



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Botucatu



**ADOLFO ALEXANDRE VERNINI**

**ENERGIA INCORPORADA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA  
CULTURA DO CRAMBE**

**Botucatu**

**2019**



**ADOLFO ALEXANDRE VERNINI**

**ENERGIA INCORPORADA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA  
CULTURA DO CRAMBE**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Osmar de  
Carvalho Bueno

**Botucatu**

**2019**

V537e Vernini, Adolfo Alexandre  
Energia Incorporada na Produção de Biodiesel a Partir da Cultura do Crambe / Adolfo Alexandre Vernini. -- Botucatu, 2019  
85 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu  
Orientador: Osmar de Carvalho Bueno

1. Crise energética. 2. Fluxos de energia. 3. Mini-usinas. 4. Edificações. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:  
“ENERGIA INCORPORADA NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR  
DA CULTURA DO CRAMBE”

AUTOR: ADOLFO ALEXANDRE VERNINI  
ORIENTADOR: OSMAR DE CARVALHO BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA  
(ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. OSMAR DE CARVALHO BUENO  
Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Prof. Dr. CELSO FERNANDES JOAQUIM JUNIOR  
Engenharia / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Prof. Dr. OSMAR DELMANTO JUNIOR  
Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Prof. Dr. ROBERTO ANTONIO COLENCI  
Engenharia / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Prof. Dr. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI  
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 11 de novembro de 2019.



Aos meus pais Adolpho (*in memoriam*) e Dirce, com todo o amor do mundo e em especial, a minha esposa, Luziana Maria Ramos Vernini, pelo incentivo, companheirismo e apoio durante todo o curso de Doutorado, e por muitas vezes acreditar mais em mim do que eu mesmo.

**Dedico**



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus que tem me dado discernimento para enfrentar as situações da vida e guiar meus passos.

Aos meus pais Adolpho (*in memoriam*) e Dirce, irmãos Valéria, Francisco e Carlos pelo apoio, carinho, e principalmente pelo incondicional amor que sempre me deram.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA - UNESP), campus de Botucatu e à Coordenadoria do Programa de Pós Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura, pela oportunidade.

Ao Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno, meu orientador que se tornou um grande amigo.

Aos Professores: Dr. Celso Fernandes Joaquim Junior, Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni e Rinaldo Antonio Montanher pelo apoio nos momentos de dificuldades.

A todos os docentes das disciplinas cursadas no programa e a todos os funcionários da biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos.

Aos participantes das bancas examinadoras de qualificação e de defesa desta Tese, Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno, Prof. Dr. Celso Fernandes Joaquim Junior, Prof. Dr. Osmar Delmanto Junior, Prof. Dr. Roberto Antonio Colenci, Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni, Prof. Dr. Leonardo de Barros Pinto, Prof. Dr. Gustavo Kimura Montanha e Prof. Dr. Paulo André de Oliveira.

Por fim, a todos que contribuíram, caso seus nomes não estejam mencionados, fica aqui meu reconhecimento e agradecimento.



## RESUMO

O cenário da crise energética que se intensificou desde o ano de 2018, traz à tona a discussão sobre a questão energética. A era do petróleo contribuiu para o aquecimento global, com o alto grau de dependência do setor produtivo em relação à energia, existindo uma grande preocupação da economia mundial em relação a essa crise energética. Neste contexto, o biodiesel apresenta-se como uma oportunidade econômica e, potencialmente, como oportunidade de desenvolvimento social com a inclusão da agricultura familiar no seu processo de produção através do fornecimento de matéria prima. O presente trabalho teve como objetivo quantificar a energia total incorporada para a produção de um litro de biodiesel, através da quantificação da energia incorporada na produção da cultura do crambe (*Crambe abyssinica Hochst*), a energia incorporada na construção de uma edificação de 64 m<sup>2</sup> voltada a abrigar miniusinas, a energia incorporada na construção das miniusinas com capacidade de 30, 44, 66 e 110 litros e a energia incorporada no processo de produção, sendo que a partir dos dados extraídos foi possível traçar uma curva da energia incorporada em função do volume nominal das miniusinas, gerando a equação  $y = 88,799.x^{-0,012}$  potência de tendência, ajuste R<sup>2</sup> de 0,9718, o qual demonstra o bom ajuste do modelo obtido, visando a tomada de decisão em relação a qual capacidade de miniusina possui a menor energia incorporada para produzir uma batelada de biodiesel. A partir desta equação, também foi possível realizar a predição da energia incorporada de volumes de miniusinas entre 110 litros, limitando a predição até 500 litros, pois acima deste valor a geometria se altera, principalmente em termos de espessura do material construtivo, desta forma foram selecionados os volumes para as miniusinas de 130, 150, 200, 300, 400 e 500 litros para realizar a predição.

**Palavras - chave:** Crise energética. Fluxos de energia. Miniusinas. Edificações.



## ABSTRACT

The scenario of the energy crisis that has intensified since 2018 brings up the discussion on the energy issue. The oil age has contributed to global warming, with the high degree of dependence of the productive sector on energy, and there is a great concern of the world economy regarding this energy crisis. In this context, biodiesel presents itself as an economic opportunity and, potentially, as an opportunity for social development with the inclusion of family farming in its production process through the supply of raw materials. The present work aimed to quantify the total energy incorporated for the production a liter of biodiesel, by quantifying the energy incorporated in the production of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), the energy incorporated in the construction of a 64 building. m<sup>2</sup> for housing mini-plants, the energy incorporated in the construction of the 30, 44, 66 and 110-liter mini-plants and the energy incorporated in the production process, and from the extracted data it was possible to draw a curve of the incorporated energy as a function of nominal volume of miniusins, generating the  $y = 88,799.x^{-0.012}$  trend power equation, R<sup>2</sup> adjustment of 0,9718, which demonstrates the good fit of the obtained model, aiming at making a decision regarding which miniusina has the smallest energy incorporated to produce a batch of biodiesel. From this equation it is also was possible to predict the built-in energy of miniusin volumes between 110 liters, limiting the prediction up to 500 liters, because above this value the geometry changes, especially in terms of the thickness of the construction material, so we selected the volumes for the 130, 150, 200, 300, 400 and 500 liter mini-plants to make the prediction.

**Key - words:** Energy crisis. Flows of energy. Miniusins. Buildings.



## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Processo de produção de biodiesel.....	29
Figura 2 - Processo de reação de transesterificação.....	30
Figura 3 - Planta de biodiesel.....	33
Figura 4 - Tanque catalizador com capacidade de 5 litros.....	53
Figura 5 - Tanque de entrada com capacidade de 30 litros.....	53
Figura 6 - Tanque de decantação com capacidade de 30 litros.....	54
Figura 7 - Tanque de decantação com capacidade de 30 litros.....	54
Figura 8 - Tanque de reação com capacidade de 30 litros .....	54
Figura 9 - Motor com redutor sew.....	55
Figura 10 - Motor com redutor sew.....	55
Figura 11 - Motor com redutor sew.....	55
Figura 12 - Motor weg.....	56
Figura 13 - Compressor.....	56
Figura 14 - Compressor.....	56
Figura 15 - Painel de controle.....	57
Figura 16 - Estrutura da planta de biodiesel.....	57
Figura 17 - Energia incorporada em função do volume nominal das miniusinas.....	74
Figura 18 - Predição da energia incorporada em função dos novos volumes das miniusinas. ....	75



## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Repartição da oferta interna de energia.....	23
Tabela 2 - Consumo final de energia por fonte.....	26
Tabela 3 - Redução da emissão de gases poluentes.....	32
Tabela 4 - Índices de energia incorporada utilizados na edificação.....	52
Tabela 5 - Índices de energia incorporada utilizados nas miniusinas.....	58
Tabela 6 - Índices de energia incorporada energia elétrica, mão de obra para a produção de biodiesel .....	61
Tabela 7 - Componentes utilizados na fundação.....	62
Tabela 8 - Componentes utilizados nas paredes.....	63
Tabela 9 - Componentes utilizados no piso com acabamento.....	64
Tabela 10 - Componentes utilizados na estrutura do telhado.....	64
Tabela 11 - Mão de obra utilizada na construção da edificação.....	65
Tabela 12 - Extrapolação do volume das miniusinas.....	66
Tabela 13 - Componentes utilizados na montagem da miniusina de 30 litros.....	67
Tabela 14 - Extrapolação dos componentes utilizados na montagem da miniusina de 44 litros.....	68
Tabela 15 - Extrapolação dos componentes utilizados na montagem da miniusina de 66 litros.....	69
Tabela 16 - Extrapolação dos componentes utilizados na montagem da miniusina de 110 litros.....	70
Tabela 17 - Energia elétrica utilizada no processo de biodiesel.....	71
Tabela 18 - Mão de obra utilizada no processo de biodiesel.....	72
Tabela 19 - Quantidade de MJ por usina para produzir 1 litro de biodiesel.....	73



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	-	AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO
CO <sub>2</sub>	-	DIÓXIDO DE CARBONO
CNPE	-	CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA
HCL	-	ÁCIDO CLORÍDICO
IBGE	-	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
kg	-	QUILOGRAMA
KOH	-	HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO
kcal	-	QUILOCALORIA
kWh	-	QUILOWATT-HORA
M <sup>2</sup>	-	METRO QUADRADO
MDA	-	MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO
MCAL	-	MEGACALORIA
MME	-	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MTEP	-	MILHÕES DE TONELADA EQUIVALENTE DE PETRÓLEO
MJ	-	MEGAJoule
MW	-	MEGAWATT
NAOH	-	HIDRÓXIDO DE SÓDIO
NREL	-	LABORATÓRIO NACIONAL DE ENERGIA RENOVÁVEL
OIE	-	OFERTA INTERNA DE ENERGIA
OIEE	-	OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA
PIB	-	PRODUTO INTERNO BRUTO
PNPB	-	PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL
SO <sub>2</sub>	-	DIÓXIDO DE ENXOFRE
TEP	-	TONELADA EQUIVALENTE DE PETRÓLEO
TWH	-	TERAWATT-HORA
USDA	-	DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA



## SUMÁRIO

	Página
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....21
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....23
<b>2.1</b>	<b>Matriz energética brasileira</b> .....23
<b>2.2</b>	<b>Biodiesel</b> .....26
<b>2.2.1</b>	<b>Aspectos tecnológicos do processo de produção de biodiesel</b> .....28
<b>2.2.2</b>	<b>Subprodutos do biodiesel</b> .....31
<b>2.2.3</b>	<b>Efeitos do uso do biodiesel na emissão de poluentes</b> .....31
<b>2.2.4</b>	<b>Equipamentos básicos em uma planta de biodiesel</b> .....32
<b>2.3</b>	<b>Programa nacional de produção e uso do biodiesel (PNPB)</b> .....33
<b>2.4</b>	<b>Análise energética</b> .....35
<b>2.5</b>	<b>Classificação de energia</b> .....36
<b>2.6</b>	<b>Balanco energético</b> .....37
<b>2.7</b>	<b>Balanco energético do biodiesel</b> .....38
<b>2.8</b>	<b>Balanco energético de culturas para produção de biodiesel</b> .....42
<b>2.8.1</b>	<b>Balanco energético da cultura de canola (<i>Brassica napus</i>)</b> .....42
<b>2.8.2</b>	<b>Balanco energético da cultura da mamona (<i>Ricinus communis</i>)</b> .....43
<b>2.8.3</b>	<b>Balanco energético da cultura da soja (<i>Glycine max</i>)</b> .....43
<b>2.8.4</b>	<b>Balanco energético da cultura do milho (<i>Zea mays</i>)</b> .....44
<b>2.8.5</b>	<b>Balanco energético da cultura do crambe (<i>Crambe abyssinica hochst</i>)</b> 45
<b>2.9</b>	<b>Balanco energético de equipamentos</b> .....46
<b>2.10</b>	<b>Balanco energético em edificações</b> .....48
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....50
<b>3.1</b>	<b>Material</b> .....50
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....50

<b>3.2.1</b>	<b>Coeficientes energéticos .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Matéria-prima necessária no processo de produção de biodiesel utilizando cultura do crambe (Crambe abyssinica hochst). .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1.2</b>	<b>Materiais necessários na construção da edificação de 64m2 utilizada para abrigar as miniusinas. ....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.1.3</b>	<b>Materias necessários para a construção das miniusinas de 30L, 44L, 66L e 110 litros. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.1.4</b>	<b>Insumos necessários para a produção do biodiesel. ....</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cenário da crise energética que se apresenta na atualidade traz à tona a discussão sobre esta questão. A era do petróleo, contribuiu para o aquecimento global, com o alto grau de dependência do setor produtivo em relação à esta fonte de energia, existindo uma grande preocupação da economia mundial em relação a essa crise energética.

A procura por alternativas em relação à energia fóssil é uma estratégia de sobrevivência econômica. É neste cenário que pesquisadores buscam por alternativas energéticas, que sejam capazes de atender a demanda mundial, dentre elas destaca-se o uso do biodiesel.

O biodiesel é um combustível biodegradável, renovável, com emissões tóxicas significativamente menores quando comparado ao óleo diesel derivado de petróleo, produzido a base de espécies oleaginosas em sua combustão; o SO<sub>2</sub> é quase totalmente eliminado e a fuligem diminuí em 60% (DURÃES, 2009).

Segundo o mesmo autor, com a utilização do biodiesel, o monóxido de carbono e os hidrocarbonetos diminuem em 50%, sendo que em relação aos 50% dos hidrocarbonetos (os hidrocarbonetos poliaromáticos são reduzidos em mais de 70% e os gases aromáticos diminuem em 15%). Devido a todas estas características o biodiesel tem espaço no mercado mundial que necessita por “energia limpa”.

O Brasil apresenta forte vocação para a produção de biodiesel, devido a sua vasta área territorial, sua situação climática, boa adaptação das espécies oleaginosas e da mão de obra abundante. O país possui hoje uma matriz energética significativamente limpa, devido à produção de energia a partir de hidroelétricas e da biomassa (VASCONCELOS, 2002).

De acordo com Santos (2008), no ano de 2008, em torno de 46% da oferta energética do país era renovável, sendo que o biodiesel veio contribuir com essa oferta de energia. Para o país, o biodiesel apresenta-se como uma oportunidade econômica e, possivelmente, como oportunidade de desenvolvimento social com a inclusão da agricultura familiar no processo de produção atuando como produtor e fornecedor de matéria prima para a sua produção.

O balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação entrada/saída, além da quantidade necessária para produzir ou processar um

quilograma de determinado produto. Nesse processo quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. As determinações de balanços de energia e de eficiência energética são importantes instrumentos no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis (JASPER et al., 2010).

Da Silva (2014) observa que a análise energética é normalmente usada para avaliar a eficiência e os impactos ambientais na produção de sistemas. Existem vários estudos realizados por diversos autores sobre o uso de energia na agricultura através da análise da relação entre entrada/saída de energia. A identificação de técnicas, métodos ou processos de produção mais poupadores de energia e mais adaptados para os diversos contextos dependem de novas pesquisas. A importância da energia incorporada está em fornecer os parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar as tomadas de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas.

O estudo da energia incorporada em sistemas agrícolas, seus fluxos, distribuição e conversão constituem importante instrumento para avaliação destes sistemas, principalmente considerando a crise atual no setor energético (CAMPOS, 2001).

Cabe salientar que se apresentaram algumas dificuldades durante desenvolvimento da tese e também em atender o objeto da mesma, pois, poucos estudos foram publicados até o momento sobre a energia incorporada na construção de uma edificação voltada a abrigar miniusinas, principalmente, a energia incorporada nos materiais utilizados na construção dos equipamentos relacionados para produção de biodiesel, no caso as miniusinas, e o consumo energético dos insumos utilizados no seu processo de produção.

O presente trabalho teve por objetivo quantificar a energia incorporada para a produção de um litro de biodiesel, considerando-se a quantificação da energia incorporada no plantio direto e produção da cultura do crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) utilizado como matéria prima para a produção de biodiesel, a quantificação da energia incorporada na construção de uma edificação voltada a abrigar as miniusinas, a quantificação da energia incorporada na construção das miniusinas com capacidade de 30, 44, 66 e 110 litros e a quantificação da energia incorporada utilizada no processo de produção, visando à tomada de decisão em relação a qual capacidade de miniusina possui a menor energia incorporada para produzir um litro de biodiesel.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Matriz energética brasileira

Segundo o último relatório divulgado no Balanço Energético Nacional (BEN) em seu relatório síntese do ano de 2019 (ano base 2018), a repartição da oferta interna de energia (OIE) se comportou conforme apresenta a Tabela 1: As energias renováveis com 45,3% com a participação da biomassa da cana em 17,4%, hidráulica 12,6%, lenha e carvão vegetal 8,4% e outras renováveis com 6,9% e as energias não renováveis com 54,7% com a participação do petróleo e seus derivados 34,4%, gás natural 12,5%, carvão mineral 5,8%, urânio 1,4% e outras não renováveis 0,6%, (BEN, 2019).

