



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

ANTONIO ALISON DA SILVA MAMEDE

**AVALIAÇÃO TERMODINÂMICA DA PRODUÇÃO DE BLENDS DE
BIODIESEL DE SOJA E BABAÇU PARA O APROVEITAMENTO DA
EXERGIA**

ACARAPE

2017

ANTONIO ALISON DA SILVA MAMEDE

**AVALIAÇÃO TERMODINÂMICA DA PRODUÇÃO DE BLENDS DE
BIODIESEL DE SOJA E BABAÇU PARA O APROVEITAMENTO DA
EXERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energias.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ada Amélia Sanders Lopes

Co-Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Maria Alexandra Sousa Rios

ACARAPE

2017

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira
Direção de Sistema Integrado de Bibliotecas da UNILAB (DSIBIUNI)
Biblioteca Setorial Campus Liberdade
Catalogação na fonte**

Bibliotecário: Gleydson Rodrigues Santos – CRB-3 / 1219

M231a

Mamede, Antonio Alison da Silva.

Avaliação termodinâmica da produção de blends de biodiesel de soja e babaçu para o aproveitamento da exergia. / Antonio Alison da Silva Mamede. - Acarape, 2017.

52f : il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias - Semestral, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2017.

Orientadora: Profa. Dra. Ada Amélia Sanders Lopes.
Inclui figuras, tabelas e referências.

1. Biodiesel - Brasil. 2. Energia. 3. Exergia. Título.

CDD 338.476655384

ANTONIO ALISON DA SILVA MAMEDE

**AVALIAÇÃO TERMODINÂMICA DA PRODUÇÃO DE BLENDA DE
BIODIESEL DE SOJA E BABAÇU PARA O APROVEITAMENTO DA
EXERGIA**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 21/12/2017.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Ada Amélia Sanders Lopes (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Profa. Dra. Sílvia Helena Lima dos Santos

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Profa. Dra. Maria Alessandra de Sousa Rios (Coorientadora)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha tia Sudília (*in memoriam*).
À minha mãe, ao meu pai e à minha avó.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, Francisco José Arcênio Mamede e Maria de Fátima da Silva Mamede, minha Avó, Raimunda Arcênio Mamede, minhas irmãs, Larissa Mamede e Linny Ely Mamede, pela confiança que depositaram em mim durante todos esses anos, me possibilitando chegar até aqui. À minha Tia Maria de Lurdes (tia Sudilia), que sempre se dispôs em me ajudar a alcançar meus objetivos e realizar meus sonhos: hoje ela não está ao meu lado, mas sempre estará presente no meu coração.

À professora Dra. Ada Amélia Sanders pela confiança e pela orientação, sendo paciente, se dispondo em ajudar, partilhar conhecimento. À professora Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios, pela oportunidade de trabalhar no Laboratório de Referência em Biocombustíveis (LARBIO) e sua disponibilidade em ajudar no desenvolvimento do trabalho.

À Rosali Marques, estagiárias do laboratório, pelo empenho e dedicação, por todo auxílio prestado na execução dos experimentos e por tornarem meu tempo no laboratório mais agradável.

Aos meus amigos, professores e técnicos do curso de Engenharia Energia que contribuíram ao longo dessa trajetória acadêmica.

“É graça divina começar bem. Graça maior é persistir na caminhada certa. Mas a graça das graças é não desistir nunca.” (Dom Helder Camara).

RESUMO

Uma das maiores fontes de impacto ambiental no mundo está diretamente relacionada às emissões de gases de escape, resultante da frota de veículos. Diante disso a conscientização ambiental e a crescente procura por fontes alternativas de energias têm sido cada vez mais crescentes nos últimos anos. Nesse contexto a produção de biocombustíveis apresenta-se como uma alternativa para minimizar impactos relacionados ao meio ambiente, energia e economia, podendo-se destacar o biodiesel. No Brasil, a soja é atualmente a matéria-prima mais utilizada no processo de produção do biodiesel, uma alternativa para otimizar a cadeia produtiva do biodiesel no país, seria a diversificação no uso das matérias-primas, dentre as variadas oleaginosas existentes, o babaçu seria uma boa opção, diante a sua grande produtividade em algumas regiões brasileira. Na escala de produção do biodiesel, os aspectos como matéria-prima e condições operacionais estão relacionados às eficiências energéticas e exergeticas. Diante disso, nesse trabalho realizou-se a análise de exergia no processo de produção de Biodiesel de Soja (BS) e Biodiesel de babaçu (BB), conduzida em reator batelada em escala de bancada. A partir dos biodieseis, foram produzidas blendas em três diferentes proporções: 75/25, 50/50, 25/75 (BS/BB) onde também foi realizada a análise exergetica das misturas. Além da exergia, foi averiguado algumas características físico-químicas dos biodieseis e das blendas, utilizando-se como padrão de conformidade os parâmetros adotados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), de acordo com a Resolução ANP N° 45, de 25.8.2014. Com base nos resultados, o biodiesel com uma melhor eficiência exergetica foi o biodiesel de babaçu (78,20%), dentre as blendas, a proporção com melhor desempenho exergetico (76,76%) foi a de 25/75 (BS/BB). Na análise das especificações, o parâmetro que ficou em desconformidade com o exigido pela ANP foi estabilidade oxidativa tanto dos biodieseis como das blendas, ficaram inferior a 8h, limite estabelecido pela norma, este resultado era esperado e para ser melhorado, devem ser adicionados antioxidantes. Portanto conclui-se que a partir da análise de exergia o biodiesel de babaçu é uma alternativa viável para produção de biodiesel, além de ajudar a diversificar o uso da matéria-prima, contribui para o aperfeiçoamento e otimização dos processos através do bom desempenho exergetico.

Palavras-chave: Biodiesel, blendas, energia e exergia.

ABSTRACT

One of the largest sources of environmental impact in the world is directly related to the emissions of exhaust gases, resulting from the fleet of vehicles. Given this, environmental awareness and the growing demand for alternative sources of energy have been increasing in recent years. In this context, the production of biofuels presents itself as an alternative to minimize impacts related to the environment, energy and economy, with the possibility of highlighting biodiesel. In Brazil, soybean is currently the most used raw material in the biodiesel production process, an alternative to optimize the biodiesel production chain in the country, would be the diversification in the use of raw materials, among the various existing oleaginous, babaçu would be a good option, given its high productivity in some regions of Brazil. In the biodiesel production scale, aspects such as raw material and operational conditions are related to energy and exergetic efficiencies. In this work, the exergy analysis was carried out in the production process of Soybean Biodiesel (BS) and Babaçu Biodiesel (BB), conducted in a batch reactor on a bench scale. From the biodiesels, blends were produced in three different proportions: 75/25, 50/50, 25/75 (BS / BB), where the exergy analysis of the blends was also performed. In addition to the exergy, some physical and chemical characteristics of biodiesels and blends were investigated using the parameters adopted by the National Petroleum, Natural Gas and Biofuels Agency (ANP), according to ANP Resolution 45, of 25.8.2014. Based on the results, Babaçu biodiesel (78.20%) was the best exergetic efficiency among the blends, the proportion with the best exergetic performance (76.76%) was 25/75 (BS / BB). In the analysis of the specifications, the parameter that was not in compliance with the one required by the ANP was oxidative stability of both biodiesels and blends, were less than 8h, limit established by the norm, this result was expected and to be improved, antioxidants must be added. Therefore, it is concluded that, based on the exergy analysis, babaçu biodiesel is a viable alternative for biodiesel production, besides helping to diversify the use of the raw material, it contributes to the improvement and optimization of the processes through the good exergetic performance.

