 kW, representando 24,73% do total de energia produzida no Brasil. É a segunda fonte de energia mais utilizada. A primeira colocação está com as hidrelétricas, que respondem com 60,23% do

fornecimento de energia para o país.

Marafon et al. (2016) destaca que a biomassa para ser utilizada na queima, deverá apresentar características físicas e químicas específicas. Para o autor, o poder calorífico é a propriedade mais importante a ser avaliada numa biomassa. O capim vetiver registrou poder calorífico no valor de 16,454 MJ/kg. O valor é semelhante e até mesmo superior a outras biomassas utilizadas para queima. Sartori et al. (2017) registrou poder calorífico de 15,729 MJ/kg para o capim elefante, gramínea tradicionalmente utilizada na queima e que compõe a matriz elétrica nacional (ANEEL, 2017).

Como pôde ser visto, o Brasil possui potencial para produção de energia térmica. No entanto, necessita de novas fontes eficientes para geração de energia, que apresentem características físico-químicas ideais e boa produtividade. O capim vetiver apresenta boas qualidades térmicas, que justificam seu uso futuro no setor energético.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pelo teste de poder calorífico e pelas análises química elementar e termogravimétrica verificou-se que capim vetiver, quando avaliado individualmente, apresenta considerável potencial para ser utilizado como fonte de energia em termelétricas. O poder calorífico encontrado foi de 16,454 MJ/kg, enquanto outras gramíneas como o capim elefante e o capim braquiária, registram na literatura cerca de 18.840 MJ/kg e 17.165 MJ/kg.

Também foi verificado que houve interferência no poder calorífico nas glicerinas estudadas devido à grande quantidade de água presente nas amostras. Recomenda-se realizar em trabalhos futuros a purificação total das glicerinas, já que foi observado que a glicerina bidestilada foi aquela que obteve os melhores resultados.

Em relação as misturas de glicerina e capim vetiver testadas, a glicerina bidestilada foi aquela que apresentou maior poder calorífico, enquanto que a glicerina Caramuru registrou os menores teores. Observou-se que aumento da concentração de glicerina com capim vetiver não favoreceu o poder calorífico, pelo contrário, foi observado que as maiores concentrações (50% de glicerina e 50% de capim vetiver) obteve os menores resultados quando comparados com a mistura de 95% capim vetiver e 5% de glicerina.

Os dados obtidos estão em concordância com a literatura abordada. Autores registram maiores teores de poder calorífico para as misturas de menor concentração de glicerina e biomassa. Portanto, a menor concentração de glicerina (5%) e a maior concentração de capim vetiver (95%) registraram os maiores teores de poder calorífico.

A geração de energia térmica a partir do capim vetiver foi justificado em razão de seu alto poder calorífico. O valor encontrado de **0,0002117 [kW]** foi baixo, quando comparado com a geração brasileira de energia térmica, no entanto, demonstra potencial do capim vetiver em ser utilizado futuramente no setor energético.

Recomenda-se com base nessa pesquisa que novos estudos de viabilidade técnica e ambiental sejam realizados para comprovar a eficiência do capim vetiver. O enriquecimento da glicerina não propiciou aumento significativo no poder calorífico, no entanto, quando utilizada em menores proporções demonstra beneficiar o poder de queima da biomassa.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBA, Marcelo José et al. Análise da mistura de sebo bovino e biocombustíveis como alternativa energética para utilização em caldeiras: planejamento experimental. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 7., 2012, Maringá. **Anais...** . Maringá, 2012. p. 01 - 07.
- ANDRADE, L. L. et al. Avaliação da sobrevivência do capim vetiver (*Vetiveria zizanioides*) em raízes nuas e produzidas em saquinhos de polietileno plantadas em diferentes espaçamentos. **Agrogeoambiental**, v.3, n.2, p.57-64, 2011.
- ANEEL. **Matriz elétrica nacional**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 10 maio. 2018.
- ANSELMO, Jaíne Alves et al. Teor de proteína bruta da gramínea vetiver em função do tempo de desenvolvimento. In: XII CONGRESSO NACIONAL DE DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 12., 2015, Poços de Caldas. **Congresso**. Poços de Caldas: Abril, 2015. p. 1 - 8.
- ARBEX, Marcos Abdo et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **J bras pneumol**, [s.l.], v. 30, n. 2, p. 158-75, 2004.
- Associação brasileira de Biogás. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/potencial-biogas-canal-energia>>. Acesso em: 15 maio 2018.
- BARROS, Mauriceia Costa Carvalho et al. Glicerina bruta na dieta de ovinos confinados: consumo, digestibilidade, desempenho, medidas morfométricas da carcaça e características da carne. **Semina: Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 36, n. 1, p.453-468, 28 fev. 2015.
- BEN-IWO, Juliet; MANOVIC, Vasilije; LONGHURST, Philip. Biomass resources and biofuels potential for the production of transportation fuels in Nigeria. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 63, p.172-192, set. 2016.
- BERGMAN, Célio. Crise ambiental e as energias renováveis. **Ciência e Cultura**, [s.l.], v. 60, n. 3, p. 20-29, 2008.
- BONOMETO, Ricardo Pacheco. **Análise energética do processo experimental de produção de biodiesel a partir do óleo de frango**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, Botucatu, 2009.
- BORGES, Ane Caroline Pereira et al. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, [s.l.], v. 10, n. 2, 2017.
- CARAMURU. Disponível em: < <http://www.caramuru.com/institucional/>>Acesso em: 18 de maio. 2018.
- CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 28, n. 82, p.25-39, dez. 2011.
- CARDOSO, Coughlan Hilter Sampaio. **Desenvolvimento de um protocolo para micropropagação de vetiver (Chrysopogon zizanioides (L.) Roberly)**. 2011. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Ciências Agrárias Curso de Agronomia, Florianópolis, 2011.