Tabela 1 - Repartição da oferta interna de energia

<b>Renováveis (45,3%)</b>				
Biomassa de cana <b>17,4%</b>	Hidráulica <b>12,6%</b>	Lenha e carvão vegetal <b>8,4%</b>		Outras fontes renováveis <b>6,9%</b>
<b>Não Renováveis (54,7%)</b>				
Petróleo e derivados <b>34,4%</b>	Gás natural <b>12,5 %</b>	Carvão mineral <b>5,8 %</b>	Urânio <b>1,4%</b>	Outras não renováveis <b>0,6%</b>

Fonte: BEN, 2019.

A estimativa é que a energia hidráulica continue sendo a mais importante na matriz de energia elétrica de 2019, respondendo por 66,6%, percentual ligeiramente superior ao verificado em 2018 que era de 65,1%, (BEN, 2019).

O Brasil tem um grande potencial para a produção dos chamados “combustíveis verdes”. O país já substituiu 27% dos componentes da gasolina por etanol e a partir de março de 2017, substituiu 8% do diesel de petróleo por biodiesel, podendo ser este o caminho para transformar o modelo energético atual calcado em combustíveis fósseis, em uma nova proposta focada na bioenergia com a utilização de biocombustíveis, biomassa e biogás (FAEP, 2017).

A Oferta Interna de Energia - OIE, em 2018, foi de 288,4 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), ou Mtep, mostrando recuo de 1,7% em relação a 2017, e recuo de 5,6% em relação a 2014, ano de recorde da OIE (305,6 Mtep). A taxa negativa da OIE foi na contramão do Produto Interno Bruto (PIB), com taxa positiva em 1,1%, fato explicado por recuos significativos em produtos intensivos em energia, como açúcar, cimento e não ferrosos, por exemplo. O consumo industrial de energia recuou 4,8% em 2018 (exclusive o setor energético). A relação entre a OIE e o PIB (US\$PPP constante de 2011) recuou 2,8% em 2018. Já a relação entre o consumo industrial de energia e o respectivo valor agregado recuou 5,1%, (BRASIL.M.M.E, 2019).

De acordo com o mesmo autor na OIE em 2018, o agregado “Outras Renováveis” teve a maior alta, de 13,6%, sustentado por fortes altas na geração eólica e na produção de biodiesel. A hidráulica ficou com a segunda maior alta, de 4,1%. Todos os combustíveis fósseis recuaram em 2018, ficando o petróleo e derivados com a maior baixa, de 6,5%.

Em 2018, a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) ficou em 636,4 TWh, montante 1,7% superior ao de 2017 (625,7 TWh). Pelo porte, merecem destaque os aumentos de 14,4% na oferta eólica, e de 4,8% na hidráulica nacional. A geração solar teve aumento de 316,1% (876% em 2017), mas ainda com baixa representatividade. A supremacia da geração hidráulica ficou mais acentuada em 2018, chegando a 66,6% da OIEE (incluindo a importação de Itaipu), contra os 65,2% verificados em 2017 (70,6% em 2013), (BEM, 2019).

Em 2018, as fontes renováveis chegaram a 83,3% de participação na matriz da OIEE, indicador 2,8 pontos percentuais acima do verificado em 2017. A oferta de energia eólica e bagaço de cana somaram 13,2% em 2018 - por semestre, este indicador ficou entre 7 e 8% no primeiro semestre, e entre 13 e 15% no segundo semestre, complementar, portanto, a oferta hidráulica, com dinâmica oposta. A energia solar, apesar da alta taxa de crescimento, ainda é pouco significativa na matriz. No caso do bagaço de cana, dos 35,4 TWh gerados, 21,4 TWh foram de excedentes para o mercado, e 14 TWh para o consumo próprio na produção de açúcar e etanol, (BRASIL.M.M.E, 2019).

A oferta total de bioenergia em 2018 foi de 89,6 Mtep (1.741 mil bep/dia), montante correspondente a 31,1% da matriz energética brasileira (29,3% em 2015), os produtos da cana (bagaço e etanol), com 50,1 Mtep, responderam por 55,9% da

bioenergia e por 17,4% da matriz. A lenha, com 24,1 Mtep, respondeu por 26,9% da bioenergia e por 8,4% da matriz. Outras bioenergias (lixívia, biogás, resíduos de madeira, resíduos da agroindústria e biodiesel), com 15,4 Mtep, responderam por 17,2% da bioenergia e por 5,3% da matriz (4,7% em 2017), (EPE, 2019)

Segundo o mesmo autor, na composição da oferta de produtos da cana, o etanol correspondeu a 16,4 Mtep (32,7%), e o bagaço de cana, a 33,6 Mtep (67,3%). Na matriz energética brasileira, o bagaço representou 11,7%, e o etanol, 5,7%, em 2018, a produção de etanol ficou em 33,2 milhões de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>), mostrando alta de 19,9% sobre 2017 (-2,1% em 2017 e -7% em 2016). O consumo rodoviário, de 30,3 Mm<sup>3</sup>, cresceu 14,1%. No ano, o Brasil foi importador líquido de etanol, de 93,4 mil m<sup>3</sup> (445 mil m<sup>3</sup> em 2017).

A produção de biodiesel foi de 5.350 mil m<sup>3</sup> em 2018, com alta de 24,7% sobre 2017 (+12,9% em 2017, e -3,5% em 2016), correspondendo a uma mistura de 10% ao diesel fóssil. O biodiesel respondeu por 1,6% da matriz energética brasileira, em 2018, 39 usinas produziram biodiesel. Em volume, a maior expansão da produção ocorreu no Rio Grande do Sul, de 343 mil m<sup>3</sup>, seguido do Mato Grosso (220 mil m<sup>3</sup>) e do Paraná (180mil m<sup>3</sup>). Os três estados responderam por 62% da expansão, o Rio Grande do Sul aumentou 1,2 pontos percentuais na produção total, e Goiás perdeu 2,5 pontos percentuais, embora tenha aumentado a produção em 5,7%, (BRASIL.M.M.E, 2019).

O consumo final de energia por fonte, ano base 2018, pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Consumo final de energia por fonte

<b>BEM 2019 - Consumo final de energia por fonte - participação</b>	
<b>BRASIL 2009</b>	<b>BRASIL 2018</b>
Querosene (1,3%)	Querosene (1,3%)
Lixívia (2,0%)	Lixívia (2,7%)
Óleo combustível (2,7%)	Óleo combustível (0,8%)
GLP (3,4%)	GLP (3,2%)
Etanol (5,7%)	Etanol (6,4%)
Gasolina (6,7%)	Gasolina (8,4%)
Gás natural (6,9%)	Gás natural (7,7%)
Lenha (7,5%)	Lenha (6,6%)
Bagaço de cana (12,9%)	Bagaço de cana (10,8%)
Óleo diesel (16,3)	Óleo diesel (16,7)
Eletricidade (16,6%)	Eletricidade (18,0%)
Outras fontes (18,1%)	Outras fontes (17,4%)

Fonte: BEN, 2019

## 2.2 Biodiesel

Trata-se de um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos vegetais e gordura animal reagem com um álcool primário, (metanol ou etanol), gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão, ciclo Diesel (ANP, 2017).

O biodiesel pode ser obtido por diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Desse processo também se extrai a glicerina, empregada para fabricação de sabonetes e diversos outros cosméticos se for corretamente purificada. Há dezenas de espécies vegetais no Brasil das quais se podem produzir o biodiesel, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras (BRASIL. M.M.E, 2017).

No ano de 2009, a oleaginosa com maior apoio governamental foi a soja, mas esta enfrentou problemas com a oscilação dos preços internacionais, sendo que somente 3% da soja produzida no Brasil são encaminhados para a produção do biodiesel e com o aumento da demanda seria necessário produzir entre quatro a cinco vezes a quantidade de soja disponível, o que aumentaria a vulnerabilidade da cultura (MING, 2009).

Em julho de 2017, as usinas de biodiesel consumiram o equivalente a 1,68 milhão de toneladas de soja processada. Essa é a maior quantidade do grão que a indústria absorveu num único mês desde que a Agência Nacional do Petróleo, gás natural e combustível (ANP) começou a manter estatísticas sobre o mix de matérias-primas usadas pelo setor em 2009. Somados os resultados publicados pela ANP até agosto de 2018, 9,9 milhões de toneladas de soja foram processadas para a produção de biodiesel em 2018, (APROBIO, 2019).

O método de obtenção de biodiesel que o governo brasileiro incentiva é o de transesterificação, que consiste na reação química de triglicerídeos com álcoois (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (ácido, básico ou enzimático) A glicerina é o subproduto do biodiesel, podendo ser utilizada para produção de sabão, por exemplo, se for corretamente purificada (SILVA; FREITAS, 2008).

Pontos positivos na utilização de plantas oleaginosas para a produção de biodiesel é o fato das mesmas, durante o plantio, retirarem do ar gases poluentes e depois de transformadas em biodiesel, emitir valores mais baixos desses gases. O biodiesel comparado ao óleo diesel derivado de petróleo tem [...] o  $\text{SO}_2$  totalmente eliminado, a fuligem diminuí em 60%, o monóxido de carbono e os hidrocarbonetos diminuem em 50%, dentre os 50% dos hidrocarbonetos, os hidrocarbonetos poliaromáticos são reduzidos em mais de 70% e os gases aromáticos diminuem em 15% [...] (SILVA e FREITAS, 2008).

O biodiesel é produzido a partir de óleos residuais de frituras, sebo ou com plantas de outro gênero, como o nabo forrageiro, utilizado como forrageira. A plantação para a produção de biodiesel poderia deslocar [...] a produção de áreas cultiváveis para a produção de alimentos, aumentando problemas sociais de fome [...] em todo o mundo (SUAREZ et al., 2009).

Silva e Freitas (2008) alegam que [...] o biodiesel apresenta vantagens ambientais em relação ao óleo diesel; porém, o balanço energético varia conforme o sistema utilizado do cultivo das espécies produtoras de óleo [...] e ainda defendem

que [...] o biodiesel é uma alternativa para a diminuição do uso do petróleo, não um substituto.

### **2.2.1 Aspectos tecnológicos do processo de produção de biodiesel**

Para Joaquim Junior (2010), o biodiesel é produzido através da reação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcool (metanol ou etanol), na presença de catalisadores (hidróxido de sódio ou de potássio), resultando em um mono-alquil-éster (derivado da reação entre um ácido carboxílico e um álcool, na qual o hidrogênio do grupamento carboxila é substituído pela cadeia carbônica do álcool, formando o éster) e glicerina, como subproduto. O biodiesel resultante é derivado em aproximadamente 10% de sua massa do álcool reagido.

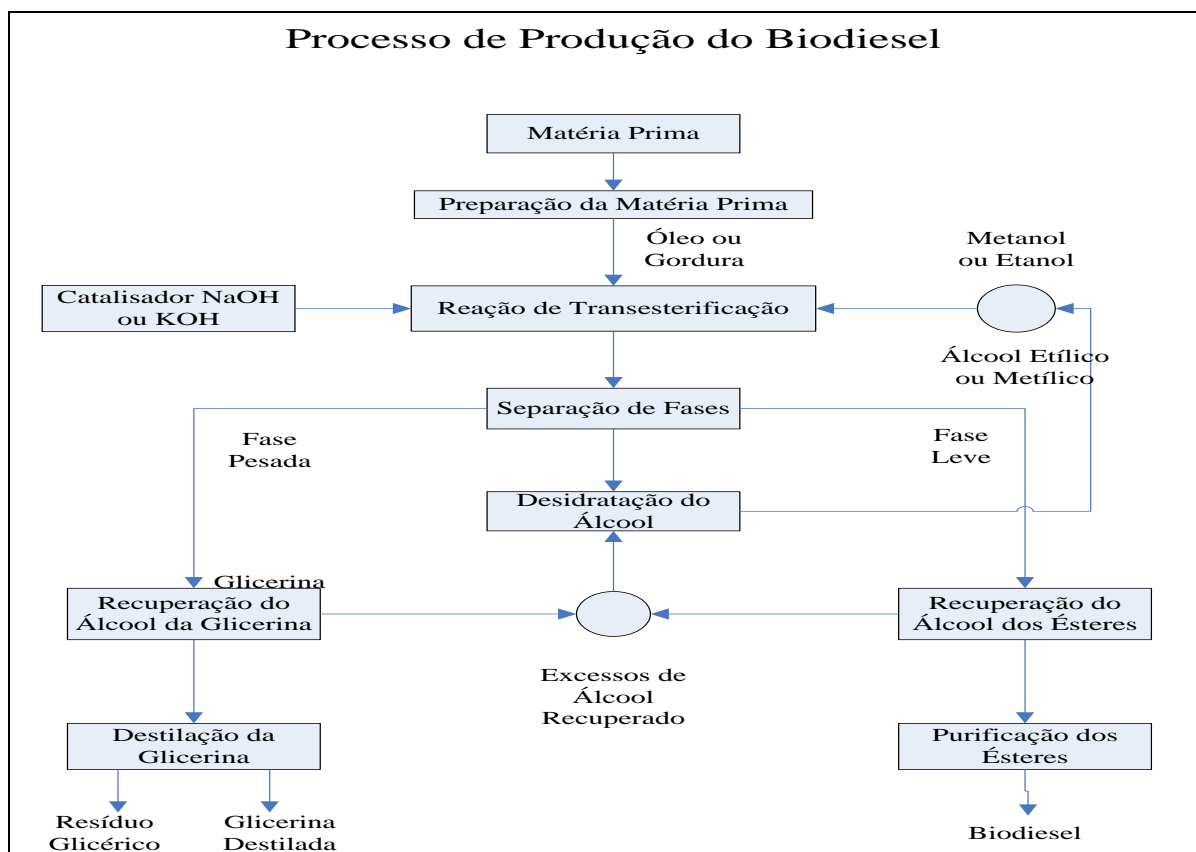
Outra forma de obtenção do biodiesel é através do processo de craqueamento térmico, no qual um reator trabalhando a altas temperaturas promove quebra das moléculas e um catalisador remove os compostos oxigenados corrosivos (SUAREZ et al., 2009).

De acordo com Marchetti (2007), tecnicamente, o biodiesel é definido como éster alquílico de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleo e gorduras vegetais ou animais) com álcool de cadeia curta (metanol ou etanol). A transesterificação consiste na reação química de um óleo vegetal com um álcool, que pode ser etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido (HCL- ácido clorídrico) ou básico (NAOH- hidróxido de sódio). Como resultado, obtém-se o éster metílico ou etílico (biodiesel), conforme o álcool utilizado, e a glicerina.

Assim, a transesterificação nada mais é do que a separação da glicerina do óleo vegetal. Durante o processo, em que ocorre a transformação do óleo vegetal em biodiesel, a glicerina, que compõe cerca de 20 % da molécula de óleo vegetal, é removida, deixando o óleo mais fino e reduzindo suas viscosidades, e substituída pelo álcool proveniente do etanol ou metanol. A glicerina, subproduto da produção de biodiesel, pode ser utilizada como matéria- prima na produção de tintas, adesivos, produtos farmacêuticos, têxteis, aumentando e competitividade do produto. (JOAQUIM JUNIOR, 2010).

A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático do processo de produção do biodiesel.

Figura 1 - Processo de produção de biodiesel

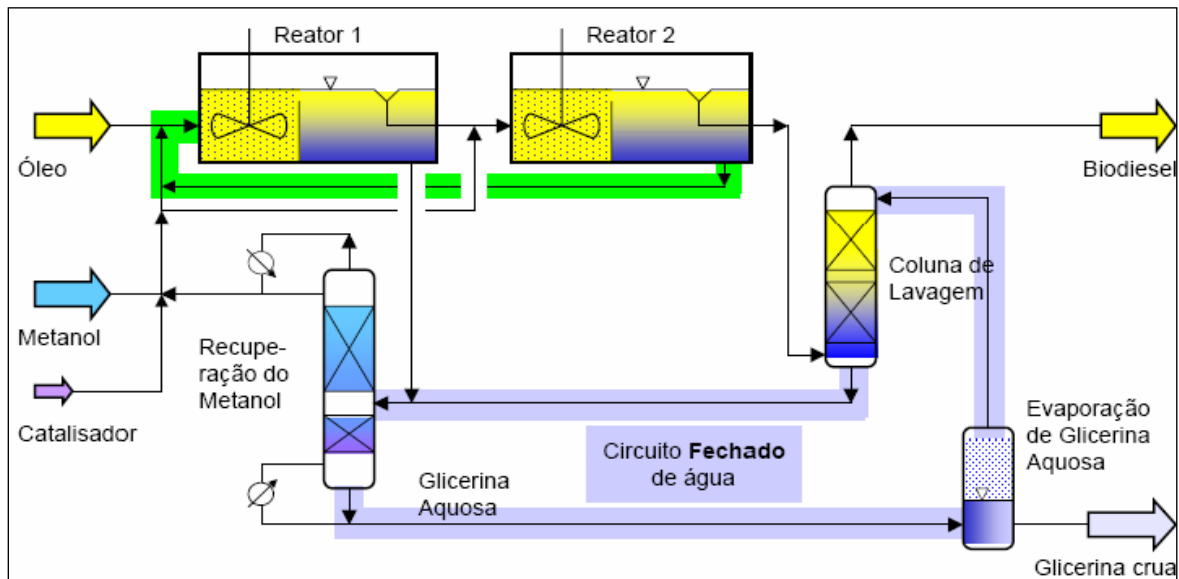


Fonte: Parente, 2003.