Keywords: Biodiesel, blends, energy and exergy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta Interna de Energia.....	18
Figura 2 – Reação de Transesterificação de um triglicerídeo.....	19
Figura 3 – Matérias-primas utilizadas para produção de Biodiesel no Brasil.....	21
Figura 4 – Aparato reacional com temperatura controlada.....	34
Figura 5- Processo de separação: biodiesel e glicerina.....	34
Figura 6 – Secagem do biodiesel com controle de temperatura.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Química do Óleo de Soja.....	21
Tabela 2 – Composição Química do Óleo de Babaçu.....	23
Tabela 3 - Reagentes, soluções e equipamentos utilizados no trabalho.....	32
Tabela 4 – Normas regentes para os ensaios realizados.....	38
Tabela 5 – Composição Elementar.....	40
Tabela 6 - Valores de PCS e PCI dos Biodieseis e Óleos de Soja e babaçu.....	40
Tabela 7 – Exergia dos Equipamentos.....	41
Tabela 8 – Exergia dos Reagente Utilizados para biodiesel de Soja.....	41
Tabela 9 – Exergia dos Reagente Utilizados para biodiesel de Babaçu.....	42
Tabela 10 – Exergia dos produtos obtidos na produção de Biodiesel de Soja.....	42
Tabela 11 – Exergia dos produtos obtidos na produção de Biodiesel de Babaçu.....	42
Tabela 12 – Exergia dos Reagentes das Blendas (B.S/B.B).....	43
Tabela 13 - Exergia Química dos Produtos das Blendas (B.S/B.B).....	43
Tabela 14 – Eficiência exergética no processo de produção do biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB).....	44
Tabela 15 – Eficiência exergética das blendas de biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB).....	44
Tabela 16 – Caracterização físico-química do biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB).....	45

LISTA DAS PRINCIPAIS SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANVISA - Agência Nacional da Vigilância Sanitária

AOCS - *American Oil Chemists' Society*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

BB - Biodiesel de Bagaço

BS - Biodiesel de Soja

BS/BB - (25/75) 25% de Biodiesel de Soja e 75% de Biodiesel de Bagaço

BS/BB - (50/50) 50% de Biodiesel de Soja e 50% de Biodiesel de Bagaço

BS/BB - (75/25) 75% de Biodiesel de Soja e 25% de Biodiesel de Bagaço

BS/BB - Biodiesel de Soja e Biodiesel de Bagaço

EM - *European Standard*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LARBIO - Laboratório de Referência em Biocombustíveis Professor Expedito Parente

MME - Ministério de Minas e Energia

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos Gerais.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Cenário Energético Brasileiro	17
3.2 Biodiesel.....	19
3.2.1 Aspectos gerais, características e conceitos	19
3.2.2 Matérias-primas para produção dos Biodieseis.....	20
3.2.2.1 Óleo de Soja	20
3.2.2.2 Óleo de Babaçu.....	22
3.3 Blendas de Biodiesel	23
3.4 Especificações físico-químicas do Biodiesel.....	25
3.4.1 Índice de Acidez.....	25
3.4.2 Massa Específica	25
3.4.3 Teor de Umidade.....	26
3.4.4 Estabilidade Oxidativa.....	26
3.5 Exergia: conceitos e aplicações.....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Reagentes e Equipamentos utilizados	32
4.2 Produção de Biodiesel de Soja e Babaçu.	32
4.2.1 Reação de Transesterificação	32
4.2.2 Lavagem	35
4.2.3 Secagem	35
4.3 Blendas de Soja e Babaçu	36

4.4	Análise da Eficiência Exergética	36
4.5	Caracterização Físico-química	38
4.3.1	<i>Índice de Acidez</i>	38
4.3.2	<i>Massa Específica</i>	38
4.3.3	<i>Teor de Umidade</i>.....	38
4.3.4	<i>Estabilidade Oxidativa</i>.....	38
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Análise exergética em escala laboratorial	40
5.2	Análise Físico-química dos biodiesel.	44
6.	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a maior parte da energia do mundo ainda provém de fontes como petróleo, gás natural e carvão. Por serem consideradas fontes não renováveis, existe a possibilidade de futuramente ocasionar um esgotamento. Além disso, esses tipos de combustíveis são bastante poluidores e impactantes ao meio ambiente, o que motiva a população de todo o mundo a buscar soluções para minimizar e até mesmo erradicar esses impactos ambientais significativos.

Dentre as alternativas encontradas para solucionar esse tipo de problema, destaca-se as pesquisas relacionadas sobre as matérias-primas renováveis e capazes de produzir combustíveis, como por exemplo, o biodiesel.

O uso de biodiesel cresce de forma significativa em todo o mundo, pois apresenta uma cadeia produtiva com potencial bastante promissor em distintos setores como economia, social e ambiental. Desta forma este biocombustível abre oportunidades de geração de empregos no campo, valorizando a mão de obra rural, bem como no setor industrial corroborando na produção do combustível (HOLANDA, 2004).

No Brasil, a soja é a principal matéria prima utilizada para produção de biodiesel, apesar de ser considerada, por diversos fatores, o melhor produto para o processo de produção, existem outras diversas plantas de caráter oleaginosas, passível a produção. A diversificação de matéria-prima seria uma alternativa viável para alavancar o setor de produção e amenizar a concorrência com o mercado alimentício que é disputado pela soja. Uma opção, seria a exploração do Coco Babaçu para a produção de Biodiesel. No Brasil ainda não há registro de utilização do Babaçu para fins produtivos de biodiesel, mas diante da sua ampla cadeia produtiva em diferentes regiões, seria viável a sua utilização para essa atividade

A utilização desse tipo de fonte de energia alavanca vários benefícios e as pesquisas relacionadas à sua produção devem ser desenvolvidas para melhorar a cadeia produtiva do biodiesel. A busca por melhor aproveitamento de recursos energéticos, é um desafio constante no âmbito industrial, que é motivada tanto por questões econômicas como ambientais. Pode-se considerar que o maior custo de uma indústria está diretamente ligado ao

emprego de seus recursos energéticos. Desta forma, é necessário que a indústria saiba aperfeiçoar cada vez mais o aproveitamento de energia. Ressalta-se uma alternativa apresentada através da Termodinâmica, no qual, apresenta a real capacidade da realização do trabalho mecânico máximo, no qual se denomina como exergia.

Exergia também chamada de análise de segunda lei, ou análise da disponibilidade termodinâmica, como conceito geral, designa a capacidade que um sistema ou um processo têm para realizar trabalho útil. Pode pensar-se em exergia como sendo a máxima energia “útil” passível de ser “extraída” do sistema ou processo (OLIVEIRA, 2010). Desta forma, através deste trabalho pode-se melhorar o entendimento sobre a dinâmica de produção do biocombustível, verificar e quantificar as perdas e também indicar quais melhorias pode ser estabelecido para a eficiência produtiva do biodiesel.

O método de análise da exergia é particularmente apropriado para maximizar o objetivo de um uso eficiente de energia, já que ele permite a determinação de rejeitos e perdas em termos de localização, tipo e valores reais (MORAM & SHAPIRO, 2006). Isto é possível uma vez que este conceito está intimamente ligado aos fundamentos da 2ª Lei da Termodinâmica.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de referência em biocombustíveis Professor Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado na Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada em escala laboratorial, a produção dos Biodieseis de Soja e Babaçu. Inicialmente, os óleos foram transesterificados via catálise básica, com metanol como agente transesterificante, onde foram obtidos biodieseis e glicerina. Após a produção do biodiesel foi possível obter diferentes proporções de blendas e analisar as exergias dos processos, no intuito de verificar a eficiência exergética. Também foram realizados ensaios físico-químicos para verificar a adequação dos biocombustíveis em relação às especificações da Resolução ANP nº 45/2014.

Este trabalho teve como motivação principal, analisar a exergia no processo de produção de biodiesel a partir das matérias-primas vegetais (soja e babaçu), com finalidade de avaliar a eficiência exergética de cada etapa do processo, a fim de contribuir para o atual contexto de sustentabilidade e fomentar o desenvolvimento de fontes de energias renováveis. Neste sentido, foram preparadas três diferentes proporções de blendas, onde foi possível deter

da melhor eficiência exergética e verificar se os biodieseis, através das combinações, estavam de acordo com as especificações da Resolução da ANP.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho teve como objetivos gerais: realizar o processo de síntese de produção das blendas dos biodieseis de soja e babaçu e investigar a perda ou o consumo exergético real da rota desta produção e matérias primas usadas para a produção de biodiesel. Em outros termos, objetivou identificar a máxima eficiência exergética que seria atingida pela reação de transesterificação de triglicerídeos.

2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer e identificar de forma detalhada as etapas dos processos de produção de biodiesel de soja e babaçu, em escala de bancada;
- Produzir e caracterizar o biodiesel de óleo de soja e babaçu por transesterificação;
- Obter as blendas de biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB);
- Realizar a análise de eficiência exergética nos processos de produção de soja, babaçu e das blendas;
- Avaliar e comparar as propriedades físico-químicas das blendas com os parâmetros estabelecidos na Resolução ANP N° 45 de 25.8.2014.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cenário Energético Brasileiro

A energia tem grande importância no planejamento e desenvolvimento de um país. O setor energético está diretamente ligado às políticas de desenvolvimento econômico, social e ambiental de uma nação. (ARAUJO, 2013)

De acordo com a Aneel (2008), o consumo energético pode ser utilizado como um indicador para o crescimento econômico e social de uma sociedade. A demanda de energia contribui de forma significativa para o ritmo das atividades dos setores industriais e comerciais como também para concessão de bens e serviços por parte da sociedade, como automóveis, eletrodoméstico e eletroeletrônico com tecnologias mais avançadas, onde exige acesso à rede elétrica e demandam um aumento no consumo de energia elétrica.