Companhia Nacional de Abastecimento. Safra de cana de açúcar. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cana>> Acesso em: 10 maio. 2018.

COUTO, Luiz Carlos et al. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

CORDOBA, Aymer Yeferson Maturama. **Estudo da combustão direta da glicerina bruta e loira como alternativa de aproveitamento energético sustentável**. 2011. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

DAFNOMILIS, Ioannis et al. Review of solid and liquid biofuel demand and supply in Northwest Europe towards 2030 – A comparison of national and regional projections. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 78, p.31-45, out. 2017.

DEFLOR. **Capim vetiver**. 2019. Disponível em: <<http://deflor.com.br/produtos-2/capim-vetiver/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

DUTRA, Ricardo Marques; SZKLO, Alexandre Salem. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.65-76, jan. 2008.

EICHLER, Paulo et al. Biomethanol production via gasification of lignocellulosic biomass. **Química Nova**, [s.l.], p.828-835, 2015.

ESCOBAR, Javier F.; COELHO, Suani T. O Potencial dos pellets de madeira como energia no Brasil. **Jornal Biomassa**, Cruzeiro do Iguaçu, v. 3, n. 12, p. 9-14, 2014.

FLORES, Rilner A. et al. Yield and quality of elephant grass biomass produced in the cerrados region for bioenergy. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.831-839, out. 2012.

FOLLEHO TO, Edson Luiz et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, [s.l.], v. 28, n. 06, p.1055-1060, 2005.

GUARDABASSI, Patricia Maria. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, [s.l.], v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

GOLDEMBERG, José. Biomassa e energia. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.582-587, 2009.

GOLDEMBERG, José. Current and Prospects in the Use of Biomass for Energy Generation. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.15-28, 2017.

GOLLAKOTA, A.r.k.; KISHORE, Nanda; GU, Sai. A review on hydrothermal liquefaction of biomass. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], p.01-15, jun. 2017.

LOHRI, Christian Riuji et al. Char fuel production in developing countries – A review of urban

biowaste carbonization. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 59, p.1514-1530, jun. 2016.

LOPES, Ana Paula et al. Purification of Residual Glycerol Obtained in Biodiesel Production from Waste Oils. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 6, n. 6, p.1564-1582, 2014.

MACÊDO, Lucélia Alves. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MARAFON, Anderson Carlos et al. **Poder Calorífico do Capim-Elefante para a Geração de Energia Térmica**. Aracaju: Embrapa, 2016. 30 p.

MARTÍNEZ, José María Rincón; LORA, Electo Eduardo Silva. **Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad**. Bogotá: Cyted, 2014. 332 p.

MARTINS, Luis O. Silva; CARNEIRO, Roberto A. Fortuna. O sebo bovino como insumo estratégico da cadeia de biodiesel: uma análise crítica. **Bioenergia em Revista: Diálogos (ISSN: 2236-9171)**, v. 3, n. 1, p. 32-44, 2013.

MATTOS, Ana Paula. **Caracterização termoquímica do glicerol bruto e aproveitamento energético da queima do glicerol em uma planta de médio porte de produção de biodiesel**. 2014. 193 f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

Ministério do Minas e Energia. **Programa biodiesel**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/historico.html>>. Acesso em: 10 maio. 2018a.