De acordo com Meirelles (2003), a preparação da matéria-prima para sua conversão em biodiesel, visa criar as melhores condições para a efetivação da reação de transesterificação, com a máxima taxa de conversão. Em princípio é necessário que a matéria-prima tenha o mínimo de umidade e de acidez, o que é possível submetendo-a a um processo de neutralização, através de uma lavagem com uma solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio (NaOH ou KOH), seguida de uma operação de secagem ou desumidificação. As especificidades do tratamento dependem da natureza e condições da matéria-prima empregada.

Pela Figura 2, pode-se observar o diagrama esquemático do processo de reação de transesterificação.

Figura 2 - Processo de reação de transesterificação



Fonte: Durães, 2009.

Para Dabdoub et al. (2009), a reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura, em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que constitui o biodiesel. A reação pode ser representada pela seguinte equação química, de acordo com (JOAQUIM JUNIOR 2010): Óleo ou Gordura + Metanol  $\rightarrow$  Ésteres Metílicos + Glicerol e Óleo ou Gordura + Etanol  $\rightarrow$  Ésteres Etílicos + Glicerol. Conforme a primeira equação química representa a reação de conversão, quando se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se, portanto, como produtos os ésteres metílicos que constituem o biodiesel, e o glicerol (glicerina).

Segundo Parente (2003), a segunda equação envolve o uso do etanol (álcool etílico), como agente de transesterificação, resultando como produto o biodiesel ora representado por ésteres etílicos, e a glicerina. Ressalta-se que, sob o ponto de vista objetivo, as reações químicas são equivalentes, uma vez que os ésteres metílicos e os ésteres etílicos têm propriedades equivalentes como combustíveis, sendo ambos, considerados biodiesel.

As duas reações acontecem na presença de um catalisador, o qual pode ser empregado, o hidróxido de sódio (NaOH) ou, o hidróxido de potássio (KOH), usados em pequenas proporções. A diferença entre eles, com respeito aos resultados na reação, é muito pequena. No Brasil o hidróxido de sódio é muito mais barato que o

hidróxido de potássio. Sob o ponto de vista técnico e econômico, a reação via metanol é mais vantajosa que a reação via etanol (DURÃES, 2009).

### **2.2.2 Subprodutos do biodiesel**

No processo de transformação do óleo em biodiesel também é gerado um subproduto que é o conhecido como glicerina (glicerol) em torno de 10% por litro. A glicerina possui uma vasta gama de aplicações: em laboratórios são utilizados como agente crioprotetor de espermas, tecidos, microrganismos, enzimas, ácidos nucléicos, na elaboração de xaropes e emolientes (SOUZA et al., 2007).

De acordo com Mendes (2012), a glicerina é utilizada na indústria farmacêutica na composição de cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes, antibióticos e antissépticos. A glicerina é aplicada, ainda, como emoliente e umectante em cremes dentais, hidratantes para a pele, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens. Também é empregada no processamento de tabaco, na composição dos filtros de cigarro e como veículo de aromas. É utilizada, também, como lubrificante de máquinas processadoras de alimentos, na fabricação de tintas e resinas e na fabricação de dinamites, e de acordo com Abdalla et al. (2008), o glicerol pode ser utilizado como fonte de energia em dietas de alta produção para aves.

### **2.2.3 Efeitos do uso do biodiesel na emissão de poluentes**

O mercado de créditos de carbono nasceu em dezembro de 1997 com a assinatura do Protocolo de Kyoto. Nele foram estabelecidas metas de redução de gases poluentes pelos países desenvolvidos, que se comprometeram em reduzir as emissões, em média, 5 % abaixo dos níveis registrados em 1990. Para o período entre 2008 e 2012, o ganho decorrente da redução da emissão de CO<sub>2</sub>, por queimar um combustível mais limpo, pode ser estimado em cerca de 2,5 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de biodiesel (LUCEMA, 2004).

De acordo com Quintella et al. (2009), em termos ambientais, uma das mais expressivas vantagens trazidas pelo biodiesel refere-se à redução da emissão de gases poluentes, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Redução da emissão de gases poluentes

Poluente	Redução/ Aumento	Percentual (%)			
		B100	B20	B10	B5
Gases do efeito estufa	R	78	15	7,5	3,75
Enxofre	R	19	19	9,5	4,95
Material particulado	R	10	10	5,0	2,5
NO <sub>x</sub>	A	13	2,5	1,3	0,65

Fonte: Quintella et al., 2009.

#### 2.2.4 Equipamentos básicos em uma planta de biodiesel

De acordo com De Lorenzo (2018), os principais equipamentos básicos em uma planta de biodiesel correspondem a:

**Tanques de armazenagem de matérias-primas:** tanques cilíndricos verticais destinados à armazenagem do óleo vegetal e do álcool (metanol ou etanol) a serem utilizados no processo.

**Pré-aquecedor de óleo (secador):** vaso cilíndrico vertical, dotado de sistema de geração de vácuo e aquecimento (por vapor, água quente ou elétrica). Neste equipamento, o óleo, previamente decantado e filtrado é aquecido e desidratado a vácuo. Pode ser utilizado no início do processo, como secador de óleo ou no seu final, como secador do biodiesel após o processo de lavagem, quando aplicado.

**Secador:** equipamento similar ao utilizado no pré-aquecimento.

**Reator de transesterificação:** vaso cilíndrico vertical, dotado de sistema de aquecimento (por vapor, água quente ou elétrico) e de sistema de mistura por recirculação ou por meio de agitação mecânica. Possui sistema de regulação de pressão e vácuo para controle dos parâmetros do processo.

**Tanques de decantação:** com geometria similar a do reator os tanques de decantação destinam-se a separação do biodiesel, mais claro e menos denso, do glicerol, mais denso e mais escuro, o qual se sedimenta no fundo do vaso.

**Lavadoras:** utilizadas para a remoção de resíduos de metanol, catalisador e outras impurezas, através da lavagem por contato com água.

A Figura 3 apresenta os principais equipamentos básicos em uma planta de biodiesel.

Figura 3 - Planta de biodiesel



Fonte: De Lorenzo, 2018.

### **2.3 Programa nacional de produção e uso do biodiesel (PNPB)**

De acordo com Távora (2012), com o lançamento do (PNPB) e a aprovação da Lei Federal nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 Brasil (2020), o estado passou a ter metas de uso de biodiesel na matriz energética nacional. Desde novembro de 2014, até março de 2017, todo diesel comercializado no Brasil continha 7% de biodiesel (B7), em atendimento à Lei 13.033. O uso de biodiesel diminuiu a dependência brasileira do diesel fóssil importado e contribuiu para o fortalecimento da indústria nacional e da agricultura familiar, além de ter impactos diretos na diminuição de emissões de poluentes nocivos à saúde humana e causadores de efeito estufa.

Agrolink (2015) destacou a necessidade de um marco regulatório que dê previsibilidade ao setor. A União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO)

defendeu o aumento da mistura obrigatória para B8, com a previsão de evolução para B9 (9%) em 2016, e B10 (10%) em 2017.

A partir de março de 2017 a mistura obrigatória aumentou para o B8 (8%), sendo que em março de 2018 aumentou para B10 (10%) e a partir de 01 de setembro de 2019 a mistura obrigatória passou a ser de B11% (BEN, 2019).

O PNPB é um programa interministerial do Governo Federal, criado em 2004, que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como econômica, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda. As principais diretrizes do programa são: Implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social; Garantir preços competitivos, qualidade e suprimento; Produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes de oleaginosas fortalecendo as potencialidades regionais para a produção de matéria prima (PNPB, 2017).

Entre os fundamentos do PNPB está o caráter social, que busca o fortalecimento da agricultura familiar por meio da geração de empregos e aumento da renda dos agricultores, além do aproveitamento das aptidões regionais, com estímulo ao cultivo de novas oleaginosas, em especial naquelas áreas até então consideradas pouco atrativas à agricultura. Selo Combustível Social – Para incentivar as empresas produtoras de Biodiesel a promover a inclusão social, foi criado o Selo Combustível Social que identifica os fabricantes que contribuem com a agricultura familiar, garantindo-lhes o direito de participar nos maiores lotes para venda do biocombustível nos leilões da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível – ANP. O selo é concedido aos produtores que compram matéria-prima diretamente dos agricultores familiares em quantidades pré-determinadas pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) (UBRABIO, 2018).

De acordo com Castro (2011), com relação às práticas de inclusão social e desenvolvimento regional inseridas no desenho original do PNPB, isso foi feito mediante a redução da alíquota do Programa de Integração Social (PIS) / Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins) para aqueles produtores de biodiesel que possuam o Selo Combustível Social. Este selo é um componente de identificação concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) aos produtores de biodiesel que promovam a inclusão social e o desenvolvimento regional por meio da geração de emprego e de renda para os agricultores familiares

enquadrados nos critérios do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF).

De acordo com a Embrapa (2018), o registro identificado pelo Selo Combustível Social materializa-se num certificado, concedido aos produtores de biodiesel que adquirem matérias primas de agricultores familiares, dentro de limites mínimos, variáveis segundo a região, e atendam as demais exigências. Como previsto nas Instruções Normativas MDA nºs 01 e 02, de 2005, o Selo Combustível Social é concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) a produtores de biodiesel habilitados pelas leis brasileiras a operar na produção e comercialização desse novo combustível e que atendam aos seguintes requisitos: adquiram percentuais mínimos de matéria-prima de agricultores familiares, sendo de 10% nas regiões Norte e Centro-Oeste; de 30% nas regiões Sul e Sudeste e de 50% no Nordeste e no Semi Árido; e celebrem contratos com os agricultores familiares estabelecendo prazos e condições de entrega da matéria-prima e respectivos preços e lhes prestem assistência técnica.

A inserção da agricultura familiar na produção de biodiesel pode trazer às áreas rurais um importante desenvolvimento econômico e social, assim como conduzir a um cenário que possa reduzir problemas ligados a má distribuição populacional do petróleo é o responsável pelo desequilíbrio explosivo entre as áreas rurais e os conglomerados urbanos (VASCONCELOS, 2002).

A agricultura familiar produziu em 2014 em torno de 31% de toda a matéria-prima utilizada na produção do biodiesel. O B6 (6%) e o B7 (7%) devem representar previsão de aumento na produção de 40% na agricultura de todo o País, além de mais mercado, renda e melhor qualidade de vida para os agricultores familiares. (PORTAL BRASIL, 2014).

“Podemos dizer que os melhores resultados da inclusão do biodiesel na matriz energética propiciaram a alavancagem da agricultura familiar, dando oportunidades para pequenos produtores, gerem renda e riqueza em todo o País”, (PORTAL BRASIL, 2014).

## **2.4 Análise energética**

Segundo Hart (1980), ao desenvolver uma metodologia para análise energética em sistemas agrícolas classificou as entradas energéticas em dois tipos: energia em

forma de radiação solar e energia contida nos insumos culturais. As saídas energéticas foram consideradas produtos provenientes da produção agrícola e animal. A análise energética fundamenta-se como instrumento complementar de avaliação do processo produtivo, principalmente no tocante ao item sustentabilidade.

Alguns autores como Jiménez et al. (1980), Mello (1986) e Bueno et al. (2000) consideram que a análise energética pode ser melhor compreendida quando se aceita a contabilização da radiação global como insumo e quantificador da eficiência do sistema de produção na captação da energia solar, mas essa metodologia não é utilizada pela dificuldade de sua quantificação.

A análise energética quantifica, de maneira estimada, a energia diretamente consumida e/ou indiretamente utilizada, esta como parcela integrante do fluxo energético global, em pontos previamente estabelecidos de um determinado sistema produtivo, estabelecendo assim, limites de estudo (HESLES, 1981).

## **2.5 Classificação de energia**

Ferreira (2017) apresentou a classificação dos recursos energéticos em renováveis e não renováveis, bem como, assinalou a conveniência de estabelecer diferença entre recursos energéticos comerciais e não comerciais. Os recursos energéticos renováveis são as energias solares, hídricas, eólicas, das marés e geotérmicas e os produtos provindos do processo da fotossíntese. Já os recursos energéticos não renováveis compreendem os combustíveis fósseis, como carvão mineral, petróleo, gás natural e os combustíveis nucleares.

Para Campos et al. (2004), uma forma de classificação das entradas de energia, é a divisão nas categorias “Biológica”, “Fóssil” e “Industrial”, como se depara também no trabalho de Carmo et al. (1988). Na primeira, consideraram-se as energias humana e animal, resíduos de animais e da agroindústria, sementes e mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta; na segunda, os produtos e subprodutos do petróleo, tidos como fontes de energia primária, incluindo adubos químicos e agrotóxicos; e na terceira são incluídas as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica. Este método foi seguido, por exemplo, por Carmo & Comitre (1991) e Bueno (2002), sendo que Comitre (1993) propôs uma divisão semelhante, tendo, porém, duas

grandes matrizes de energia: Direta (biológica, elétrica e fóssil) e Indireta (Industrial composta por máquinas, calcário, adubo formulado, inseticida e herbicida).

Santos et al. (2011) definem que o balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total, a eficiência refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada (energia disponível/energia consumida) e a energia necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto, nesse processo identificam-se e quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. Assim, a análise de fluxo energético requer a unificação do produto de diferentes fontes e conversores de energia, como máquinas, trabalho humano e combustível, em uma mesma unidade calórica.

## **2.6 Balanço energético**

O processo de análise energética se dá pela quantificação de forma estimada da energia diretamente consumida e ou indiretamente utilizada.

Comitre (1993) identificou a importância da análise e do balanço energético para indicar parâmetros com a finalidade de mensurar, interpretar e subsidiar tomadas de decisões no direcionamento das políticas tecnológicas.

Para Bueno et al. (2000), o balanço de energia é um instrumento de contabilização da energia produzida e das energias consumidas em um determinado sistema de produção, com a função principal de traduzir em unidades, ou equivalentes energéticos, os fatores de produção e os consumos intermediários, possibilitando a construção de indicadores comparáveis entre si, que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência.

O balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total e eficiência, refletida pelo ganho líquido e pela relação saída/entrada. Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. As estimativas dos balanços de energia e de eficiência energética são importantes instrumentos no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis (SIQUEIRA et al., 1999; BUENO et al., 2000).

Schroll (1994) indica que o método de fluxo de energia é uma forma de quantificar partes essenciais do desenvolvimento de sistemas agrícolas. A relação

entre saídas/entradas de energia é proposta como um modo mais inclusivo de se avaliar a sustentabilidade de um sistema agropecuário.

Mello (1986) considera que os índices devem ser construídos na intenção de mensurar e comparar relações e grandezas que entram e saem dos agroecossistemas.

Complementa Risoud (1999), que a unidade utilizada em estudos de eficiência energética deve ser o Joule (J) e seus múltiplos, particularmente o Megajoules (MJ).

A avaliação do sistema no qual ocorrem as relações de saída e entrada de energia, geralmente, contém informações sobre todas as fontes de energia disponíveis aos seres humanos para transformá-las. Estão incluídas: a energia do petróleo, hidráulica, eólica, nuclear, química entre outras que necessitam ser equalizadas. O balanço energético tem como objetivo estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total e a eficiência, representada pelo ganho líquido e através da relação saída/entrada (ALBURQUERQUE et al., 2007).

De acordo com o mesmo autor, o *input* de energia é mais complexo porque requer mais entradas de energias. Nessa etapa do processo, diversos tipos de energias são inseridas na produção: a mão de obra, transporte dos produtos, assim como a energia consumida na manufatura das máquinas, implementos agrícolas, armazenagem, industrialização dos produtos, entre outros.

Devido às variações da quantidade de energia que entra e sai de um determinado processo, o *output* é a energia contida no produto final e nos coprodutos ou resíduos do processo, sendo calculada com base no seu uso final - alimentação, adubo e combustível (ALMEIDA NETO et al., 2004).

Rathke et al. (2007) afirmam que as “entradas” e “saídas” de um agroecossistema são dois fatores fundamentais para a determinação da eficiência energética do sistema, bem como, o impacto ambiental que o mesmo ocasiona. Todavia, entre os sistemas de produção de diversas culturas, assim como a intensidade de entradas e saídas de energia, diferem de forma significativa.