Diante da importância do cenário energético de um país, qualquer crise nesse setor pode causar efeito no desenvolvimento das atividades e nos custos de produtividade de uma região.

Atualmente, a maior parte da energia do mundo ainda provém de fontes como petróleo, gás natural e carvão. Por serem consideradas fontes não renováveis de energia, existe a possibilidade de futuramente ocasionar um esgotamento, causar variações de preços do produto e dos seus derivados nos mercados internacionais.

Além disso, esses tipos de combustíveis são bastante poluidores e impactantes ao meio ambiente, considerado um dos maiores responsáveis pelo aquecimento global e suas consequências (ARAUJO, 2013)

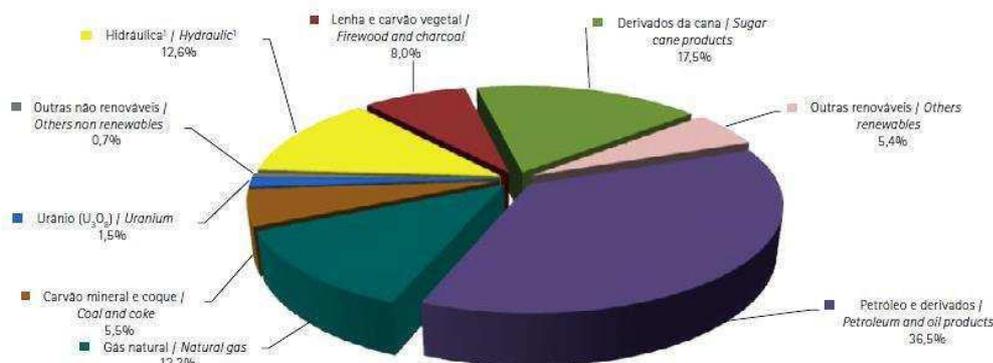
As preocupações relacionadas às questões ambientais e mais especificamente as variações climáticas, vem sendo impostas como um dos principais desafios para toda a sociedade do século atual, ao lado de temas como combate à pobreza e trabalho escravo. A especificidade em relação ao clima está ligada ao aquecimento global, também conhecido como “efeito estufa”.

Este fenômeno ocorre devido à grande quantidade de CO₂ emitido na atmosfera. O excesso dessas emissões vem do atual modelo energético adotado no planeta, onde a principal fonte de matéria-prima são os recursos naturais não-renováveis, em destaque o petróleo. (MATTEI,2010)

O Brasil é um país que tem configuração privilegiada da matriz energética em termos de sustentabilidade, uma vez que, cerca de 45% do consumo energético é atendido por fontes

renováveis. Porém, é necessário verificar se existe alta concentração do consumo de energia renovável provinda de duas categorias: biomassa (lenha e bagaço de cana) e hidroeletricidade (BUENO et al., 2009).

Figura 1 – Oferta Interna de Energia



1. Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica. 1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica). Ver Anexo VI.6 - Tratamento das informações. / Includes electricity imports originated from hydraulic sources. 1 kWh = 860 kcal (physical equivalent - First Principle of Thermodynamics). Look Appendix VI.6.

Fonte: Balanço Energético Nacional, 2017.

Segundo Bueno *et al.* (2009) uma clara diversificação de fontes energéticas renováveis no Brasil ainda não é realidade. Tal questão tem sido objeto de políticas públicas como Diretrizes de Política de Agroenergia, PROINFA, PNPB (Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel).

Apesar de ter uma grande participação dentre os países que fazem uso de fontes de energias renováveis, o Brasil ainda precisa diversificar equipamentos e máquinas, principalmente na indústria, onde utiliza-se de energia elétrica para se mover, como alternativa de substituição, surgem os biocombustíveis.

A solução do problema pode não está em apenas diversificar a matéria-prima fonte de energia, pois as novas fontes energéticas podem ser tão nocivas ao meio ambiente quanto as atuais. Mas com a diversificação envolvendo o uso de fonte renováveis e energia limpa, pode-se evitar tanto os riscos relacionados ao meio ambiente como a uma dependência restrita a uma única fonte de energia.

Por se tratar de um tema muito recente, as preocupações por mudanças relacionadas ao meio ambiente ainda passa por regulamentações para serem discutidas, sua evolução ainda é lenta, pois depende da participação de todos os governos para o comprometimento em mudar a atual situação. (SEGURA, 2014).

3.2 Biodiesel

3.2.1 Aspectos gerais, características e conceitos

Segundo a ANP (2017) o biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis que pode ser produzido a partir de gorduras animais como sebo bovino, gordura suína, vísceras de peixe e espécies vegetais como soja, babaçu, palma, girassol, amendoim, mamona e pinhão-manso. No Brasil, a soja é a principal matéria-prima utilizada na produção das espécies vegetais e o sebo bovino vem em segundo lugar dando destaque as matérias-primas animais.

Quimicamente este biocombustível é definido como éster monoalquílico de ácidos graxos e derivados de lipídeos de ocorrência natural e pode ser produzido juntamente com a glicerina. (Ramos et al.,2003). Assim o biodiesel apresenta-se como uma alternativa ao combustível fóssil devido as semelhanças nas estruturas moleculares. (PLÁ, 2002).

A reação transesterificação é o processo químico mais utilizado nas rotas de produção de biodiesel no Brasil, mas outros processos também podem ser empregados como esterificação e as rotas biológicas com o uso de enzimas. Os precursores (óleos e/ou gorduras) são submetidos a uma reação de transesterificação, que ocorre entre álcool e triglicerídeos, caracterizada pela quebra das moléculas dos triglicerídeos, formando assim uma mistura de alquil ésteres que passa por um processo de separação e de purificação para que se obtenha o biodiesel, , como é mostrada na figura 2.

Essa reação deve ocorrer na presença de catalisador, que pode ser homogêneo (ácido ou básico), heterogêneo ou enzimático, e tem como subproduto o glicerol (MYTHILI *et al*, 2014)

Figura 2 – Reação de Transesterificação de um triglicerídeo



Fonte: (GARCIA, 2006)

Para o setor energético, a transesterificação de óleos vegetais tem importância estratégica, uma vez que os ésteres produzidos a partir de óleos vegetais e álcoois de cadeia

curta (biodiesel) estão se tornando um substituto renovável do óleo diesel mineral. (GARCIA, 2006)

Segundo Exedito Parente, tal biocombustível é perfeitamente miscível e físico-quimicamente semelhante ao óleo diesel mineral e pode ser utilizado puro ou misturado em quaisquer proporções em motores do ciclo diesel. (PARENTE, 2003).

3.2.2 Matérias-primas para produção dos Biodieseis

3.2.2.1 Óleo de Soja

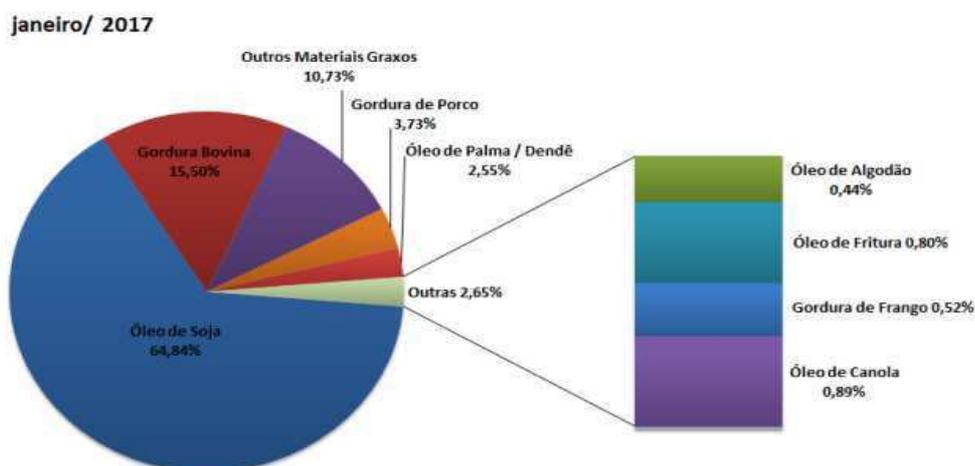
A escolha cautelosa da matéria prima é um passo primordial para a elaboração do produto. No cenário brasileiro destaca-se o uso da soja para produção de biodiesel, tanto pela grande quantidade de óleo bem como por sua disponibilidade.