Ministério de Minas e Energia. **Resenha energética brasileira**. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>>. Acesso em: 15 maio. 2018b.

MORAES, Marcelo Lopes de; BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. Etanol: do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola**, [s.l.], v. 23, n. 04, p.05-22, dez. 2014.

MOTA, Claudio J. A.; SILVA, Carolina X. A. ; GONÇALVES, Valter L. C.. Gliceroquímica : novos produtos e processos de produção de glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 03, p.639-648, 2009.

MOTA, Claudio J. A.; MONTEIRO, Robson S. Química e sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 10, p.1483-1490, 2013.

OLIVEIRA, Jackson Silva e et al. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 43, n. 3, p.509-512, mar. 2013.

OLIVEIRA, Stênio Bruno Lobo. Análise da matriz energética brasileira e o uso da biomassa no mercado nacional, Belo Horizonte. **NBC-Periódico Científico do Núcleo de Biociências**, [s.l.], v. 4, n. 07, p. 38-48, 2014.

PATERLINI, Ewerthon Mattos et al. Evaluation of elephant grass for energy use. **Journal Of Biotechnology And Biodiversity**, [s.l.], v. 04, n. 02, p.119-125, maio 2013.

PEREIRA, Aloísio Rodrigues et al. **Uso do vetiver na estabilização de taludes e encostas**. Belo Horizonte: Fapi Ltda., 2006. 22 p.

PEREIRA, Marcio Giannini et al. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 16, n. 6, p.3786-3802, ago. 2012.

POSADA-DUQUE, John Alexander; CARDONA-ALZATE, Carlos Ariel. Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. **Ingeniería y Universidad**, Bogotá, v. 14, n. 01, p.10-27, jun. 2010.

PRETO, Elio Veit; MORTOZA, Gladson Lima. **Geração de energia elétrica utilizando biomassa**. 2010. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

REIS, Aliny Aparecida dos et al. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [s.l.], v. 32, n. 71, p.277-290, 28 set. 2012.

ROCHA, Angela Machado et al. Prospecção tecnológica do capim elefante e sua relevância como matéria-prima para a produção energética. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.475-499, 16 jun. 2017.

ROCHA, Elém P. A.; SOUZA, Danilo F.; DAMASCENO, Sandra M.. Estudo da viabilidade da utilização de briquete de capim como fonte alternativa de energia para queima em alto-forno. In: congresso brasileiro de engenharia química em iniciação científica, 8., 2009, Uberlândia. **Anais...** . Uberlândia, 2009. p. 01 – 06

SALOMOM, K. R.; TIAGO FILHO, G. L. **Séries Energias Renováveis: Dendroenergia**. Itajubá, FAPEPE, 2007.

SANTOS, Fernando A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, Guilherme Henrique Fávero; NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. Biomassa como energia renovável no Brasil. **Revista Uningá**, Maringá, v. 20, n. 02, p.06-13, mar. 2017.

SANT'ANNA, Mikele Cândida Sousa et al. Caracterização de briquetes obtidos com resíduos da agroindústria. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 14, n. 03, p.289-294, jan. 2012a.

SANT'ANNA, M. C. S. et al. Viabilidade de usina de briquete de casca de coco e glicerina em Sergipe. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.01-06, 2012b.

SARTORI, W. W. et al. Caracterização da biomassa de capim elefante e sorgo in Natura misturados com bio-óleo e glicerina como fonte Energética. In: V JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Sinop. Anais. Sinop, MT: Embrapa, 2017. p. 128-130.

TAVARES, M.A.M.E; TAVARES, S.R.L. Perspectivas para a participação do Brasil no mercado Internacional de pellets. **Holos**, [s.l.], v. 5, 2015.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, [s.l.], v. 29, n. 5, p. 19, 2013.

TOIVANEN, Hannes; NOVOTNY, Michael. The emergence of patent races in lignocellulosic biofuels, 2002–2015. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 77, p.318-326, set. 2017.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - Cebrap**, [s.l.], n. 79, p.47-69, nov. 2007.

TRUONG, P.; VAN, T. V., PINNER, E. Sistema de aplicação vetiver: **Manual de referência técnica**. 2ª ed. Vietnam, 2008. 116p.

URIBE, Raul Andres Martinez; ALBERCONI, Caio Henrique; TAVARES, Beatriz Antoniassi. Produção de biodiesel a partir do sebo bovino: viabilidade econômica e métodos de produção. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 10., 2014, Niterói. **Anais...**. Niterói, 2014. p. 01 - 19.