## **2.7 Balanço energético do biodiesel**

“A discussão da sustentabilidade ecológica na produção e o uso de um biocombustível devem considerar aspectos específicos, destacando-se entre eles: o monitoramento de toda a cadeia de produção do biocombustível (cultivo,

processamento, uso/conversão e destinação dos resíduos), limites da capacidade de regeneração dos recursos naturais (solo, água, etc.), de tal modo que a taxa de utilização não supere a de renovação e possíveis conflitos e concorrências no uso das matérias-primas e recursos naturais utilizados na produção do biocombustível, como por exemplo, o conflito entre produção de alimentos *versus* produção de energia” (NETO et al., 2004).

Atualmente, existe um crescente interesse por fontes alternativas de energia, principalmente por aquelas que contribuam em mitigar as emissões de CO<sub>2</sub>, característica das fontes tradicionais de energia fóssil. Para isso, o uso de biocombustíveis como lenha, carvão vegetal, bioetanol, óleo de dendê e biodiesel produzido pela esterificação de óleos vegetais com metanol e etanol, são vistos hoje como alternativas viáveis. Contudo, pouca atenção vem sendo dada aos estudos do balanço energético, que estabelece a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil investida em todo o processo da produção do biocombustível, incluindo-se o processo agrícola e industrial (GESTÃO NO CAMPO, 2018).

Além disso, a entidade defende o uso de B30 (30%) em máquinas e implementos agrícolas, indústria de extração mineral e geração termelétrica, e mercados regionais facultativos para o biodiesel com o B+, isto é, em regiões onde o biodiesel é mais barato que o diesel fóssil, como no interior do país, por exemplo. Os agentes distribuidores poderiam solicitar à Agência Nacional de Petróleo, gás natural e combustível (ANP) uma autorização para comercializar o combustível com uma mistura superior à obrigatória, dentro dos limites garantidos pelas montadoras, como o B20 (20%) (AGROLINK, 2015).

A Lei nº 613/2015 de 23 de março de 2016 também define diretrizes para o uso autorizativo, em quantidade superior ao percentual obrigatório. Após 12 meses, em março de 2017 a mistura obrigatória era de B8 (8%), o CNPE (Conselho Nacional de Política Energética), e a partir de março de 2018 autorizou a mistura para B10 (10%) e a partir de 01 de setembro de 2019 a mistura foi autorizada B11 (11%) (BRASIL. M.M.E., 2019).

Para grupos de consumidores específicos, a lei faculta, ainda, ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) deliberar sobre a adição voluntária de biodiesel ao óleo diesel em qualquer percentual acima do obrigatório. É o caso do uso no transporte público, no transporte ferroviário, na navegação interior, em

equipamentos e veículos destinados à extração mineral e à geração de energia elétrica, em tratores e demais veículos agrícolas (BRASIL. M.M.E., 2016).

Pereira et al. (2016) ressaltam que a energia gerada de um produto e a energia utilizada nos insumos durante o processo de produção permitem a verificação do balanço energético através da avaliação das cadeias produtivas. Com isso, a produtividade e a evolução da sociedade são avaliadas por meio de tecnologias de conversão, com a possibilidade desse processo identificar gargalos e requerimentos humanos de uso e fontes de energia. Para isso, a análise do fluxo energético exige a unificação do produto de distintas fontes e conversões de energia dos diversos insumos, tais como máquinas, equipamentos, combustível e trabalho humano, na mesma unidade calórica.

Segundo Oliveira et al. (2014) balanço energético é o parâmetro que verifica a quantidade de energia fóssil investida e a energia obtida através dos processos de produção do combustível. Seu valor é dado pela relação entre a energia obtida com o combustível e a energia gasta na sua produção. Valores superiores a 1 significam que a energia obtida é maior que a energia gasta, portanto, o balanço é positivo e a fonte viável, entretanto, valores inferiores a 1 mostram que se gasta mais energia para produzir o combustível do que se pode obter com a sua utilização, o que torna o balanço energético negativo.

A utilização do novo combustível depende, entre outros fatores, de uma relação positiva entre a energia consumida no processo de produção, e a energia disponibilizada pelo combustível produzido. É fundamental ter um balanço energético positivo para a utilização racional de derivados de biomassa como combustíveis. No Brasil, alguns estudos precursores do balanço energético na produção de biodiesel foram realizados nos anos 80, para a soja 1,4 unidades de energia são produzidas para cada unidade de consumida na produção. (BIODIESELBR, 2006).

Outros estudos chegaram a um balanço energético positivo de aproximadamente 5,6 unidades produzidas para o dendê e de 4,2 unidades produzidas para a macaúba, o que confirma o potencial das palmáceas como fonte de matéria-prima, ou seja, maior produtividade e disponibilidade de resíduos de valor energético. O Brasil dispõe de poucos estudos sobre o balanço energético do biodiesel e o tema é importante e deve ser mais bem explorado para fundamentar decisões corretas (BIODIESELBR, 2006).

O departamento de energia do laboratório nacional de energia renovável (NREL) e o departamento de agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) realizaram o primeiro estudo detalhado sobre a relação energética do biodiesel em 1998. Na ocasião, determinaram uma relação de 3,2:1 para o biodiesel proveniente do óleo da matéria prima da soja, enquanto o diesel mineral derivado do petróleo rendeu somente 0,83 unidades de energia para cada unidade da energia fóssil consumida (BLOOMINGTRADE, 2008).

Segundo Bloomingtrade (2008), uma nova análise mostra que o balanço energético do biodiesel é uma relação positiva de 3,5:1 para cada unidade de energia fóssil consumida no ciclo de produção do biocombustível, o retorno é de 3,5 unidades de energia, de acordo com uma nova pesquisa realizada em 2007 pela universidade de Idaho nos Estados Unidos, em cooperação com o departamento de agricultura dos Estados Unidos da América (USDA). O anúncio do aumento – de 3,2 para 3,5 – foi feito na Conferência e Exposição Nacional de Biodiesel em Orlando (Flórida), EUA.

As análises energéticas de um sistema agrícola objetivam avaliar as relações dos componentes do sistema com o processo de “tomar” entradas e “produzir” saídas. Este tipo de análise é de grande utilidade, pois pode indicar o potencial de um produto como fonte energética. A análise energética permite, além de estimar a energia investida na obtenção de um produto, compreender os fluxos de energia, identificar os pontos de desperdício e componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência. O autor destacou a necessidade de interferir no fluxo de energia para aprimorá-lo (FERREIRA, 2017).

A entrada de energia se dá pelo trabalho humano, transporte de insumos e produtos, manufatura das máquinas, implementos, insumos agrícolas, entre outros, cuja identificação e quantificação exata são difíceis de serem feitas. Estimativas de energia consumida em um sistema de produção agrícola passaram a ser indispensáveis no planejamento e execução de um sistema de produção (CHECHETTO et al., 2010).

Define-se balanço de energia como atividade ou instrumento destinado a contabilizar a energia disponível e a energia consumida em determinado sistema de produção. Seu objetivo principal é traduzir em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção e os intermediários, possibilitando a construção de indicadores de eficiência comparáveis entre si, que permitam a intervenção no

sistema produtivo visando melhorar a eficiência. Todavia, nem toda tecnologia usada em propriedades apresenta eficiência energética. Estudos realizados permitiram identificar espécies que tiveram balanço energético negativo (SANTOS, 2007).

Para Bueno (2002) existem diversas classificações para os fluxos energéticos contidos nos diferentes processos produtivos: diretos e indiretos, comercial e não comercial. Nos sistemas agrícolas, considerou como fontes de energia direta os combustíveis fósseis, eletricidade, gás, e mão-de-obra. A energia consumida na indústria para a fabricação de máquinas, equipamentos e insumos, é considerada entrada de energia (*input*) no sistema agrícola, sendo classificada como tipo de energia indireta.

Macedônio e Picchioni (1985) classificaram as energias em primárias e secundárias. A energia primária refere-se às fontes oriundas diretamente da natureza, como a energia luminosa do sol, energia mecânica do vento ou da água, bem como a energia química do petróleo. Já a energia secundária é provinda da energia primária, que necessita passar por um processo de transformação. No caso da energia química do petróleo, energia primária encontrada na natureza, a energia secundária será o óleo diesel, derivada do petróleo.

Comitre (1993) tipificou as energias como: energia de origem biológica, como energia composta da energia humana, animal, resíduo de animais e da agroindústria, de alimento para animais, material genético de propagação, adubação verde e cobertura vegetal morta; energia de origem fóssil como composta de produtos e subprodutos do petróleo, como combustíveis, lubrificantes, graxas, adubos químicos e agrotóxicos; energia de origem industrial como energia contida nos equipamentos agrícolas, nos tratores e na energia elétrica.

## **2.8 Balanço energético de culturas para produção de biodiesel**

### **2.8.1 Cultura de canola (*Brassica napus*)**

Gazzoni et al. (2009) concluiu que, em média, para cada tonelada de grãos de canola produzidos, são obtidos 400 kg de óleo e 600 kg de torta, sendo considerados que 1 kg de óleo de canola contém 0.038 MJ de energia. De acordo com esses valores, são necessários 2,5 kg de grãos de canola para se produzir 1 kg

de óleo, sua produtividade média de 2.200 kg.ha<sup>-1</sup> de grãos, oferece 880 kg de óleo.ha<sup>-1</sup>, com valor energético de 33.137,28 MJ.ha<sup>-1</sup>.

Ainda, para o mesmo autor a estimativa da energia fóssil gasta durante as operações agrícolas para produzir 2.200 kg.ha<sup>-1</sup> de canola foi de 12.016,45 MJ.ha<sup>-1</sup>, e a quantidade de energia fóssil, gasta durante o processamento industrial, para produzir 1 tonelada de biodiesel de canola foi de 11.054,13 MJ, totalizando 23.070,58 MJ de energia incorporada no sistema.

### **2.8.2 Cultura da mamona (*Ricinus communis*)**

Segundo Chechetto et al. (2010) a cultura da mamona (*Ricinus communis* L.) adquiriu prestígio ao interesse da indústria pela qualidade de seu óleo e, recentemente, pela busca de novas fontes de energias, sendo de fundamental importância avaliar a viabilidade energética da cultura através do balanço e da eficiência energética, desde a implantação até a produção de biodiesel, utilizando parâmetros de consumo operacional no manejo para instalação e manutenção da cultura, colheita e processamento de óleo.

As operações de manejo de solo, semeadura e colheita consumiram o total de 266,20 MJ.ha<sup>-1</sup>, que juntamente com fertilizantes, agrotóxicos, combustíveis e lubrificantes, mão-de-obra, sementes e processamento industrial totalizaram um valor de 56.808,10 MJ.ha<sup>-1</sup> de energia incorporada. A produção de energia foi de 72.814,00 MJ.ha<sup>-1</sup>. O setor ainda carece de estudos que contribuiriam para o levantamento de dados e coeficientes energéticos mais específicos. A cultura da mamona foi considerada eficiente, permitindo ganho de 15.983,44 MJ.ha<sup>-1</sup>, equivalente a aproximadamente 415 L de óleo diesel (CHECHETTO et al., 2010).

Machado (2006) afirma que a energia incorporada para produção da mamona por hectare é de 21.557,80 MJ.ha<sup>-1</sup> para o cultivo mecanizado e 19.322,10 MJ.ha<sup>-1</sup> no sistema manual. Isto indica que no sistema mecanizado, para cada unidade que entra, produz-se 1,82. No sistema manual, produz-se 1,22.

### **2.8.3 Cultura da soja (*Glycine max*)**

A eficiência cultural da produção de soja é representada, por intermédio da estrutura de dispêndios energéticos, onde entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de

energia são quantificadas e apresentadas em unidades energéticas. Relacionando a produção da soja com o itinerário técnico apresentado e para uma produtividade média de  $3.500 \text{ kg.ha}^{-1}$ , equivalentes a de 58,35 sacas por hectare, caracteriza uma energia incorporada na produção igual a  $5.415,28 \text{ MJ.ha}^{-1}$  (DELAI, 2012).

Na cultura de soja, em média, para cada tonelada de grãos são produzidos 180 kg de óleo e 820 kg de torta, sendo a quantidade de casca desprezível. Portanto, para produção de  $4.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ , obtêm-se 720 kg de óleo  $\text{ha}^{-1}$ , com valor energético de  $27.112,32 \text{ MJ.ha}^{-1}$  e uma energia incorporada de  $11.807,25 \text{ MJ.ha}^{-1}$  (GAZZONI et al., 2005).

De acordo com Felici (2006), na cultura de soja, em média, para cada tonelada de grãos, são produzidos 180 kg de óleo e 820 kg de torta, sendo a quantidade de casca desprezível. Portanto para uma produção de  $3000 \text{ kg.ha}^{-1}$ , obtêm-se uma produção de 540 kg de óleo  $\text{ha}^{-1}$ , com valor energético de  $20.347,80 \text{ MJ.ha}^{-1}$ .

De acordo com Campos et al. (2009), a fase agrícola do plantio de soja foi efetuada atendendo-se as necessidades físicas de insumos e dos coeficientes técnicos para cada operação do sistema, como o preparo do solo, semeadura, tratamentos culturais e colheita. Foi registrado o consumo por hectare e transformado em valores energéticos, obtendo uma energia incorporada de  $3.406,92 \text{ MJ.ha}^{-1}$ .

#### **2.8.4 Cultura do milho (*Zea mays*)**

Segundo Martins et al. (2015), no que se referem a análise energética, diversos autores estimaram a quantidade de energia necessária para produção de milho: Campos et al. (2004), verificaram um gasto de  $9.283,43 \text{ MJ.ha}^{-1}$  na produção de silagem, Riquetti et al. (2012), verificaram um gasto médio de  $12.050,33 \text{ MJ.ha}^{-1}$  na produção de grãos, Santos & Simon (2010), verificaram um gasto de  $9.696,97 \text{ MJ.ha}^{-1}$  na produção de grãos, Almeida et al. (2004), verificaram um gasto energético médio de  $4.593,33 \text{ MJ.ha}^{-1}$  na produção de grãos e verificou-se uma energia incorporada em média de  $14.448,75 \text{ MJ.ha}^{-1}$ .

Foi avaliado o gasto energético em 2 anos consecutivos na mesma propriedade, na safra 2001/2002; o gasto foi de  $11.270,23 \text{ MJ.ha}^{-1}$ , na safra 2002/2003 o gasto foi de  $13.771,95 \text{ MJ.ha}^{-1}$ , ambos no cultivo de milho para grãos. Lorzadeh et al. (2011), verificaram gasto de energia maior do que os demais autores,  $39.295,50 \text{ MJ.ha}^{-1}$  em cultivo de milho para grãos (MARTINS et al., 2015).

### 2.8.5 Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst)

A cultura do crambe (*crambe abyssinica* Hochst) é uma oleaginosa pertencente à família das Brassicaceae, uma planta originária da Etiópia e domesticada no mediterrâneo, cujas sementes possuem elevado teor em óleo (aproximadamente 35% em massa), sendo uma das fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil. Seu cultivo é totalmente mecanizado apresentando ciclo de 90 a 100 dias se tornando uma ótima opção para safrinha (FUNDAÇÃO MS, 2014).

A partir do ano de 2010, os agricultores brasileiros produtores de soja tem mostrado grande interesse em crambe por causa de seus baixos custos de cultivo, colheita mecanizada e porque pode ser semeada como cultura de inverno em março ou abril após a soja (FALASCA et al., 2010).

Os resultados de produtividade obtidos na safra 2006 pela FUNDAÇÃO MS no Brasil mostram uma variação de 1000 a 1500 kg.ha<sup>-1</sup> para a produção de grãos, podendo chegar próximo a 2000 kg.ha<sup>-1</sup> em ótimas condições de fertilidade do solo. O crambe é uma planta bastante rústica, com baixo custo de produção, à semelhança do nabo forrageiro e da aveia preta. Seu custo de produção variável se resume basicamente à semente (12 a 15 kg.ha<sup>-1</sup>), dessecação, operação de plantio, colheita e transporte (SANTOS,1996).

Roscoe et al. (2010) argumentaram que fatores importantes para a viabilidade da atividade do produtor rural são os custos dos insumos, a produtividade alcançada e o valor pago ao produto pela indústria. O transporte até a indústria também representa item de custo fundamental para a viabilidade da cadeia, sobretudo porque o peso específico do crambe é de 340 kg.m<sup>-3</sup>. Pelo lado da indústria, fatores importantes são os custos envolvidos na aquisição da matéria prima e no seu processamento, eficiência de extração de óleo e valores de comercialização de seus produtos e subprodutos (PITOL et al., 2010).