Além da soja existem outras biomassas de grande abundancia no país que poderiam ser utilizados como matéria-prima. A variabilidade de matérias primas disponíveis para a produção deste biocombustível é extensa e as pesquisas quanto a relação produtividade x disponibilidade não devem cessar. (YAMAOKA, 2014)

Segundo Mendes e Costa (2010), a soja é a principal matéria-prima utilizada no Brasil, como pode ser observado na Figura 3, pelo fato de que quando o programa de incentivo ao biodiesel foi lançado, o setor da soja era o que se encontrava melhor preparado, mais consolidado e com alto desempenho para atender o mercado consumidor.

O fato da competição direta com o ramo alimentício é o que evidencia à atual queda da utilização da soja como matéria-prima para a produção de biodiesel. Muitos agricultores têm preferido a venda da soja a outros setores do que as indústrias produtoras de biodiesel, devido ao melhor valor agregado a tonelada da soja.

Figura 3 – Matérias-primas utilizadas para produção de Biodiesel no Brasil



Fonte: (ANP, 2017).

A soja possui uma excelente adaptação ao cultivo, preferindo terras sílico-argilosas férteis, sem umidade e acidez, podendo ser produzida duas vezes ao ano, nos meses de setembro a outubro e fevereiro a março. O grão de soja possui textura macia, sabor levemente amargo, elevados teores de ácido ascórbico e β -caroteno e fatores nutricionais excelentes, e possui ainda de 17 e 19% de proteínas e 35 a 40% de lipídio. (TEIXEIRA, 2010)

Na composição química do óleo predomina ácidos graxos insaturados, como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do óleo de soja

Ácidos Graxos	Contribuição Percentual (%)
Ácido Mirístico (C 14:0)	< 0,5
Ácido Palmítico (C 16:0)	7,0 – 14,0
Ácido Palmitoléico (C 16:1)	< 0,5
Ácido Esteárico (C 18:0)	1,4 – 5,5
Ácido Oléico (C 18:1)	19,0 – 30,0
Ácido Linoléico (C 18:2)	44,0 – 62,0
Ácido Linolênico (C 18:3)	4,0 – 11,0
Ácido Araquídico (C 20:0)	< 0,1
Ácido Eicosenóico (C 20:1)	< 0,1
Ácido Behênico (C 22:0)	< 0,5

Fonte: Campestre, 2017.

No Brasil, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017), o estado do Mato Grosso está em 1º lugar na produção de soja, produzindo 30,514 milhões de toneladas. O estado do Paraná vem em 2º lugar, com uma produção de aproximadamente 19,534 milhões de toneladas, o Rio Grande do Sul ocupa o 3º lugar produzindo 18,714 milhões de toneladas. Representando aproximadamente 70% da produção nacional.

O óleo de soja, que surgiu como subproduto do processamento do farelo da soja utilizada para produção de alimento, tornou-se um dos líderes mundiais no mercado de óleos. Pode ser usado como fonte de matéria-prima para fabricação de diversos produtos alimentícios, como também biodiesel. Com o óleo neutralizado, ou seja, dentro dos parâmetros de pH exigidos, pode-se obter uma boa conversão em ésteres metílicos via catalise básica como também apresentar parâmetros de qualidade de acordo com os limites estabelecidos pela ANP. (TEIXEIRA, 2010)

3.2.2.2 Óleo de Babaçu

Com o intuito de evitar o incentivo à monocultura, como aconteceu com o pró-álcool, o PNPB não privilegia uma oleaginosa ou uma rota tecnológica a ser empregada mas permite que o produtor faça sua escolha baseada em sua análise de custo de produção e oportunidade, permitindo a descentralização da produção de biodiesel e favorecendo à vocação regional. Desde modo, culturas como babaçu, milho, amendoim, girassol, palma entre outras, poderão ser exploradas para fins de produção de biocombustível. (FERREIRA, 2007)

Segundo Branco *et al* (2007), as oleaginosas de melhor rendimento para produção de biodiesel são as palmeiras devido aos altos rendimentos de extração de óleo por hectare. O dendê produz 5.900 l/ha e o babaçu 1.600 l/ha, rendimentos muito superiores ao da soja, uma das principais *commodities* que serve de base de sustentação para a economia maranhense, que é de 400 l/há ou da mamona de 800 l/ha e do milho de 160 l/ha. Tais valores por serem estimados, podem variar.

O Nordeste brasileiro possui uma área de cerca de 12 milhões de hectares plantados com babaçu, sendo que a maior parte está concentrada no estado do Maranhão. O período de maior frutificação ocorre entre os meses de agosto e janeiro. Cada árvore produz em média 2.000 unidades de coco babaçu. A extração mensal é por volta de 140.000 toneladas de

amêndoas destes babaçuais. Pode ser empregado na produção de carvão, óleo combustível, gás lubrificante e óleo comestível. (LIMA, 2007).

De acordo com (Santos 2009) o biodiesel metílico de babaçu é constituído por ésteres correspondentes aos ácidos graxos que compõem o óleo de babaçu. Observa-se também a predominância dos ésteres saturados laureato (C 12:0), miristato (C 14:0) e palmitato (C 16:0), mostrado na Tabela 2. A maior quantidade destes ésteres indica que o biodiesel de babaçu deve possuir boa estabilidade a oxidação e que os parâmetros físico-químicos do produto podem satisfazer os limites estabelecidos pela ANP.

Tabela 2 – Composição Química do Óleo de Babaçu

Ácidos Graxos	Contribuição Percentual (%)
Ácido Caprílico (C 8:0)	2,6 – 7,3
Ácido Cáprico (C 10:0)	1,2 – 7,3
Ácido Láurico (C 12:0)	40,0 – 55,0
Ácido Mirístico (C 14:0)	11,0 – 27,0
Ácido Palmítico (C 16:0)	5,2 – 11,0
Ácido Esteárico (C 18:0)	1,8 – 7,4
Ácido Oléico (C 18:1)	9,0 – 20,0
Ácido Linoléico (C 18:2)	1,4 – 6,6

Fonte: Campestre, 2017.

3.3 Blendas de Biodiesel

Diante das diferentes características e de uma grande diversificação de matérias-primas para processo de produção de biodiesel, a blenda, é uma alternativa que vem sendo alvo de pesquisas para mudar o atual cenário brasileiro, que é dotado da dependência de apenas um tipo de biomassa, o óleo de soja. Além de diminuir essa dependência e a competição que existe entre o mercado alimentício, torna o processo de produção dos biocombustíveis mais viável, através de matérias primas alternativas que de acordo com suas características, inviabilizam ou dificultam o processo. (DE MELO, 2014).

A adequação das propriedades aos padrões de qualidade é uma das principais motivações para um maior conhecimento das blends de biodiesel. Algumas matérias-primas possuem características que dificultam essa adequação aos parâmetros estabelecidos pelas normas da ANP. A combinação adequada entre os biodieseis, pode ser uma solução para superar as desvantagens relacionadas as características dos biocombustíveis, como por exemplo estabilidade oxidativa. Essas combinações, podem ter um impacto positivo no cenário energético nacional.

O óleo de soja, matéria prima mais utilizada no processo de produção de biodiesel no Brasil, possui em suas características, um elevado percentual de ésteres de ácidos graxos com alto grau de insaturação, fator facilitador do processo de oxidação do biocombustível. Devido à presença de uma quantidade significativa de ácidos graxos com ligações duplas, a estabilidade termo-oxidativa é um quesito decisivo para o armazenamento do biodiesel. (NADALETI, 2015)

Óleo do babaçu pode ser uma alternativa para melhorar a eficiência do processo produtivo do biodiesel de soja, a partir da combinação entre eles, a desvantagem relacionada a oxidação pode ser superada, pelo fato de que o óleo do babaçu é constituído por ácidos graxos saturados e insaturados, porém por apresentar um percentual de 84,4 a 96,6% de ácidos graxos saturados em sua composição, o óleo babaçu é classificado como um óleo saturado. (MOUZINHO, 2007).

Além da vantagem relacionada a saturação do óleo, a predominância do ácido láurico no óleo de babaçu faz desse óleo um dos mais indicados para produção de biodiesel pois garante melhor rendimento ao processo de transesterificação, uma vez que a interação com o agente transesterificante e o catalisador é mais eficaz de modo que se obtém um produto com excelentes características físico-químicas.