Para Biodiesel (2007) nos quesitos como produtividade e porcentual de óleo, o crambe vai muito bem. Segundo os dados obtidos pela Fundação MS, a produtividade varia de 1.000 a 1.500 quilos por hectare, mas em boas condições de solo e clima pode alcançar entre 1.800 e 2.000 kg/ha. “Nas circunstâncias atuais, produtividade acima de 800 kg/ha já pode apresentar viabilidade econômica”, a porcentagem média do conteúdo de óleo obtida foi de 38% no crambe, enquanto que a literatura internacional menciona de 26% a 35%.

Feroldi et al. (2012) realizando a análise energética da cultura do crambe comprovaram que a energia líquida para produção foi de 37.153,67 MJ.ha<sup>-1</sup>, resultando numa eficiência de 9,98 unidades de energia, desta forma, a cada unidade de energia aplicada na produção de crambe, a conversão é de 9,98 unidades de energia. A capacidade energética foi de 38,96 unidades de energia, ao passo que, para cada unidade usada de energia fóssil, o retorno é de 37,96 unidades de energia na produção da cultura de crambe.

Segundo Jasper et al. (2010), a produtividade do *Crambe abyssinica* Hochst foi de 1.507,05 kg.ha<sup>-1</sup>, acima do potencial produtivo de 1.400 kg.ha<sup>-1</sup>, informado no catálogo da Fundação MS, detentora da cultivar brilhante, utilizada no experimento, com 33,98% de teor de óleo, resultando numa produtividade superior a 500 L.ha<sup>-1</sup> e de acordo com os mesmos autores, verifica-se que a energia incorporada para produção do crambe foi de 41.293,17 MJ.ha<sup>-1</sup>.

## 2.9 Balanço energético de equipamentos

Bueno (2002) comenta que há dificuldades na obtenção de valores mais precisos acerca da energia contida nas máquinas, equipamentos e implementos agrícolas. Sendo assim, diversos autores trabalharam a questão de formas diferenciadas: (FAO,1976), (PIMENTEL et al.,1973), (COMITRE,1993), (MAKHJANI e POOLE,1975) e (MACEDÔNIO & PICCHIONI,1985).

De acordo com Pimentel et al. (1973), analisando a produção de alimentos e crise energética, adotaram o valor energético de 83,49 MJ.kg<sup>-1</sup> de maquinário, uma vez que, segundo os autores são necessários 1.023.902,87 MJ de energia industrial para a produção de 13 t de maquinaria agrícola, acrescido de 6% a título de reparos.

Makhijani e Poole (1975) admitem que 1 kg de bens acabados de aço equivale a 73,27 MJ, em um estudo relacionando energia e agricultura no terceiro mundo.

Costa et al. (2006), comentam que o coeficiente energético adotado para o aço inox, principal componente do tanque de resfriamento de leite, é de 79,96 MJ.kg<sup>-1</sup>.

Segundo Doering III (1980), a energia contida numa máquina agrícola é classificada em três categorias: energia contida na matéria-prima; energia contida nas peças de reparo; manutenção durante a vida útil da máquina. A soma desses três fatores é equivalente ao total calórico contido num determinado trator agrícola.

Para fabricar um trator ou demais maquinarias agrícolas é necessário um total de 87,12 MJ para cada quilo produzido, levando-se em consideração a intensidade do valor de absorção energética necessária (FAO, 1976).

Comitre (1993), realizando a avaliação energética e econômica do sistema agroalimentar de soja da região de Ribeirão Preto - SP calculou como energia indireta à de origem industrial para máquinas e implementos agrícolas somente a energia relativa ao valor adicionado na fabricação, do qual 5% são referentes ao reparo e 12%, de acréscimo de manutenção. Os coeficientes utilizados para tratores e implementos foram  $14,63 \text{ MJ.t}^{-1}$  e  $13,01 \text{ MJ.t}^{-1}$ , respectivamente. Para os pneus, o coeficiente utilizado foi de  $85,83 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . No caso de implementos agrícolas, todas as operações compreendidas até o plantio, são consideradas cultivo primário com coeficiente energético de  $8,63 \text{ MJ.t}^{-1}$ , e para as demais operações pós-plantio, ou seja, cultivo secundário, o valor foi de  $8,35 \text{ MJ.t}^{-1}$ .

Mantoam (2011) estudou a incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de cana-de-açúcar. Foram avaliadas duas colhedoras denominadas máquina 1 equipada com rodas e pneus e máquina 2 equipada com esteiras metálicas, concluindo que a energia incorporada na colhedora autopropelida de cana-de-açúcar com rodante de esteiras metálicas foi maior em relação à de rodante de rodas e pneus, durante o seu ciclo de vida útil, abordando as fases de montagem e manutenção e reparo.

O autor sugere ainda que para estudos futuros sobre energia incorporada em máquinas agrícolas à metodologia adotada deve analisar os insumos diretamente, que são propriamente as peças que compõem a máquina, priorizando as construídas, primeiramente os materiais: aço carbono, ferro fundido, aço forjado, fibra de vidro, polímeros, borracha e alumínio. Assim o coeficiente para a energia incorporada na máquina com rodas e pneus sugerida pelo autor é de  $202,60 \text{ MJ.kg}^{-1}$ .

De acordo com Doering III (1980), o autor divide a energia consumida pelas máquinas (sem os combustíveis) em: energia relativa à matéria-prima (aço, pneus, alumínio, etc.), energia relativa à manufatura (materiais e fabricação) e energia relativa à manutenção, específica para quantificar de forma mais precisa os “inputs” de energia indireta utilizadas no sistema delimitado, através da depreciação energética, segundo os dias de utilização e em função da vida útil dos equipamentos.

## 2.10 Balanço energético em edificações

Na determinação dos fluxos energéticos, principalmente nos grandes sistemas de produção, o pesquisador deve tipificar as instalações a serem utilizadas na composição dos balanços. Trabalhando com dois tipos de residências, construídas com diferentes materiais, encontraram consumo energético de  $2,09 \text{ MJ.m}^{-2}$  e  $1,01 \text{ MJ.m}^{-2}$  de área construída, respectivamente. Observaram que as paredes de tijolo cerâmico foram responsáveis por 66% do conteúdo energético total, valor este superior ao conteúdo total da residência que empregou tijolos de concreto (FERNANDES e SOUZA, 1982).

Doering III (1980) afirmou que, até a época, não havia análises dos vários tipos de estruturas empregadas no meio rural, sugerindo a utilização dos valores de  $6.264,40 \text{ MJ.m}^{-2}$  para residências e  $7.1703,14 \text{ MJ.m}^{-2}$  para construções de serviço.

Campos et al. (2003) determinaram o valor de  $0,59 \text{ MJ.m}^{-2}$  para instalações destinadas à conservação de feno, em sistema intensivo de produção de leite da Embrapa Gado de Leite, em Juiz de Fora/MG. Tomando-se como base somente a área útil (capacidade estática) para armazenagem dos fardos, este coeficiente energético seria de  $0,62 \text{ MJ.m}^{-2}$ .

Deleage et al. (1979) contabilizaram o número e a área das construções e instalações rurais utilizadas na França. Os autores utilizaram valores equivalentes energéticos de  $3.300,00 \text{ MJ.kg}^{-1}$  para trabalhos de alvenaria e  $56.100,00 \text{ MJ.kg}^{-1}$  para trabalhos com estruturas metálicas. Concluíram que, no ano de 1970, a agropecuária francesa utilizou um total de  $41.200,00 \text{ MJ}$  em construções e instalações.

De acordo com Lopes (2006), deve-se considerar a energia gasta na montagem das instalações agrícolas e industriais e na fabricação de equipamentos, daí verificar a energia gasta na fabricação do aço, nos materiais de construção, etc... Resumindo, os limites dos fluxos de energia do sistema podem ser estendidos indefinidamente.

De modo geral, o método de análise da energia embutida nos materiais de construção baseia-se nas etapas do processo de produção desse material, discriminando os eventos de consumos energéticos diretos e indiretos em cada etapa (CAMPOS, 2001).

De acordo com o mesmo autor a origem da matéria prima empregada e o processo de fabricação dos materiais de construção são alguns dos fatores prevaletentes que determinam seu custo energético.

As edificações rurais variam em tamanho e qualidade, em função da localização geográfica, do tamanho da propriedade, do nível de renda dos proprietários, cultura e tradição local e/ou familiar, do tipo de atividade a ser desenvolvida e seu nível de especialização, e do número de atividades diferentes que o agricultor desenvolve em sua propriedade (MELLO, 1986).

A origem dos materiais ou matérias-primas empregados em uma construção é um dos principais fatores que influenciam no custo energético (FERNANDES e SOUZA, 1982).

Campos et al. (2003) analisaram processos de contabilização da energia empregada em construções rurais norte americanas. Apesar de reconhecerem que há grandes diferenças entre diversos tipos de instalações e construções, sugeriram valores de  $6.260 \text{ MJ.m}^{-2}$  para residências e  $1.710 \text{ MJ.m}^{-2}$  para construções de serviço.

Para construções rurais específicas do Brasil, MELLO (1986) utilizou os valores de  $1.004 \text{ MJ.m}^{-2}$  para as residências e 0,27 vezes este valor para as edificações de serviço ( $271 \text{ MJ.m}^{-2}$ ), que é a mesma proporção entre edificações de serviço e residência.

O tempo de depreciação energético da edificação é dividido em produção, incluindo todos os processos desde a extração de matéria prima até o fim da produção na fábrica, construção, operação, manutenção e demolição. (TAVARES, 2006).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

Cabe salientar que esta tese teve como referencia e continuidade a dissertação de mestrado de Vernini (2014), no qual o objetivo da mesma foi identificar por meio de indicadores econômicos as melhores configurações entre três diferentes modelos produtivos de miniusinas de biodiesel, utilizando o óleo da cultura de Crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) como matéria prima.

Para o desenvolvimento desta tese, visando o objetivo proposto, foram utilizados os dados energéticos da fase agrícola a cultura do crambe (*Crambe abyssinica Hochst*), produzida em plantio direto obtendo-se os dados a partir de (JASPER et al., 2010).

Na etapa industrial se utilizou uma edificação de 64m<sup>2</sup> para acondicionamento das miniusinas, sendo que uma miniusina de biodiesel com capacidade de 30 litros foi utilizada como parâmetros para o levantamento dos materiais construtivos e seu dimensionamento, sendo que todos os dados obtidos foram extrapolados para as miniusinas com capacidade de 44, 66 e 110 litros.

#### **3.2 Métodos**

Para a quantificação da energia incorporada na produção de um litro de biodiesel, baseado na produção de uma batelada nas miniusinas com capacidades de 30, 44, 66 e 110 litros, foram utilizados os seguintes coeficientes energéticos.

Os valores de depreciação, tanto da edificação foram considerados 25 anos, quanto das miniusinas foram 10 anos, sendo determinados pelo método contábil de depreciação constante de acordo com a metodologia utilizada por (MANTOAM, 2011).

##### **3.2.1 Coeficientes energéticos**

**3.2.1.1 Matéria-prima necessária no processo de produção de Biodiesel utilizando cultura do crambe (*Crambe abyssinica Hochst*).**

As informações referentes à energia incorporada na fase agrícola foram obtidas do trabalho Análise Energética da Cultura do Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), produzida em plantio direto onde a produtividade foi de 1.507,05 kg.ha<sup>-1</sup>, com 33,98% de teor de óleo, resultando numa produtividade de 500L.ha<sup>-1</sup>, com energia incorporada de 41.293,17 MJ.ha<sup>-1</sup>(JASPER et al., 2010).

### **3.2.1.2 Materiais necessários na construção da edificação de 64m<sup>2</sup> utilizada para abrigar as miniusinas.**

Foi realizada uma estimativa da energia envolvida na construção da estrutura responsável para a alocação das miniusinas, consistindo de um galpão, de 64 m<sup>2</sup> (10 metros de comprimento, 6,4 metros de largura com pé direito de 4,5metros), sendo o sistema construtivo convencional considerado como rústico, sem forro, fechado em duas laterais, sem esquadrias, pintura, com instalações elétricas e hidráulicas simples e enquadrando-se no tipo de uso como construção industrial, galpão de uso geral médio. (GUIA DA CONSTRUÇÃO, 2014).

Para o levantamento dos materiais utilizados na construção empregaram-se os dados técnicos de Aço 4000 (2019), Dollabela (2019), Meyer (2019), Pini (2019), Prodetec (2019), Telhas (2019) e Zhitov (2019).

O cálculo da mão de obra necessária foi considerado em 6 pessoas trabalhando 8 horas por dia, durante 60 dias ( 22 dias uteis ao mês).

Para o cálculo da energia incorporada na edificação (fundação, paredes, piso com acabamento, estrutura do telhado e mão de obra\*), foi utilizado os coeficientes energéticos levantados pelos trabalhos de Tavares, (2006), Mantoam, (2011), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Índices de energia incorporada utilizados na edificação

Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada
		MJ/kg
Cimento	kg	4,20
Areia	kg	0,05
Pedra	kg	0,15
Cal	kg	3,00
Ferragem	kg	31,00
Arame	kg	31,00
Tijolos	kg	2,90
Aço	kg	30,00
Cerâmicas	kg	5,40
Mão de Obra	h	2,20 (MJ/h)

Fonte: Tavares, 2006 e Mantoam, 2011.

### 3.2.1.3 Materias necessários para a construção das miniusinas de 30, 44, 66 e 110 litros.

Na categoria máquinas e equipamentos, fez-se a escolha considerando o modelo apresentado nas características técnicas que são as mais adequadas às necessidades do projeto de uma miniusina, como: capacidade de produção; manutenção; prazo de entrega; assistência técnica; tecnologia eficiente e fácil de operar; e, por fim, o melhor preço do equipamento em relação a outros fornecedores. Da escolha, as que mais se adequaram às necessidades do projeto foram as miniusinas com capacidades de 30, 44, 66 e 110 litros (DE LORENZO, 2014).

Cabe salientar a dificuldade para se levantar todos os dados relativos às miniusinas com capacidades de 44, 66 e 110 litros relativos aos materiais construtivos e o seu dimensionamento, pois os fornecedores não disponibilizaram os dados solicitados.

Em função das dificuldades apresentadas, todos os cálculos basearam-se em uma planta (miniusina) com capacidade de 30 litros do fabricante De Lorenzo instalada na Faculdade de Tecnologia de Botucatu - SP (FATEC). Esta planta está equipada com quatro tanques de capacidade de 30 litros cada e um tanque de 5

litros, três motores com redutor, dois compressores, painel elétrico e estrutura metálica.

As Figuras 4 a 16 apresentam os principais componentes que foram utilizados para os cálculos referentes a planta com capacidade de 30 litros.

Figura 4 - Tanque catalizador com capacidade de 5 litros



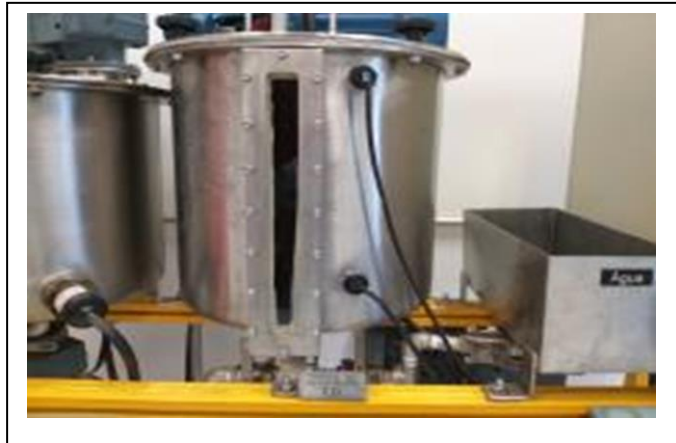
Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 5 - Tanque de entrada com capacidade de 30 litros.



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 6 - Tanque de decantação com capacidade de 30 litros.



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 7 - Tanque de decantação com capacidade de 30 litros.



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 8 - Tanque de reação com capacidade de 30 litros.



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 9 - Motor com redutor sew



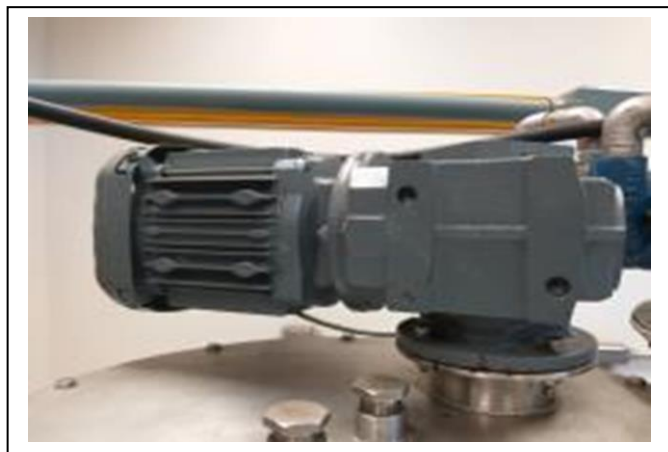
Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 10 - Motor com redutor sew



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 11 - Motor com redutor sew



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 12 - Motor weg



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 13 - Compressor



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 14 - Compressor



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 15 - Painel de controle



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Figura 16 - Estrutura da planta de Biodiesel



Fonte: De Lorenzo, 2018.