Outras motivações para produção de biodiesel do babaçu estão no aproveitamento de um recurso natural existente, porém, pouco explorado com condições de gerar uma diversificação de produtos a partir da sua cadeia produtiva, além de desenvolver economicamente as regiões produtoras dessa matéria prima, proporcionando emprego e renda para as famílias rurais, garantindo assim sua permanência no campo.

De acordo com a ANP (2017) nenhuma usina brasileira utiliza o óleo do babaçu para produção de biodiesel. No entanto pesquisas mostram que a matéria-prima é uma alternativa

viável para o processo, além de diversificar a cadeia produtiva, contribui na otimização da produção qualificando os parâmetros físicos e químicos do produto a partir das misturas.

3.4 Especificações físico-químicas do Biodiesel

O processo de produção de biodiesel não é o maior problema que é enfrentado na cadeia produtiva, e sim a certificação de qualidade que deve se encaixar perfeitamente nos parâmetros exigidos pela ANP, seguido as especificações de algumas normas como: ABNT NBR 14448 (óleos lubrificantes e fluidos hidráulicos - determinação do índice de acidez pelo método de titulação potenciométrica), ABNT NBR 14065 (destilados de petróleo e óleos viscosos - determinação da massa específica e da densidade relativa pelo densímetro digital), ASTM D6304 (determinação de umidade pelo método calorimétrico), EN 14112 (análise de estabilidade oxidativa pelo método Rancimat), entre outras. (ANP, 2017).

3.4.1 Índice de Acidez

Através do índice de acidez é possível quantificar as substâncias ácidas presentes no combustível. A análise é fundamental para a escolha das matérias-primas adequadas para a produção de biodiesel.

A acidez de um óleo e do produto final é de extrema importância para se evitar problemas com relação ao processo reacional, como consumo excessivo do catalisador, ocorrência de reações paralelas assim como também a não ocorrência da reação.

Segundo a Resolução ANP N° 45/2014, o limite máximo estabelecido de acidez é de 0,5 mg de KOH/g de amostra (LÔBO, 2009) e a norma recomendada é ABNT NBR 14448 que utiliza como titulante uma solução de KOH e fenolftaleína como indicador.

3.4.2 Massa Específica

Massa Específica ou Densidade absoluta tem como definição o quociente entre a massa e o volume de um corpo. Pode-se definir a massa específica de uma matéria como grau de concentração da massa em um determinado volume.

O equipamento utilizado para medição da densidade relativa de um líquido é denominado densímetro. Uma das utilidades do densímetro é inferir as propriedades dos líquidos através da inspeção de sua massa específica, principalmente quando os líquidos são misturas de substâncias.

Ele faz uso do princípio do empuxo descoberto por Arquimedes, onde dizia que, a força que provoca a flutuação dos corpos líquidos, sendo proporcional a densidade, ao volume e a aceleração da gravidade (BARBOZA, 2014).

De acordo com a ANP, o procedimento utilizado para a análise da massa específica do biodiesel é semelhante ao dos derivados de petróleo e a faixa de valores exigida está entre 850 à 900 kg/m³ indicada pela norma ABNT BR 14065 (LÔBO, 2009).

3.4.3 Teor de Umidade

A presença de água no biodiesel pode causar a hidrólise do biodiesel resultando em ácidos graxos livres, além disso estar relacionada a proliferação de micro-organismos, corrosão em tanques de estocagem com deposição de sedimentos, além de influenciar no poder calorífico dos combustíveis, pois a umidade diminuir o calor liberado pela combustão. Por possuir característica de absorver água, é necessário análises durante o armazenamento do biodiesel.

A norma brasileira indica o método ASTM D6304 que utiliza o método colorimétrico (Karl Fischer), com maior sensibilidade para determinar o teor de água, fixando a concentração máxima aceitável de água no biodiesel em 200 mg/Kg (ANP, 2014).

O reagente Karl Fisher é formado por uma mistura de iodo, dióxido de enxofre e piridina diluídos em metanol. O ponto final da titulação pode ser detectado observando-se a mudança de cor provocada pelo iodo. O volume do reagente gasto na titulação da amostra é então usado para calcular o teor de umidade (PARK & ANTONIO, 2006).

3.4.4 Estabilidade Oxidativa

Uma das desvantagens do uso do biodiesel está ligada a baixa resistência aos processos oxidativos, que é explicado pelo alto percentual de ésteres de ácidos graxos insaturados presentes em determinadas matérias-primas

Essa propriedade é essencial para o controle de qualidade, principalmente no que diz respeito ao seu armazenamento. Ela é expressa como período de tempo necessário para alcançar o ponto que a oxidação aumenta subitamente. Este método é empregado para determinação da estabilidade oxidativa do biodiesel, sob condições aceleradas de oxidação. Os equipamentos mais utilizados para determinação da estabilidade oxidativa são o Rancimat e o OSI (Oil Stability Index - Índice de Estabilidade Oxidativa). O Rancimat é o mais

utilizado para determinação da estabilidade oxidativa na forma finalizada, sob condições de aceleração de oxidação, segundo a norma EM 14112 (GALVÃO, 2007).

Segundo a resolução da ANP 45/2014 para análise oxidativa através do método Rancimat, a uma temperatura de 110°C, aceito na norma EN 14214, o valor mínimo exigido para o período de indução é de 6h.

3.5 Exergia: conceitos e aplicações

No século XIX surgiram os primeiros conceitos de exergia, quando o francês Sadi Carnot, apresentou o conceito de trabalho máximo em (1824) e em paralelo com o estadunidense William Gibbs que começou a estudar uma propriedade termodinâmica, definida como a energia disponível de um corpo e seu meio (1876). (ROJAS, 2007).

Derivada a partir do uso combinado da primeira e da segunda leis da Termodinâmica, exergia é definida como a máxima quantidade de trabalho obtida quando uma massa é trazida até um estado de equilíbrio termodinâmico com os componentes comuns do meio ambiente, através de processos reversíveis, envolvendo interações apenas com os componentes do meio ambiente, satisfazendo a primeira lei e submetida à limitação imposta pela segunda lei. (SZARGUT; MORRIS; STEWARD, 1988).

Com o auxílio da segunda lei, o conceito de exergia está associado a qualidade nas diversas formas de energia. O trabalho por poder ser convertido integralmente em calor e o processo inverso ser considerado impossível, o mesmo é denominado como a forma mais eficiente de energia. (ALVES, 2010)

Segundo Tsatsaronis e Park (2007), a exergia pode ser considerada o trabalho útil máximo teórico obtido a partir de um sistema termodinâmico, quando este passa de um certo estado e entra em equilíbrio com o ambiente de referência.

Para Çengel e Boles (2013), apesar da exergia não representar a quantidade de trabalho que um dispositivo fornecerá após a sua instalação, ao invés disso, a exergia pode representar o limite superior da quantidade de trabalho que um dispositivo poderá produzir sem entrar em desacordo com nenhuma das leis da termodinâmica. Os autores concluem afirmando que sempre ocorrerá uma diferença entre trabalho real e exergia produzido a partir de um sistema e é com essa diferença que se busca otimizar os sistemas.

Diferentemente das propriedades termodinâmicas como entalpia e entropia, as quais são definidas a partir das condições do sistema, a exergia é uma propriedade que depende da combinação sistema-meio ambiente. No caso particular de fixação das condições do ambiente, a exergia pode ser analisada como uma propriedade do sistema (MORAN; SHAPIRO, 2009).

A exergia vem se tornando uma ferramenta cada vez mais utilizadas em análises de sistemas térmicos, com finalidade tanto para reduzir suas fontes de ineficiências, como para quantificar os custos do processo. De forma mais sucinta a análise exérgica busca maximizar o uso mais eficiente da energia. (MORAN; SHAPIRO, 2009)

De acordo com Rojas (2007), as análises exérgicas são ferramentas úteis para avaliar, de forma técnica, a performance termodinâmica de processos, onde podem servir também para orientar a otimização do processo e o uso eficiente dos recursos naturais.