Para os cálculos da energia incorporada na categoria máquinas e equipamentos foi utilizada a metodologia baseada em Mantoam (2011), na qual foram analisados os insumos diretamente relacionados as peças que compõem a máquina, priorizando as peças construídas pelos materiais: aço inox, aço carbono, aço forjado, fibra de vidro, polímeros, borracha e alumínio; dessa forma poderá ser determinada a energia incorporada do equipamento, economizando tempo e energia com materiais que apresentam valores baixos em relação ao total de energia incorporada, que poderão deixar de serem contabilizados.

Para o cálculo da energia incorporada nas miniusinas, utilizaram-se os coeficientes energéticos levantados no trabalho de Mantoam (2011), conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Índices de energia incorporada utilizados nas miniusinas

Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg
Aço inox	kg	81,77
Ferro fundido	kg	32,66
Aço carbono	kg	51,52

Fonte: Mantoam, 2011.

Para o dimensionamento das 4 miniusinas, utilizou-se os dados técnicos, desenhos, manuais, dados de catálogos de fornecedores, instrumentos de medição e fórmulas matemáticas. Para os cálculos do tanque catalizador capacidade de 5 litros, tanque de entrada capacidade 30 litros, tanques de decantação capacidade de 30 litros e tanque de reação capacidade de 30 litros, foram utilizados as fórmulas da área, volume e massa, para o cálculo dos mesmos (INDÚSTRIA, 2019).

a) Cálculo da área:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

D- Diâmetro médio do tanque (m)

(1)

b) Cálculo da área:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2)$$

A - Área (m<sup>2</sup>)

D - Diâmetro externo (m)

d - Diâmetro interno (m)

(2)

c) Cálculo da área planificada:

$$A = \pi \cdot Dm \cdot h$$

A - Área (m<sup>2</sup>)

Dm - Diâmetro médio

h - Altura

(3)

d) Cálculo do Volume:

$$V = A \times E$$

A = Área (m<sup>2</sup>)

E = Espessura (m)

(4)

e) Cálculo da Massa:

$$M = D \times V$$

M - Massa (kg)

D - Densidade (kg/m<sup>3</sup>)

V - Volume (m<sup>3</sup>)

(5)

Primeiramente, foram calculados os volumes de todos os tanques da miniusina de 30 litros e calculado a área, volume e massa dos componentes da miniusina: tampa, flange, costado, fundo e base da mesma, mantendo como base esses cálculos, os mesmos foram extrapolados para os cálculos do volume de todos os tanques, área, volume e massa dos componentes das miniusinas: tampa, flange, costado, fundo e base para as miniusinas de 44, 66, 110 litros, sendo que na extrapolação foi mantida a similaridade geométrica “extrapolação dos resultados obtidos para as dimensões dos sistemas reais (*scale-up*), critérios que asseguram a “semelhança” de comportamento entre o modelo e o sistema real” .

#### **3.2.1.4 Insumos necessários para a produção do biodiesel.**

Para os cálculos da energia incorporada nos insumos, não foram considerados o catalizador (hidróxido de sódio NaOH), pois sua quantidade é de 1% para cada litro de biodiesel produzido, o mesmo com relação ao álcool metanol com uma porcentagem de 10% a cada litro de biodiesel, quantidade e volumes que não influenciam nos cálculos finais .Nesta etapa foram considerados a mão de obra ( um funcionário trabalhando 8 horas por dia), energia elétrica da planta ligada (agitação), durante 3horas, energia elétrica da (resistência), planta ligada durante 2 horas (VERNINI, 2014).

O processo de produção de biodiesel, através do processo de transesterificação, conforme o realizado neste estudo contempla duas importantes operações unitárias as quais ocorrem em forma simultânea no transcorrer da reação: o aquecimento e a agitação do produto.

Para efeito da quantificação da energia consumida durante estas duas operações fez-se necessário adotar um critério de extrapolação da potência consumida para as miniusinas extrapoladas a partir da miniusina com capacidade de 30 litros.

Desta forma, adotou-se manter constantes as relações entre potência e volume para as duas operações unitárias.

Assim, manteve-se para o sistema de aquecimento a mesma relação entre potência elétrica dissipada e volume útil de biodiesel. Desta forma, podem-se estimar tempos similares de aquecimento para todas as capacidades de miniusinas estudadas, conforme se considerou neste trabalho.

De forma análoga, foi mantida a relação entre potência do agitador e volume útil da miniusina para a extrapolação do processo de agitação, o qual ocorre durante todo o tempo de reação.

Segundo Joaquim Junior et al. (2007), o critério de extrapolação de potência e volume é largamente empregado em processos industriais e garante o desempenho e a eficiência da operação.

A produção das miniusinas em estudo produz uma batelada ao dia, sendo que os cálculos da energia conforme os tempos acima foram realizados em kW/L e transformados em kWh.

Para o cálculo da energia incorporada nos insumos, foram utilizados os coeficientes energéticos levantados pelo trabalho de: (Tavares, 2006) e (Mantoam, 2011), conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Índices de energia incorporada energia elétrica, mão de obra para a produção de biodiesel

Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg
Energia Elétrica	kWh	3,6
Mão de Obra	h	2,2

Fonte: Tavares, 2006.  
Mantoam, 2011

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à matéria-prima para a produção de biodiesel, foi utilizado a semente do *Crambe abyssinica* Hochst com uma produtividade de 1.507,05 kg.ha<sup>-1</sup>, com 33,18% de teor de óleo, resultando numa produtividade superior a 500 L.ha<sup>-1</sup>. Foi considerada para o cálculo a energia incorporada de 41.293,1700 MJ.ha<sup>-1</sup> (JASPER et al., 2010).

Na edificação para acondicionamento das miniusinas a energia total incorporada foi um total de 288.396,4910 MJ em sua construção, sendo que os componentes utilizados na fundação apresentaram uma participação de 46.598,36 MJ (16,16%) do total da edificação, sendo que o aço para construção contribuíram em 31.279,00 MJ (67,12%) deste total, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Componentes utilizados na fundação

Descrição	Descrição dos materiais	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
<b>Sapatas</b>	Cimento	kg	4,20	884,7	3.715,740
	Areia	kg	0,05	3.317,8	165,890
	Pedra	kg	0,15	3.170,3	475,545
	Aço construção 1/2"	kg	31,00	111,0	3.441,000
	Aço construção 3/8"	kg	31,00	71,0	2.201,000
	Arame cozido	kg	0,16	1,0	0,160
	<b>Brocas</b>	Cimento	kg	4,20	1.658,9
Areia		kg	0,05	6.220,8	311,040
Pedra		kg	0,15	5.944,3	891,645
Aço construção 1/2"		kg	31,00	555,0	17.205,000
Aço construção 1/4"		kg	31,00	113,0	3.503,000
Arame cozido		kg	0,16	1,0	0,160
<b>Viga Baldrame</b>	Cimento	kg	4,20	566,8	2.380,560
	Areia	kg	0,05	2.125,4	106,270
	Pedra	kg	0,15	2.031,0	304,650
	Aço construção 1/2"	kg	31,00	126	3.906,000
	Aço construção 1/4"	kg	31,00	33,0	1.023,000
	Arame cozido	kg	0,16	2,0	0,320
<b>Total</b>				<b>26.933,0</b>	<b>46.598,360</b>

Verifica-se que o item “componentes utilizados nas paredes”, estrutura/fechamento teve uma participação preponderante na energia incorporada na edificação 142.238,276 MJ (49,32%) do total, sendo que os itens que mais contribuíram nesta etapa foram os tijolos com 87.597,40 (61,58%), a cal com 25.675,50 MJ (18,05%) e as portas com 14.310,00 MJ (10,06%), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Componentes utilizados nas paredes

Descrição	Descrição dos materiais	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
<b>Vigas em cima da porta</b>	Cimento	kg	4,20	36,9	154,980
	Areia	kg	0,05	138,2	6,910
	Pedra	kg	0,15	132,1	19,815
	Aço construção 1/4”	kg	31,00	5,0	155,000
	Aço construção 3/8”	kg	31,00	32,0	992,000
	Arame cozido	kg	0,16	0,2	0,032
<b>Vigas em cima das janelas</b>	Cimento	kg	4,20	23,0	96,600
	Areia	kg	0,05	86,4	4,320
	Pedra	kg	0,15	82,6	12,390
	Aço construção 1/4”	kg	31,00	3,0	93,00
	Aço construção 3/8”	kg	31,00	20,0	620,00
	Arame cozido	kg	0,16	0,2	0,032
<b>Viga de amarração final das paredes</b>	Cimento	kg	4,20	147,5	619,500
	Areia	kg	0,05	553,0	27,650
	Pedra	kg	0,15	528,4	79,260
	Aço construção 1/4”	kg	31,00	26,0	806,00
	Aço construção 3/8”	kg	31,00	81,0	2511,00
	Arame cozido	kg	0,16	0,2	0,032
	Tijolos 8 furos	kg	2,90	30.206,00	87.597,400
<b>Acabamento</b>	Cimento	kg	4,20	704,9	2.960,580
	Areia	kg	0,05	805,5	40,275
	Cal	kg	3,00	8.558,5	25.675,500
<b>Portas</b>	Aço de 3m x 3m	kg	30,00	477,0	14.310,000
<b>Janelas</b>	Vitro 1,8m x 1,2m	kg	30,00	173,0	5.190,000
<b>Vitro</b>	Vidros	kg	18,50	14,40	266,400
<b>Total</b>				<b>42.476,2</b>	<b>142.238,276</b>

De acordo com a Tabela 9, o piso com acabamento obteve uma participação de 18.599,855 MJ (6,45%) do total da energia incorporada na edificação, dentre os quais o cimento 8.418,90 MJ (45,26%), as lajotas 6.566,40 (35,30%) e a ferragem 2.170,00 MJ (11,67%) respectivamente.

Tabela 9 - Componentes utilizados no piso com acabamento

Descrição	Descrição dos materiais	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
Contra piso	Cimento	kg	4,20	1.843,2	7.741,440
	Areia	kg	0,05	6.912,0	345,600
	Pedra	kg	0,15	6.604,8	990,720
	Aço construção 3/16"	kg	31,00	70,0	2.170,000
	Arame cozido	kg	31,00	0,5	15,500
Piso / acabamento	Cimento	kg	4,20	161,3	677,460
	Areia	kg	0,05	1.854,7	92,735
	Lajotas cerâmicas	kg	5,40	1.216,0	6.566,400
<b>Total</b>				<b>18.662,5</b>	<b>18.599,855</b>

Analisando a estrutura do telhado, Tabela 10, o mesmo foi responsável por 78.636,80 MJ (27,26%), distribuídos da seguinte forma, estrutura 53.760,00 MJ (68,36%) e telhas 24.876,80 MJ (31,64) da energia incorporada na edificação.

Tabela 10 - Componentes utilizados na estrutura do telhado

Descrição	Descrição dos materiais	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
<b>Estrutura</b>	Treliças, vigas "C"	kg	30,00	1.792,0	53.760,000
<b>Telhas</b>	Trapezoidal RT 40/980	kg	33,80	736,0	24.876,800
<b>Total</b>				<b>2.528,0</b>	<b>78.636,800</b>

Verifica-se que a mão de obra foi a que obteve a menor energia incorporada na edificação 2.323,20 (0,81%), conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Mão de obra utilizada na construção da edificação

Descrição	Descrição dos materiais	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/h	Quantidade h	Energia incorporada MJ
<b>Mão de Obra</b>					
<b>Total Utilizada na Edificação</b>	Mão de Obra	h	2,2	1056	2.323,200
<b>Total</b>				<b>1056</b>	<b>2.323,200</b>

Considerando a área total da edificação destinada ao acondicionamento das miniusinas (64,00m<sup>2</sup>), a energia incorporada foi de 4.506,1951 MJ.m<sup>-2</sup>; Este valor pode ser considerado menor que aquele apresentado por Doering III (1980) que é de 7.712,31 MJ.m<sup>-2</sup>, para construções de serviço e menores para residências que é de 6.260,23 MJ.m<sup>-2</sup>, esse valor divergente podem ter ocorrido em função do modelo de construção da edificação estudada.

Com relação às miniusinas e, conforme salientado anteriormente, existiu a dificuldade para se levantar todos os dados relativos às miniusinas com capacidades de 44, 66 e 110 litros relativos aos materiais construtivos e o seu dimensionamento, pois os fornecedores não disponibilizaram os dados solicitados. Em função da dificuldade apresentada, todos os cálculos basearam-se em uma planta (miniusina) com capacidade de 30 litros fabricante (De Lorenzo) existente na Faculdade de Tecnologia de Botucatu - SP (FATEC), sendo que na extrapolação foi mantida a similaridade geométrica. Verifica-se na literatura a dificuldade de encontrar estudos relacionados à energia incorporada em miniusinas, foram encontrados apenas estudos relacionados a energia incorporada em máquinas agrícolas.

Para os cálculos de volume das miniusinas, primeiramente foram calculados os volumes dos tanques relacionados a miniusina de 30 litros, sendo que esses cálculos foram extrapolados para as miniusinas com capacidade de 44, 66 e 110 litros, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Extrapolação do volume das miniusinas

	<b>Capacidade de 30 litros (Referência)</b>	<b>Capacidade de 44 litros</b>	<b>Capacidade de 66 litros</b>	<b>Capacidade de 110 litros</b>
<b>Tanque catalizador</b>	7,79 L	11,35 L	17,16 L	28,40 L
<b>Tanque de entrada</b>	33,15 L	48,62 L	72,93 L	121,50 L
<b>Tanque de decantação</b>	37,13 L	54,12 L	81,80 L	135,30 L
<b>Tanque de decantação</b>	37,13 L	54,12 L	81,80 L	135,30 L
<b>Tanque de Reação</b>	37,13 L	54,12 L	81,80 L	135,30 L

Verifica-se com relação a miniusina com capacidade de 30 litros a energia incorporada foi um total de 13.025,03 MJ em sua construção, sendo que os componentes utilizados em aço inox resultaram em uma participação de 8.768,19 MJ (67,31%) do total da miniusina e a motorização contribuiu com 1.371,72 (10,53%) da energia incorporada, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Componentes utilizados na montagem da miniusina de 30 litros

Descrição	Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
Tanque catalizador	Aço inox	kg	81,77	8,83	722,0191
Tanque de Entrada	Aço inox	kg	81,77	22,81	1.865,1737
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	25,43	2.079,4111
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	25,43	2.079,4111
Tanque de Reação	Aço inox	kg	81,77	24,73	2.022,1721
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,2400
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,2400
Motor weg	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,2400
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Painel de controle	Aço carbono	kg	51,52	9,42	485,3184
Estrutura da planta	Aço carbono	kg	51,52	36,58	1.884,6016
<b>Total</b>				<b>205,23</b>	<b>13.025,0271</b>

Analisando a miniusina com capacidade de 44 litros, Tabela 14, o aço inox foi responsável por 10.336,55 MJ (70,83%) e os compressores obtiveram 515,20 MJ (3,53%) da energia incorporada em um total 14.593,39 MJ da miniusina.

Tabela 14 - Extrapolação dos componentes utilizados na montagem da miniusina de 44 litros

Descrição	Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
Tanque catalizador	Aço inox	kg	81,77	10,94	894,5638
Tanque de Entrada	Aço inox	kg	81,77	27,37	2.238,0449
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	29,60	2.420,3920
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	29,60	2.420,3920
Tanque de Reação	Aço inox	kg	81,77	28,90	2.363,1530
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Motor weg	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Painel de controle	Aço carbono	kg	51,52	9,42	485,3184
Estrutura da planta	Aço carbono	kg	51,52	36,58	1.884,6016
<b>Total</b>				<b>224,41</b>	<b>14.593,3857</b>

De acordo com a Tabela 15, do total da energia incorporada de 17.275,44 MJ, da miniusina de 66 litros, dentre os quais a estrutura da planta corresponde 1.884,60 MJ (10,91%), do valor total da energia incorporada.

Tabela 15 - Extrapolação dos componentes utilizados na montagem da miniusina de 66 litros

Descrição	Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
Tanque catalizador	Aço inox	kg	81,77	13,58	1.110,4366
Tanque de Entrada	Aço inox	kg	81,77	32,12	2.626,4524
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	38,07	3.112,9839
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	38,07	3.112,9839
Tanque de Reação	Aço inox	kg	81,77	37,37	3.055,7449
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Motor weg	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Painel de controle	Aço carbono	kg	51,52	9,42	485,3184
Estrutura da planta	Aço carbono	kg	51,52	36,58	1.884,6016
<b>Total</b>				<b>257,21</b>	<b>17.275,4417</b>

Verifica-se que o painel de controle foi a que obteve a menor energia incorporada na miniusina de 110 litros 485,31 MJ (0,22%), do total da energia incorporada de 22.339,96 MJ conforme Tabela 16.