Com o uso da análise exérgica é possível medir o quanto de exergia está sendo destruída, podendo verificar onde está ocorrendo e quais componentes são responsáveis por essas perdas e dessa forma minimizá-las tornando o sistema mais eficiente. (FERREIRA, 2014)

Pode-se considerar o sistema em *estado morto* quando ele se encontra em equilíbrio termodinâmico com o ambiente. Neste, o sistema está com a mesma pressão e temperatura que seu ambiente, energia cinética e potencial não existe com relação ao ambiente e não reage com o ambiente. As propriedades de um sistema no estado morto são indicadas pelo subscrito zero, P_0 , T_0 , h_0 , μ_0 e s_0 . Por definição, um sistema tem exergia igual a zero no estado morto (ÇENGEL, BOLES, 2013; ORTIZ, FLÓREZ-ORREGO, 2013).

A eficiência exérgica, tem como uma de suas finalidades, avaliar a eficácia de algumas medidas de engenharia usadas para obter um melhor desempenho de um sistema térmico. Essa análise é feita através da comparação dos valores de eficiência determinado antes e após ocorrerem as modificações para assim poder mostrar a melhora adquirida.

Pode-se utilizar também essa análise de exergia para medir o potencial de melhora de um determinado sistema, por comparação da eficácia do mesmo com a eficiência de um sistema similar. Uma suposta diferença significativa entre esses valores, sugere que seja possível uma melhora no desempenho. (MORAN; SHAPIRO, 2006).

Um estudo recente (Talens et al., 2007) e (Arredondo, 2009) pesquisaram biocombustíveis utilizando-se conceito de exergia.

A exergia total (ET) de um sistema pode ser dividida em quatro componentes: exergia cinética E_K , potencial E_P , física E_F e química E_{CH} , como mostra a equação 1. (KOTAS, 1995).

$$E_T = E_p + E_k + E_F + E_{CH} \quad (1)$$

onde:

E_P = exergia potencial específica

E_K = exergia cinética específica

E_F = exergia física específica

E_{CH} = exergia química específica

A exergia potencial específica, E_p , está relacionada com a diferença de altura do sistema em relação ao ambiente, e a exergia cinética, E_k , leva consideração à velocidade do sistema em relação ao meio ambiente. (SOTOMONTE, 2009) Pode-se dizer, na teoria, que a exergia cinética e potencial, são respectivamente, à energia cinética e potencial, onde podem ser convertidas integralmente em trabalho. Na maioria das vezes, esses valores são desprezados nas análises dos sistemas térmicos. (PELLEGRINI, 2009).

Considera-se exergia química específica, E_{ch} , a partir do desequilíbrio da composição química entre o sistema e o meio ambiente. E a exergia física específica, E_f , é representada através do desequilíbrio de pressão e/ou temperatura entre o sistema e a vizinhança, onde é dividida em exergia mecânica (ligado à pressão do sistema) e a exergia térmica (relacionado com a temperatura do sistema). (KOTAS, 1995)

Pode-se dividir a exergia de um sistema em duas componentes: exergia física e exergia química. O que corresponde a exergia física é o trabalho que pode ser realizado pelo sistema através de compressão, troca de calor e expansão, considerados processos físicos irreversíveis, até atingir a temperatura e pressão da fronteira (equilíbrio restrito). Exergia química é a capacidade de levar reversivelmente o sistema em estado de equilíbrio restrito (T_0, P_0) até a mesma composição química do ambiente, onde é conhecido de “estado morto” (T_0, P_0, P_{0i}), onde T_0 é a temperatura ambiente, P_0 a pressão e P_{0i} pressão parcial das substâncias de referência presente no ambiente. (SZARGUT, 1988)

Szargut et al. 1988 (*apud* Arredondo, 2009), assumem que a relação de exergia química com o poder calorífico inferior (PCI), para combustíveis sólidos e líquidos, é a mesma para substâncias químicas puras, tendo a mesma relação de componentes químicos

A exergia química dos compostos biomássicos segundo Arredondo (2009) é calculada pela seguinte equação:

$$e^{ch} = \beta \cdot PCI \quad (2)$$

onde:

e^{ch} = exergia química específica (kJ/kg)

β = coeficiente (adimensional)

PCI = Poder Calorífico Inferior (kJ/kg)

O coeficiente β tem diferentes expressões dependendo da fase e composição química das substâncias. Para substâncias biomássicas líquidas, como biodiesel, glicerina, AGL e TG temos:

$$\beta = 1,0374 + 0,0159 \frac{H}{C} + 0,0567 \frac{O}{C} \quad (3)$$

onde:

H = Hidrogênio

C = Carbono

O = Oxigênio

De acordo com Arredondo (2009) o Poder Calorífico Inferior (PCI) e o Poder Calorífico Superior (PCS) de combustíveis líquidos podem ser encontrados, onde calcula o PCI assumindo que a água formada do hidrogênio que faz parte da composição do combustível encontra-se na fase vapor e usa a seguinte relação conforme equação 4:

$$PCI = PCS - 0,0894 * 2442,3 * H \quad (4)$$

onde:

PCI = Poder Calorífico Inferior

PCS = Poder Calorífico Superior

2.442,3 kJ/kg corresponde à entalpia de vaporização da água à pressão de 1 bar

De acordo com Grossman (1950) para calcular a eficiência exergetica, considera-se a exergia de saída (úteis), e a exergia de entrada (usadas) no processo, como é mostrada na equação 5:

$$\eta = \frac{e_s}{e_e} \quad (5)$$

Onde:

e_s = exergia de saída

e_e = exergia de entrada

Oliveira *et al.* (2010) realizaram estudo da análise exergética da produção de biodiesel a partir de óleo de cocção, resultante do cozimento de alimentos, em escala laboratorial obtendo como resultado uma diferença de 2,15 MJ das exergias de entrada e saída do sistema, atribuída a perdas de calor e resíduos não reativos da reação. Através dos dados obtidos, os autores calcularam a eficiência exergética com percentual de 74,51 %; no entanto, os autores concluíram que, embora tenham alcançado resultados satisfatórios, esta análise deve ser redimensionada e otimizada para aplicação na área industrial.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Todo o processo reacional e as análises físico-químicas dos biodieseis de soja e babaçu e das blendas, foram realizadas de acordo com as normas ASTM (American Society for Testing & Materials), EN (European Standard), AOCS (American Oil Chemists Society) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e, com o livro de Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz.

4.1 Reagentes e Equipamentos utilizados

Na tabela 3 estão apresentadas as soluções, reagentes e equipamentos utilizados para o processo de produção dos biodieseis.

Tabela 3 - Reagentes, soluções e equipamentos utilizados no trabalho.

Materiais	Pureza (%)	Fabricante
Álcool Metílico	99,8	QHEMIS
Álcool Etílico Absoluto	99,5	QHEMIS
Éter Etílico	99	VETEC
Hidróxido de Potássio	85	VETEC
Solução de Hidróxido de Sódio 0,1M	-	LARBIO
Solução Indicadora de Fenolftaleína 1% p/v	-	LARBIO
Óleo de soja	-	SOYA
Óleo de babaçu	-	NOVO NILO
Chapa Aquecedora com agitação magnética	-	FISATOM

Fonte: Próprio autor.

4.2 Produção de Biodiesel de Soja e Babaçu.

4.2.1 Reação de Transesterificação

Antes de iniciar a reação de transesterificação para obtenção do biodiesel foi necessário a realização da determinação do Índice de Acidez dos óleos *in natura*. Para esse procedimento foram preparadas 3 amostras de cada óleo, com massa de 2,0 g e uma solução de 200 mL de éter etílico para 100 mL de álcool etílico. Adicionou-se 25 mL dessa solução em cada amostra de óleo e acrescentou-se 2 gotas do indicador fenolftaleína (1%). Após esse

processo, a mistura foi titulada com hidróxido de sódio a 0,1M, onde registrou-se o volume do titulante utilizado até a virada.

Todo procedimento foi realizado em triplicada. Para calcular o índice de acidez utilizou-se a Equação 6, (LUTZ, 2004):

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{v \times f \times 5,61}{P} \quad (6)$$

Onde,

v é o volume de NaOH consumido na titulação, em mL, f é o fator de correção da solução de hidróxido de sódio e P massa da amostra, em g.

Após calcular os valores de acidez dos óleos, foi possível dar início à produção dos biodieseis de soja e babaçu. Nesta etapa foi realizada a reação de transesterificação, onde consistiu-se em uma reação química usada para conversão de óleos ou gorduras animais e vegetais em ésteres de cadeia longa, o biodiesel.

Para executar as reações, utilizou-se 200 g de cada óleo. Para calcular o volume do álcool metanol utilizado e massa do catalisador hidróxido de potássio (KOH), realizou-se os seguintes procedimentos (LUTZ, 2004), equações 7 e 8.

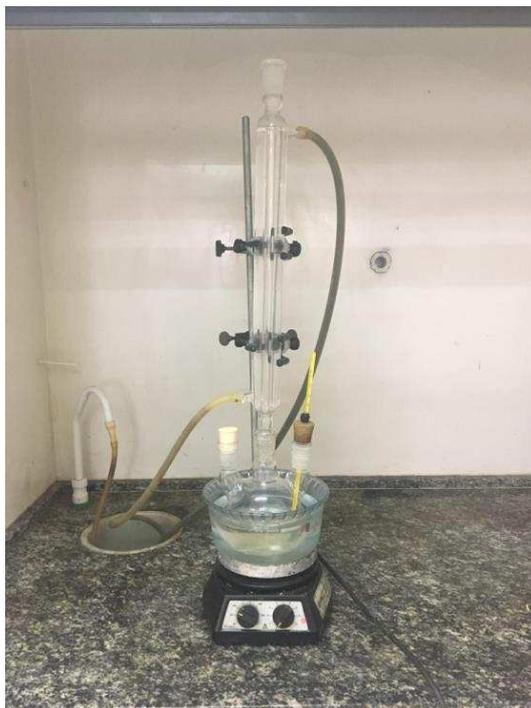
$$\text{Volume}_{\text{metanol}} = \frac{20\% \times \text{Massa do óleo}}{\text{Densidade Absoluta do Metanol}} \quad (7)$$

$$\text{Massa}_{\text{catalisador}} = \text{massa do óleo} \times \left(\frac{\%KOH}{100} + \frac{\text{Índice de Acidez}}{1000} \right) \times \frac{1}{0,85} \quad (8)$$

Onde, %KOH é o percentual de massa do hidróxido de potássio e 0,85 grau de pureza.

A massa de catalisador utilizado, foi de 1,48 g para o óleo de soja e 1,46 g para óleo de babaçu. Após determinar esses valores de massas de solvente e catalisador, colocou-se os óleos para um pré-aquecimento, até atingir a uma temperatura de 60 °C. Ao chegar na temperatura desejada, adicionou-se a solução de metanol com hidróxido de potássio (metóxido). Em seguida foi monitorado a temperatura para que não ultrapassasse 60 °C, o tempo de reação foi de 60 minutos. A reação foi realizada em “banho maria”, para se ter um melhor controle de temperatura, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Aparato reacional com temperatura controlada



Fonte: Próprio autor.

Após terminar o processo reacional, transferiu-se a mistura para um balão funil de separação (Figura 5), onde ocorreu a separação do biodiesel/glicerina, que ocorreu em 60 minutos.

Figura 5- Processo de separação do biodiesel e glicerina



Fonte: Próprio autor.

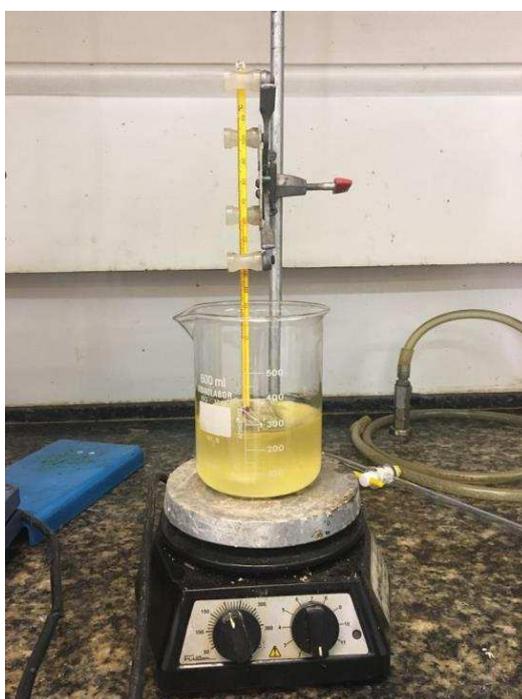
4.2.2 Lavagem

Ao término da reação, fez-se necessário realizar o procedimento de lavagem do biodiesel. Essa etapa consistiu-se na remoção dos subprodutos e reagentes restantes no produto, como, sabão, metanol e catalisador. Foram realizadas 3 lavagens para cada biodiesel, onde pesou-se 20 g de água, que corresponde a 10 % da massa do óleo. As duas primeiras, a água estava em temperatura ambiente e a terceira e última, aqueceu-se á uma temperatura de ate 90 °C e repetiu-se o procedimento, o intervalo de cada lavagem foi de 30 minutos.

4.2.3 Secagem

Após a lavagem, o biodiesel foi submetido ao procedimento de secagem, onde colocou-se o mesmo em uma chapa aquecedora até atingir 105 °C, como é mostrado na Figura 6, ao chegar nessa temperatura, permaneceu por mais 30 minutos, sempre na faixa de 105 – 110 °C. O objetivo desse procedimento foi reduzir significativamente a umidade ocasionada na etapa de lavagem. É importante o controle da temperatura, para não ocorrer degradação do Biodiesel.

Figura 6 – Secagem do biodiesel com controle de temperatura



Fonte: Próprio autor.

4.3 Blendas de Soja e Babaçu

As blendas foram preparadas logo após as produções dos biodieseis. Esse procedimento consistiu-se nas misturas dos dois produtos, em diferentes proporções, com a finalidade de se obter um Biodiesel com diferentes características e verificar a eficiência exergética a partir das combinações.

Foram feitas três diferentes proporções: a primeira foi de 25% de biodiesel de soja com 75% de biodiesel de babaçu (25/75 B.S/B.B), a segunda 75% de soja e 25% de babaçu (75/25 B.S/B.B) e a terceira 50% soja e 50% de babaçu (50/50 B.S/B.B). A quantidade que foi utilizada para essas misturas foi de 50 g, quantidade necessária para realizar as análises requeridas.

4.4 Análise da Eficiência Exergética

No presente trabalho, por se tratar de uma análise de eficiência exergética de um experimento realizado em reator batelada de escala de bancada, a exergia, potencial, cinética e física (exceto exergia do equipamento elétrico utilizado), presente na Equação 1, são desprezadas, pois não ocorre nenhum fluxo de massa nas etapas do processo.

$$E_T = E_p + E_k + E_F + E_{CH} \quad (1)$$

Para realizar a análise exergética do processo, foi necessário obter as exergias químicas dos compostos biomássicos presentes na reação. Para calcular a exergia química desses compostos, foi preciso obter os valores de Poder Calorífico Inferior (PCI) e do Coeficiente adimensional (β) presente na Equação 2.

$$e^{ch} = \beta \cdot PCI \quad (2)$$

Para calcular esses parâmetros, utilizou-se, respectivamente, as Equações 3 e 4.

$$\beta = 1,0374 + 0,0159 \frac{H}{C} + 0,0567 \frac{O}{C} \quad (3)$$

$$PCI = PCS - 0,0894 * 2442,3 * H \quad (4)$$

Após realizar os cálculos, foi possível obter as Exergias (MJ) dos reagentes e produtos presentes no processo, a partir do produto das massas (kg) utilizadas e obtidas (reagentes e produtos) no procedimento com a Exergia Química calculada. (MJ/kg)

Para a exergia química das blendas, tanto do óleo como do biodiesel e glicerina, considerou-se a proporção das misturas dos compostos, desta forma, calculou-se a partir das seguintes expressões:

$$e_{ch\ blenda} = x_{BS} \cdot e_{ch\ BS} + x_{BB} \cdot e_{ch\ BB} \quad (6)$$

Onde:

x_{BS} = fração do biodiesel de soja;
 $e_{ch\ BS}$ = exergia química do biodiesel de soja;
 x_{BB} = fração do biodiesel de babaçu;
 $e_{ch\ BB}$ = exergia química do biodiesel de babaçu;

$$e_{ch\ blenda} = x_{OS} \cdot e_{ch\ OS} + x_{OB} \cdot e_{ch\ OB} \quad (7)$$

Onde:

x_{OS} = fração do óleo de soja;
 $e_{ch\ OS}$ = exergia química do óleo de soja;
 x_{OB} = fração do óleo de babaçu;
 $e_{ch\ OB}$ = exergia química do óleo de babaçu.

$$e_{ch\ blenda} = x_{GS} \cdot e_{ch\ GS} + x_{GB} \cdot e_{ch\ GB} \quad (8)$$

Onde:

x_{GS} = fração da glicerina de soja;
 $e_{ch\ GS}$ = exergia química da glicerina de soja;
 x_{GB} = fração da glicerina babaçu;
 $e_{ch\ GB}$ = exergia química da glicerina babaçu.