Tabela 16 - Extrapolação dos componentes utilizados na montagem da miniusina de 110 litros

Descrição	Entrada	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kg	Quantidade kg	Energia incorporada MJ
Tanque catalizador	Aço inox	kg	81,77	18,85	1.514,3645
Tanque de Entrada	Aço inox	kg	81,77	48,33	3.951,9441
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	51,91	4.244,6807
Tanque de decantação	Aço inox	kg	81,77	51,91	4.244,6807
Tanque de Reação	Aço inox	kg	81,77	51,21	4.187,4417
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Motor com redutor sew	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Motor weg	Ferro Fundido	kg	32,66	14	457,24
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Compressor	Aço carbono	kg	51,52	5	257,6000
Painel de controle	Aço carbono	kg	51,52	9,42	485,3184
Estrutura da planta	Aço carbono	kg	51,52	36,58	1.884,6016
<b>Total</b>				<b>320,21</b>	<b>22.339,9517</b>

Para os cálculos referentes a energia elétrica utilizada no processo de biodiesel, foi considerado energia elétrica da planta ligada (agitação) funcionando durante 3 horas e a energia elétrica da resistência, durante 2 horas, conforme a Tabela 17.

Tabela 17 - Energia elétrica utilizada no processo de biodiesel

	Descrição	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/kWh	Quantidade kWh	Energia incorporada MJ
<b>Capacidade de 30 litros</b>	Energia Elétrica da planta (Agitação)	kWh	3,6	3,36	12,10
	Energia elétrica da resistência	kWh	3,6	6,00	21,60
<b>Total</b>					<b>33,70</b>
<b>Capacidade de 44 litros</b>	Energia Elétrica da planta (Agitação)	kWh	3,6	4,93	17,75
	Energia elétrica da resistência	kWh	3,6	8,80	31,68
<b>Total</b>					<b>49,43</b>
<b>Capacidade de 66 litros</b>	Energia Elétrica da planta (Agitação)	kWh	3,6	7,39	26,60
	Energia elétrica da resistência	kWh	3,6	13,20	104,40
<b>Total</b>					<b>74,12</b>
<b>Capacidade de 110 litros</b>	Energia Elétrica da planta (Agitação)	kWh	3,6	11,12	40,03
	Energia elétrica da resistência	kWh	3,6	22,00	79,20
<b>Total</b>					<b>119,23</b>

De acordo com a Tabela 18, para o cálculo referente a mão de obra foi considerado um funcionário trabalhando 8 horas por dia.

Tabela 18 - Mão de obra utilizada no processo de biodiesel

	Descrição	Unidade	Índice de energia incorporada MJ/h	Quantidade h	Energia incorporada MJ
<b>Capacidade de 30 litros</b>	Mão de obra	h	2,2	8,00	17,60
	<b>Total</b>				<b>17,60</b>
<b>Capacidade de 44 litros</b>	Mão de obra	h	2,2	8,00	17,60
	<b>Total</b>				<b>17,60</b>
<b>Capacidade de 66 litros</b>	Mão de obra	h	2,2	8,00	17,60
	<b>Total</b>				<b>17,60</b>
<b>Capacidade de 110 litros</b>	Mão de Obra	h	2,2	8,00	17,60
	<b>Total</b>				<b>17,60</b>

Tabela 19 - Quantidade de MJ por usina para produzir 1 litro de biodiesel

	Capacidade de 30 litros (Referência) energia incorporada (MJ)	Capacidade de 44 litros energia incorporada (MJ)	Capacidade de 66 litros energia incorporada (MJ)	Capacidade de 110 litros energia incorporada (MJ)
<b>Matéria Prima Cultura do (<i>crambe abyssinica</i> Hochst)</b>	82,59 (96,63%)	82,59 (97,26%)	82,59 (97,70%)	82,59 (98,11%)
<b>Materiais necessários Edificações</b>	1,05 (1,23%)	0,72 (0,85%)	0,48 (0,57%)	0,29 (0,34%)
<b>Materiais Necessários Miniusina</b>	0,12 (0,14%)	0,09 (0,11%)	0,07 (0,09%)	0,06 (0,08%)
<b>Energia elétrica da planta de biodiesel (agitação, resistência e mão de obra)</b>	1,71 (2,00%)	1,52 (1,78%)	1,39 (1,64%)	1,24 (1,47%)
<b>Total Produção 1 LITRO de Biodiesel</b>	<b>85,47 MJ</b>	<b>84,92 MJ</b>	<b>84,54 MJ</b>	<b>84,18 MJ</b>

Analisando a Tabela 19, verifica-se que para se produzir um litro de biodiesel na miniusina de 30 litros, a energia incorporada total foi de 85,47 MJ, dentre os quais, matéria prima corresponde a 82,59 MJ (96,63%), edificações 1,05 MJ (1,23%), materiais da miniusina 0,12 MJ (0,14%) e a energia elétrica e mão de obra 1,71 MJ (2,00%)

Para a miniusina de 44 litros, a energia incorporada total foi de 84,92 MJ, dentre os quais, matéria prima corresponde a 82,59 MJ (97,26%), edificações 0,72 MJ (0,85%), materiais da miniusina 0,09 MJ (0,11%) e a energia elétrica e mão de obra 1,52 MJ (1,78%).

Verifica-se que a energia incorporada total na miniusina de 66 litros foi de 84,53 MJ a matéria prima corresponde 82,59 MJ (97,70%), edificações 0,48 MJ

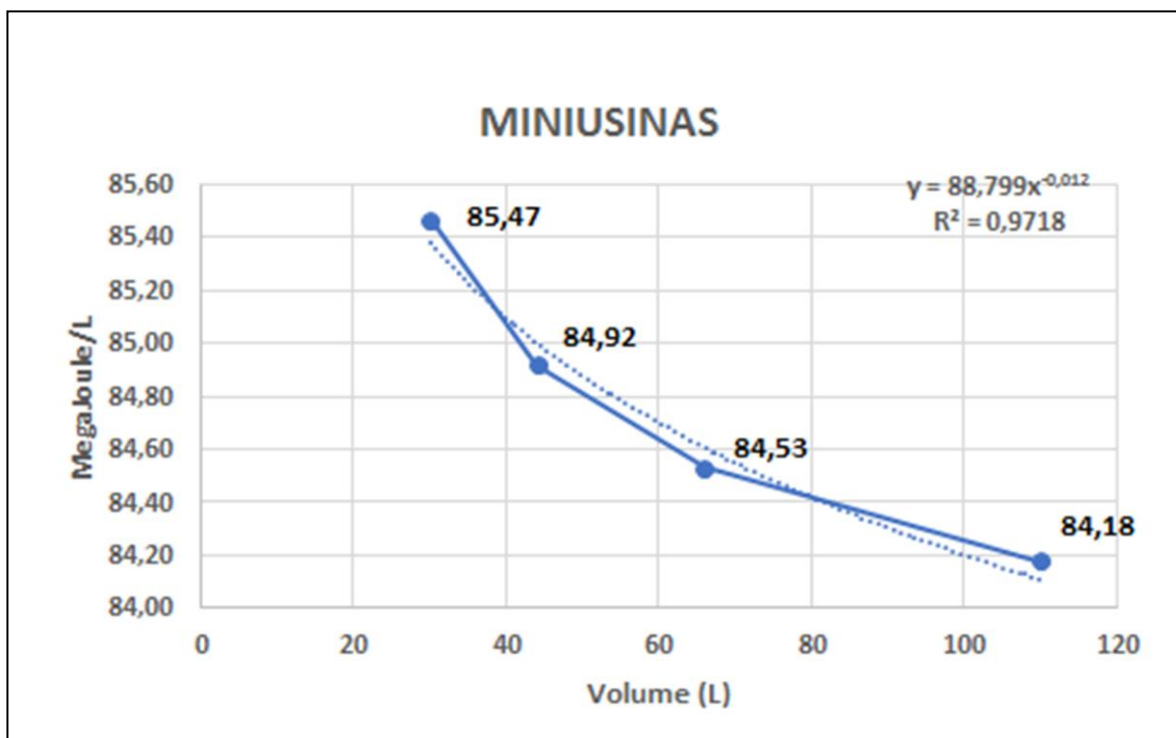
(0,57%), materiais da miniusina 0,07 MJ (0,09%) e a energia elétrica e a mão de obra 1,39 MJ (1,64%).

Com relação a miniusina de 110 litros sua energia incorporada foi de 84,18 MJ, sendo que a matéria-prima corresponde 82,59 MJ (98,11%), edificações 0,29 MJ (0,34%), materiais da miniusina 0,06 MJ (0,08%) e a energia elétrica e a mão de obra 1,24 MJ (1,47%).

Verifica-se que o item que obteve a maior energia incorporada para se produzir 1 litro de biodiesel, foi à matéria prima em um total de 82,59 MJ, em seguida foi à edificação com 31,61 MJ.

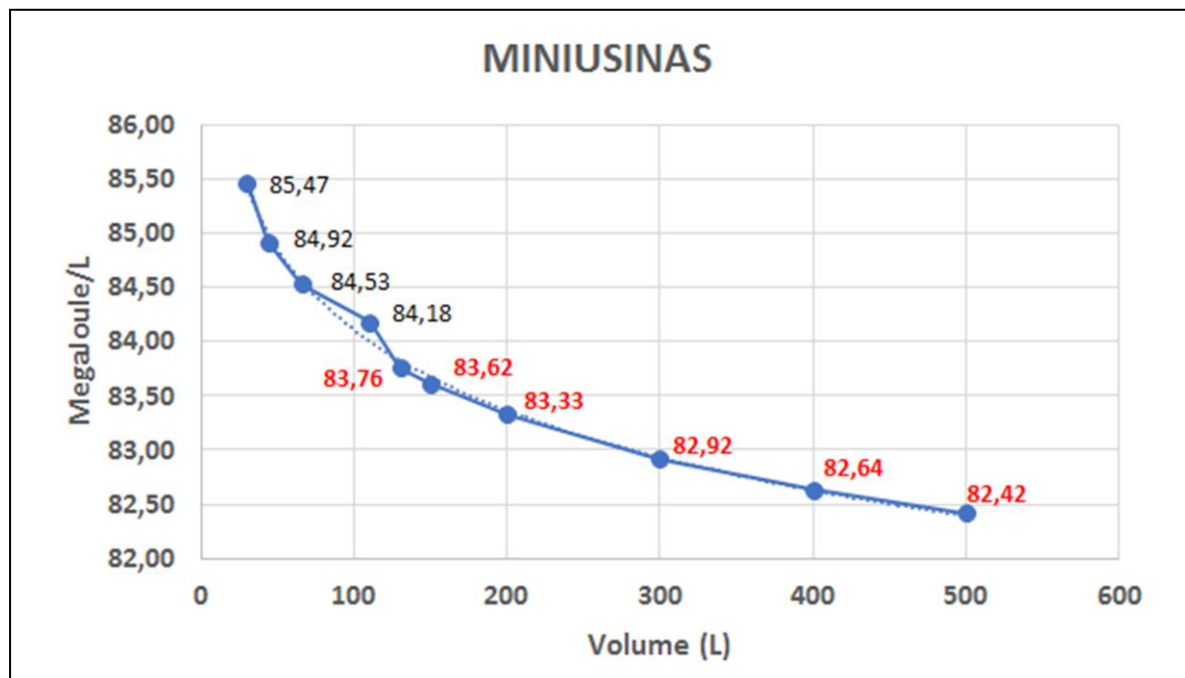
A partir dos dados extraídos foi possível traçar curva de tendência de potência estatística dos volumes nominais das miniusinas com capacidade de 30, 44, 66 e 110 litros, gerando a equação  $y = 88,799x^{-0,012}$  com um coeficiente de ajuste de  $R^2$  de 0,9718. O  $R^2$  varia entre 0 e 1, indicando, em percentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o  $R^2$ , melhor o modelo melhor ele se ajusta à amostra, conforme Figura 17.

Figura 17 - Energia incorporada em função do volume nominal das miniusinas



A partir desta equação  $y = 88,799 \cdot x^{-0,012}$  com um coeficiente de ajuste de  $R^2$  de 0,9718 também foi possível realizar a predição da energia incorporada de volumes de miniusinas com capacidade entre (110 litros a 500 litros), limitando a predição até 500 litros, pois acima deste volume a geometria dos tanques (espessura do material), motorização, compressor e estrutura da planta da planta devem ser modificados, conforme Figura 18.

Figura 18 - Predição da energia incorporada em função dos novos volumes das miniusinas



## 5 CONCLUSÃO

A partir da metodologia utilizada, foi possível determinar a energia incorporada para a produção de 1 litro de biodiesel, através da quantificação da energia incorporada na produção do plantio direto da cultura do crambe, em uma edificação de 64m<sup>2</sup> e em quatro miniusinas com capacidade de 30, 44, 66 e 110 litros para o processo de produção de biodiesel com relação ao volume batelada de biodiesel.

Conclui-se que em termos de consumo de energia incorporada a miniusina de 110 litros foi a que apresentou melhor relação para a produção de um litro de biodiesel com 84,18 MJ, comparada com as miniusinas de 30, 44 e 66 litros.

Verifica-se que o item que contribuiu com a maior energia incorporada foi à matéria prima com 82,59 MJ e a energia elétrica e mão de obra com 1,71 MJ, caracterizando como o pontos críticos de todo o processo, sendo assim deve-se analisar alternativas que consigam diminuir sua energia incorporada.

Comparando a complexidade da metodologia adotada com as disponíveis esses itens contribuíram com os maiores valores para o índice de energia incorporada obtido nesse trabalho.

A partir da equação  $y = 88,799 \cdot x^{-0,012}$ , também foi possível realizar a predição da energia incorporada de volumes de miniusinas entre 110 litros a 500 litros, desta forma foram selecionados os volumes para as miniusinas de 130, 150, 200, 300, 400 e 500 litros para realizar a predição.

Conclui-se que, em termos de consumo de energia incorporada, a miniusina de 500 litros foi a que apresentou melhor relação para a produção de um litro de biodiesel com 82,42 MJ, comparada com as miniusinas de 130, 150, 200, 300 e 400 litros e conforme apresentado na Figura 18, quanto maior é a relação do volume (batelada) da miniusina menor deva ser sua energia incorporada/litro produzido.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. L. et al. **Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes**. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37nsp/a30v37nsp.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

AÇO4000. **Tabela de produtos, pesos e medidas**. 2019. Disponível em: <<https://www.aco4000.com.br>>. Acesso em: 10 maio. 2019.

AGROLINK. **Ubrabio discute marco regulatório do biodiesel com secretário de Política Agrícola do MAPA**, 2015. Disponível em: <[http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/noticia/ubrablo-discute-marco-regulatorio-do-biodiesel-com-secretario-de-politica-agricola-do-mapa\\_221367.html](http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/noticia/ubrablo-discute-marco-regulatorio-do-biodiesel-com-secretario-de-politica-agricola-do-mapa_221367.html)>. Acesso em: 03 set. 2015.

ALBUQUERQUE, F. A. ; BELTRAO, N. M. E. ; VALE, D. G. **Análise energética do algodoeiro na agricultura familiar em diferentes regiões nos estados do Ceará e do Mato Grosso do Sul**. Campina Grande-PB: EMBRAPA, 2007.

ALMEIDA NETO, J. A. et al.; **Balanco Energético de Ésteres Metílicos e Etilícos de óleo de mamona**. In: I Congresso Brasileiro de Mamona, 7. 2004. Campina Grande. **Anais eletrônicos...** Campina Grande, 2004. Disponível em: <<http://www.uesc.br/ecodiesel>>. Acesso em: 29 jan. 2011.

ANP. Agência nacional de Petróleo. 2017. **Biodiesel**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 19 maio. 2017.

APROBIO. **Consumo de soja na produção de Biodiesel**. 2019. Disponível em: <<https://aprobio.com.br/2018/08/30/consumo-de-soja-na-producao-de-biodiesel-e-recorde/>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

BEN. Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese ano base 2019**. 2018. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2017\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf)>. Acesso em: 17 ago.2019.

BIODIESELBR. **Balanço Energético do Biodiesel**. 2006. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/biodiesel/balanco-energetico/balanco-energetico-biodiesel.htm>>. Acesso em: 25 maio. 2017.

BIODIESEL. **Crambe: Produtividade**. 2007. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/revista/009/capa-crambe-3.htm>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

BLOOMINGTRADE. **Biodiesel tem seu balanço energético revisto**. 2008. Disponível em: <<https://bloomingtrade.wordpress.com/2008/02/29/biodiesel-tem-seu-balanco-energetico-revisto/>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

BRASIL.M.M.E. Ministério de Minas e Energia. **Renováveis devem manter participação de 43% na matriz energética em 2019**. 2018. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017)>. Acesso em: 11 ago. 2019.

BRASIL, M. M. E. Ministério de Minas e Energia. **O que é biodiesel**. 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/perguntas.html>>. Acesso em: 19 maio. 2017.

BRASIL, M. M. E. Ministério de Minas e Energia. **Sancionada lei que eleva percentual de biodiesel ao óleo diesel para 8%**. 2016. Disponível em:<[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/sancionada-lei-que-eleva-percentual-de-biodiesel-ao-oleo-diesel-para-8-](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/sancionada-lei-que-eleva-percentual-de-biodiesel-ao-oleo-diesel-para-8-)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

BRASIL. **Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a Introdução do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm)>. Acesso: 10 jan.2020.

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP**. 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BUENO, O.C.; CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T. **Balanco de energia e contabilização da radiação global**: simulação e comparativo. In: *AVANCES en Ingeniería Agrícola*. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000.

CAMPOS, A.T. **Balanco energético relativo à produção de feno de coast-cross e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. 236 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAMPOS, A.T. et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. *Ciência Rural*, v. 33, n. 4, 2003. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n4, p.667-672, julho-agosto, 2003.

CAMPOS. A. T. et.al. **Análise energética da produção de soja em sistema plantio direto**. 2009. Disponível em: <<http://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/viewFile/43/83>>. Acesso em: 25 maio. 2017.

CAMPOS. T. A. et al. **Balancos energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas**. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n6/a50v34n6.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

CARMO, M.S.; COMITRE, V. Evolução do balanço energético nas culturas de soja e milho no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 29, 1991, Campinas. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1991. p.131-149.

CARMO, M.S.; COMITRE, V.; DULLEY, R.D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v.35, n.1, p.87-97, 1988.

CASTRO, N. C. de. **O programa nacional de produção e uso do biodiesel (pnpb) e a produção de matéria-prima de óleo vegetal no norte e no nordeste**. 2011. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_1613.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1613.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

CHECHETTO, R. G. et. al. **Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v41n4/v41n4a06>>. Acesso em: 19 maio. 2017.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto-SP**. 1993. 152 f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) - Faculdade de Engenharia Agrícola (FEA), Universidade Estadual de Campinas, 1993.

COSTA, R. E.; LORA, E. E. S.; YÃNEZ, E.; TORRES, E. A. **Balanço energético preliminar da produção do biodiesel de óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. Encontro de Energia no Meio Rural**. In: 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 6., 2006, Campinas. **Anais ...**Campinas: AGRENER GD, 2006.

DA SILVA, M.C. **Produção sustentável de leite bovino em área de proteção ambiental: aplicação da análise energética no município de Torre de Pedra/SP**. 2014. 178 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

DABDOUB, M.J.; BRONZEL, J.L.; RAMPIN, M.A. Biodiesel: visão crítica do status e perspectivas na academia e na indústria. **Quim. Nova**, v.32, nº3, p.776-792, 2009.

DELEAGE, J.P., JULIEN, J.M., SAUGET-NAUDIN, N., SOUCHON, C. Eco-energetics analysis of an agricultural system: the French case in 1970. **Agro-ecosystems**, v.5, p.345-65, 1979.

DELAI, J. M. **Avaliação energética e econômica da obtenção de biodiesel de soja no Oeste do Paraná**. 2012. 67 f. Dissertação (Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná "UNIOESTE", Cascavel, 2012.

DOERING III, O.C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton : CRC, 1980. p.9-14.

DOLLABELA, R. **Pesos específicos de materiais**. 2019. Disponível em: <<https://www.ricardodolabella.com/downloads/pesosespecificos.doc>>. Acesso em: 10 maio de 2019.

DURÃES, O. M. F. Agroenergia para biodiesel. **Biocombustíveis - produção e mercado no Brasil**. Passo Fundo: O Nacional, 2009.

DE LORENZO DO BRASIL. Disponível em: < <http://www.delorenzo.com.br> >. Acesso em: 02 abr. 2018.

EMBRAPA. **Biodiesel o novo combustível do Brasil**. 2018. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Folder\\_biodiesel\\_portugues\\_paginado\\_000g6u2zeyt02wx5ok0wtedt37xybybe.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Folder_biodiesel_portugues_paginado_000g6u2zeyt02wx5ok0wtedt37xybybe.pdf)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese ano base 2019**. 2018. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-81/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2017\\_Web.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-46/topico-81/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2019.

FALASCA, S. L.; FLORES, N.; LAMAS, M. C.; CARBALLO, S. M.; ANSCHAU, A. Crambe abyssinica: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 35, p. 5808-5812, 2010.

FAEP. **Biocombustíveis ganham espaço na matriz energética brasileira**. 2017. Disponível em: < <http://sistemafaep.org.br/biocombustiveis-ganham-espaco-na-matriz-energetica-brasileira/>>. Acesso em: 11 jan.2018.

FAO. **El estado mundial de la agricultura y la alimentación**. Roma: FAO, 1976. 158p.

FELICI, P. H. N. et.al. **Balanço energético das culturas de girassol e soja para produção de biocombustível**. 2006. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/469898/1/ID27011.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2017.

FERNANDES, M.P.; SOUZA, A.M.T. Balanço energético. O consumo de energia na construção civil. **Revista Brasileira de Tecnologia**, Brasília, v.13, n.3, p.22-36, 1982.

FEROLDI, M. et al. CULTIVO DO CRAMBE: POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL. 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/rber/article/view/33797/Cultivo%20do%20Crambe%3A%20Potencial%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20Biodiesel>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

FERREIRA, T. A. **Análise energética da cultura do milho para silagem irrigada por pivô central**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2017.

FUNDAÇÃO MS. Disponível em: <<http://www.fundacaoms.org.br/produto/crambe>> . Acesso em: 29 maio.2014.

GAZZONI, D. L. et.al. **Balanco energético das culturas de girassol e soja para produção de biodiesel**. 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/01-035-B&E-2005-p259-265.pmd.pdf>> . Acesso em: 23 maio. 2017.

GAZZONI, D. L. et. al. **Balanco energético da cultura da canola para a produção de biodiesel**. 2009. Disponível em: <<http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/11/EE011-04.pdf>>. Acesso em: 19 maio. 2017.

GESTÃO NO CAMPO. **Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético**. 2018. Disponível em: <<http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/producao-de-biocombustiveis-a-questao-do-balanco-energetico/>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

GUIA DA CONSTRUÇÃO. Disponível em: <<http://www.guiadaconstrucao.pini.com.br/cupe-sao-paulo-fev-2014/custos-unitarios-pini-de-edificacoes-cupe-sao-paulo-sp-fev-2014/816>> . Acesso em: 08 abr. 2014.

HART, R. D. Una metodologia para analizar sistemas agrícolas en terminus energéticos. In: HART, R. D.; JIMENEZ, T.; SERPA, R. **Analisis energetico de sistemas agrícolas**. Turrialba, Costa Rica: UCR/CATIE, 1980.

HESLES, J. B. S. **Objetivos e princípios da análise energética, análise de processos industriais: métodos e convenções**. Rio de Janeiro: Preprint AIE-COPPE/UFRJ, 1981.

INDÚSTRIA. **Como calcular a densidade**. 2019. Disponível em:<<https://industriahoje.com.br/como-calcular-densidade>>. Acesso em: 10 de maio. 2019.

JASPER, S. P. et al. **Análise energética da cultura do crambe (crambe abyssinica hochst) produzida em plantio direto**. 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/5007/S0100-69162010000300004.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 maio. 2017.

JIMENEZ, T.; JIMENEZ, G. Agroecosistema cana de azucar. In: HART, R. D., JIMENEZ, T., SERPA, R. **Analisis energetico de sistemas agrícolas**. Turrialba, Costa Rica: CR/CATIE, 1980.

JOQUIM JUNIOR, C.F. et. al. **Agitação e mistura na indústria**. Rio de Janeiro. LTC 2007.

JOQUIM JUNIOR, C.F. **Estudo tecnológico do processo produtivo de biodiesel**. Relatório de Pesquisa da Faculdade de Tecnologia de Botucatu – FATEC. 2010.

LOPES, E.M. **Análise energética e da viabilidade técnica da produção de biodiesel a partir de sebo bovino**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestre em Ciências

da Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, 2006.

LORZADEH, S. H.; MAHDAVIDAMGHANI, A.; ENAYATGHOLIZADEH, M. R.; YOUSEFI, M. Energy input-output analysis for maize production systems in Shooshtar, Iran. **Advances in Environmental Biology**, Maringá, v. 11, n. 5, p. 3641-3644, 2011.

LUCEMA, T.K. **O Biodiesel na matriz energética brasileira**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, 2004.

MACEDÔNIO, A.C.; PICCHIONI, S.A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. V.1, 95p.

MACHADO, R. et al. **Balanço energético na cultura da mamona para a produção de biocombustível**. 2006. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88484/1/ID-27012.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MALASSIS, L. **Economie Agro-alimentaire I: economie de la consommation et de la production agro-alimentaire**. Paris: Ed. Cujas, 1973.

MANTOAM, E. J. **Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de cana-de-açúcar**. 2011. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

MAKHIJANI, A.; POOLE, A. **Energy and agriculture in the third world: a report to the Energy Policy Project of the Ford Foundation**. Cambridge: Ballinger, 1975. 168 p.

MARCHETTI, J.M.; MIGUEL, V.U.; ERRAZU, A.F., Possible Methods for Biodiesel Production. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v.11, p.1300-1311, 2007.

MARTINS, F. G. L. et.al. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v. 30, n.4, p.418-428, outubro-dezembro, 2015.

MEIRELLES, F.S. **Biodiesel**. Brasília. 2003. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/econômico/EstArtigos/>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MELLO, R. **Análise energética de agroecossistemas: O caso de Santa Catarina**. Florianópolis, 1986. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.

MENDES, D. B. **Glicerina: Uma abordagem sobre a produção e o tratamento**. 2012. Disponível em:

<<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0107121220302827.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MEYER, R.F.T. **ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland**. 2019. Disponível em: <[https://cimento.org/wpcontent/uploads/2010/06/M\\_OBRA.pdf](https://cimento.org/wpcontent/uploads/2010/06/M_OBRA.pdf)> . Acesso em: 10 maio. 2019.

MING, C. **À procura do grão ideal. biocombustíveis em foco**. Ano 1, n. 2, fev. 2009. Disponível em: <[http://www.iica.org.br/Docs/Publicacoes/Agronegocio/2009/Biocombustiveis\\_em\\_FOCO-Anol-N002.pdf](http://www.iica.org.br/Docs/Publicacoes/Agronegocio/2009/Biocombustiveis_em_FOCO-Anol-N002.pdf)> . Acesso em: 15 jan. 2018.

NETO, J. A. A. et.al. 2004. **Balanco Energético de Ésteres Metílicos e Etílicos de óleo de mamona**. I Congresso Brasileiro de Mamona, 2004.

OLIVEIRA, L. M. SERRA, J.C.V.; OLIVEIRA, K.B.M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. **Geoambiente**, Jataí-GO, n. 22, janeiro-junho, 2014.

PARENTE, E.J. S. de. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza. Tecbio/Nutec, 2003.

PEREIRA, N. et. al. Balanço energético de biocombustíveis. **Revista unioeste acta iguazu**. Cascavel, v.5, n.2, p. 84-93, 2016.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: Crambe**. 2010. Maracaju: Fundação MS, 2010.

PIMENTEL, D., HURD, L.E.L., BELLOTTI, A.C., FORSTER, M.J., OKA, I.N., SHOLES, O.D., WHITMAN, R.J. **Food production and the energy crises**. *Science (Washington)*, v.182, p.443-9, 1973.

PINI, **Revista da construção**. 2019. Disponível em: <<https://construcaomercado17.pini.com.br/negocios/108/artigo299408-1.aspx>>. Acesso em: 10 maio. 2019.

PNPB. **Programa nacional de produção e uso do biodiesel**. 2017. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-que-%C3%A9-o-programa-nacional-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-do-biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 19 maio. 2017.

PORTAL BRASIL. **Nova medida do marco regulatório do biodiesel vai impulsionar agricultura familiar**, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/05/diesel-tera-maior-adicao-de-biodiesel>>. Acesso em 03 set. 2015.

PRODETEC. Pesos específicos de materiais. 2019. Disponível em: <[http://www.prodetc.com.br/downloads/pesos\\_especificos.pdf](http://www.prodetc.com.br/downloads/pesos_especificos.pdf)>. Acesso em: 10 maio. 2019.

- QUINTELLA, C.M.; TEIXEIRA, L.S.G.; KORN, M.G.A.; NETO, P.R.C.; TORRES, E.A.; CASTRO, M.P.; JESUS, C.A.C. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, v.32, n°3, p.793-808, 2009.
- RATHKE, G.W. et al. Tillage and rotation effect on corn–soybean energy balances in eastern Nebraska. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, n. 97 ,p.60–70, 2007.
- RIQUETTI, N. B.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Demanda energética em diferentes manejos de solo e híbridos de milho. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.27, n.2, p. 76-85, 2012.
- RISOUD, B. Developpement durable et analyse energetique d'exploitations agricoles. **Economie Rurale**, Franca, n.252, p.16-27, juillet-aout, 1999.
- ROSCOE. R. et al. **Análise de sensibilidade dos modelos agrícola e industrial de utilização do óleo de crambe na cadeia produtiva de biodiesel em mato grosso do sul**. 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18347/1/ECP-12.pdf> >. Acesso em: 19 jan. 2018.
- SANTOS, W. Crambe Oil Makes Moves Into Rape seed Oil Territory. Chemical Marketing Reporter. Schnell Publishing Company, New York, NY, April 1, 1996.
- SANTOS, C. A. **Biodiesel**: uma análise de custos de produção. Monografia. UFSC. Florianópolis, 2008. Disponível em: < <http://tcc.bu.ufsc.br/Economia292168> > Acesso em: 10 set.2015.
- SANTOS, P. H. dos. et al. **Efeito de práticas culturais na conversão e no balanço energéticos**. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/brag/v66n2/14.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2018.
- SANTOS, P. H. et al. Disponível em: **Avaliação de práticas culturais na conversão e no balanço energético**. 2011. Disponível em: <[http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=agraria\\_v6i4a1366&path%5B%5D=1016](http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewFile&path%5B%5D=agraria_v6i4a1366&path%5B%5D=1016)>. Acesso em: 11 jan. 2018.
- SANTOS, R. R. DOS; SIMON, E. J. Análise energética do milho em sistema de plantio direto, no assentamento rural da fazenda Pirituba, Itaberá/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 121-137, 2010.
- SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.51, n.3, p.301-10, 1994.
- SILVA, P. R. F. da.; FREITAS, T. F. S de. Biodiesel: O ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n. 3, maio-junho, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/cr/v38n3/a44v38n3.pdf>>. Acesso em: 15 jan.2018.
- SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p.80-89, 1999.

SOUZA, F. P. A. de. et al. **Estudo de viabilidade de implantação de uma micro usina produtora de biodiesel na micro região de campo mourão**. Disponível em: <[http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2007/anais/ana\\_paula\\_felipe\\_de\\_souza1.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2007/anais/ana_paula_felipe_de_souza1.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2018.

SUAREZ, P. A. Z, et al. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Instituto de Química, Universidade de Brasília**, Brasília, DF, v. 32, n. 3, mar. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S0100-40422009000300020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0100-40422009000300020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em 15 jan. 2018.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TÁVARA, F.L. **Biodiesel e proposta de um novo marco regulatório: Obstáculos e Desafios**, 2012. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-116-biodiesel-e-proposta-de-um-novo-marco-regulatorio-obstaculos-e-desafios>>. Acesso em 03 set. 2015.

TELHAS, R. Catálogo de produtos, coberturas metálicas. 2019. Disponível em: <<http://www.regionaltelhas.com.br/>>. Acesso em: 10 maio. 2019.

UBRABIO. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel**. 2018. Disponível em: <[http://www.ubrablo.com.br/1891/textos/programanacionaldeproducaodebiodiesl\\_29608/](http://www.ubrablo.com.br/1891/textos/programanacionaldeproducaodebiodiesl_29608/)>. Acesso em: 9 jan. 2018.

VASCONCELOS, Gilberto Felisberto. **A Salvação da Lavoura** – Receita de fartura para o povo brasileiro. 2ª. ed. São Paulo: Casa Amarela, 2002.

VERNINI, A.A. **viabilidade econômica de três miniusinas para produção de biodiesel utilizando como matéria prima o óleo de crambe (crambe abyssinica Hochst)**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

ZHITOV. **Cálculo da quantidade de cimento, areia e cascalho para fazer concreto**. 2019. Disponível em: <<http://www.zhitov.ru/pt/beton/>>. Acesso em: 10 maio. 2019.