A partir desses cálculos, foi possível verificar a Eficiência Exergética de todos os processos, tanto para a produção de biodiesel de soja e babaçu, como para as blendas feitas no procedimento.

Os resultados de eficiência foram obtidos a partir da Equação 5, onde utilizou-se as exergias dos reagentes e exergia do equipamento utilizado, como as exergias de entrada e as exergias dos produtos, como as exergias de saída.

$$\mu_{ex} = \frac{e_s}{e_e} \quad (5)$$

4.5 Caracterização Físico-química

Todos os métodos de caracterização físico-químicos do biodiesel foram realizados de acordo com suas determinadas normas de ensaio exigidos pela ANP N° 45/2014 (Tabela 4).

Tabela 4 – Normas regentes para os ensaios realizados

Ensaio	Norma
Teor de Água	ASTMD6304
Estabilidade a Oxidação	EN 14112
Massa Específica a 20°C	NBR14065
Índice de Acidez	NBR 14448

Fonte: ANP, 2017.

4.3.1 Índice de Acidez

Determinou-se o Índice de Acidez, tanto para os óleos (descrito anteriormente) como para os biodieseis produzidos, individualmente e as blendas. O procedimento utilizado foi o mesmo descrito anteriormente no processo de produção dos biodieseis.

4.3.2 Massa Específica

O procedimento das análises foi realizado pelo densímetro digital da marca Anton Paar modelo 4500, onde determinou-se a densidade dos líquidos (biodiesel), tanto para os puros como para as misturas. Por ser baseada no princípio comprovado de tudo em U oscilante, os valores foram obtidos com alta precisão. Todo o procedimento foi realizado em triplicata e de acordo com a norma NBR14065

4.3.3 Teor de Umidade

Para verificar o teor de água dos biodieseis e das blendas, utilizou-se do método calorimétrico (Karl Fischer) estabelecido pela ANP e de acordo com a norma ASTMD6304. Não é necessário um fator no método, tornado a análise capaz de detectar umidade na ordem de mg/kg, com precisão de 0,03 %. As análises foram realizadas em triplicatas e utilizou-se 0,2g de cada amostra.

4.3.4 Estabilidade Oxidativa

Para determinar a estabilidade oxidativa dos biodieseis e blendas, utilizou-se o Rancimat, esse método apresenta com vantagem ser muito rápido, podendo substituir outras técnicas de longa duração. Esse método permite avaliar diversos tipos de óleos e de biodiesel

levando-se em conta a aceleração na composição em ácidos graxos livres e também permite dizer se a adição de antioxidante foi eficaz e se o biodiesel está com algum tipo de contaminação (SILVA *et al.* 2010).

Para executar a análise oxidativa, pesou-se uma massa de 3 g das amostras em um tubo de ensaio. As amostras foram expostas a uma temperatura de 110 °C, sob um fluxo de ar de 10 L/h. Com essas condições, intensificou-se a formação de compostos oxidativos e levou-se os gases para uma célula contendo água Milli-Q, onde teve sua condutividade monitorada. Finaliza-se a análise, quando ocorre um súbito aumento da condutividade, no qual corresponde a estabilidade oxidativa das amostras. Todo o procedimento foi realizado de acordo com a Norma EN 14112 e em triplicata.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados referentes à eficiência exergética e a caracterizações físico-químicas das amostras de biodiesel de soja, biodiesel de babaçu e de suas blendas.

5.1 Análise exergética em escala laboratorial

Foi realizada a análise de exergia da produção do Biodiesel de Soja (BS) e Biodiesel de Babaçu (BB), como também das misturas dos dois produtos (Blendas). Para realizar estas referidas análises foram necessários valores de exergias dos equipamentos e dos insumos utilizados no processo.

Para encontrar as exergias químicas dos óleos e dos biodieseis foi necessário quantificar os percentuais mássicos do carbono, do hidrogênio e do oxigênio presentes nessas substâncias e encontrar seus respectivos Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI). Esses dados de percentuais mássicos foram obtidos na literatura e estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição Elementar

Matéria-Prima	C (%)	H(%)	O(%)
B.S	74,70	12,20	13,10
B.B	74,70	12,20	13,10
O.S	39,27	5,76	52,95
O.B	75,00	11,70	13,30

Fonte: (Arredondo, 2009; Ferreira, 2014; Vieira, 2012).

A partir dos dados de composição dos óleos e dos biodieseis, foi possível calcular, de acordo com a equação 6, os valores de PCI, os dados de PCS foram encontrados na literatura

Tabela 6 -Valores de Poder PCS e PCI dos Biodieseis e Óleos de Soja e babaçu

Descrição	B.S	B.B	O.S	O.B
PCS (kJ/kg)	39.965,67	39.098,49	39.417,46	37861,02
PCI (kJ/kg)	37.301,90	36.434,72	38.159,81	35.306,42

Fonte: (Arredondo, 2009 ; Mendonça, 2015; (adaptado) Próprio autor).

A tabela 7 apresenta o consumo de energia elétrica, o tempo de utilização e a exergia gerada do equipamento utilizado. O coeficiente de energia elétrica é considerado 1, logo, 1 kJ de energia elétrica corresponde a um fluxo de exergia de 1 kJ. (AYRES *et al.*, 2001) .

Tabela 7 – Exergia dos Equipamentos

Equipamentos	Consumo (W)	Tempo de uso (s)	Exergia (MJ)
Agitador Magnético com aquecimento	650	3600	2,34
Total	650	3600	2,34

Fonte: Próprio autor.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os valores de exergia química, quantidade de cada reagente e o valor de exergia de cada reagente utilizado no processo de produção dos biodieseis.

Para determinar esses valores de exergia, realizou-se um cálculo, que consistiu em: o produto da Exergia Química (MJ/kg) com o valor das massas (kg), com isso obteve-se os valores de exergia dos reagentes (MJ). Os reagentes com maior valor de exergia química foi o óleo de soja (37,494 MJ/kg) e o óleo de babaçu (32,600 MJ/kg), calculados de acordo com a Equação 1. Para determinação das exergias do metanol (22,14 MJ/Kg), e hidróxido de potássio (KOH) (8,67 MJ/Kg), foram utilizados dados de exergia padrão encontrados na literatura (ARREDONDO, 2009).

Tabela 8 – Exergia dos Reagente Utilizados para biodiesel de Soja

Reagentes	Exergia química (MJ/kg)	Quantidades (kg)	Exergia dos reagentes (MJ)
Óleo de Soja	37,494	0,2	7,498
Metanol	22,14	0,04	0,886
KOH	8,67	0,00148	0,012
Total	68,304	0,24148	8,396

Fonte: Noleto et al. (adaptado); Oliveira et al. (adaptado) & Próprio autor.

Tabela 9 – Exergia dos Reagente Utilizados para biodiesel de Babaçu

Reagentes	Exergia química (MJ/Kg)	Quantidades (kg)	Exergia dos reagentes (MJ)
Óleo de Babaçu	32,600	0,2	6,52
Metanol	22,14	0,04	0,886
KOH	8,67	0,00146	0,012
Total	54,41	0,24146	7,418

Fonte: Arredondo, 2009 ; Ferreira,2014 (adaptado) & Próprio autor.

As tabelas 10 e 11 apresentam os valores de exergia química, quantidade e os valores de exergia de cada produto obtido no processo de produção dos biodieseis. A exergia dos reagentes (MJ), foi obtida a partir do produto dos valores de exergia química (MJ/kg) com as quantidades (kg) adquiridas no processo. Para valor de exergia química das glicerinas foram utilizados dados da literatura. (ARREDONDO, 2009; OLIVEIRA, 2010)

Tabela 10 – Exergia dos produtos obtidos na produção de Biodiesel de Soja

Reagentes	Exergia química (MJ/Kg)	Quantidades (kg)	Exergia dos produtos (MJ)
Biodiesel de Soja	38,38	0,196027	7,522
Glicerina	16,26	0,024385	0,396
Total	54,64	0,220412	7,918

Fonte: Oliveira et al., 2010; (adaptado) & Próprio autor.

Tabela 11 – Exergia dos produtos obtidos na produção de Biodiesel de Babaçu.

Reagentes	Exergia química (MJ/Kg)	Quantidades (g)	Exergia dos produtos (MJ)
Biodiesel de Babaçu	36,06	0,195276	7,041
Glicerina	18,5	0,032599	0,601
Total	47,33	0,227875	7,642

Fonte: Arredondo, 2009; Ferreira (adaptado), 2014 & Autor.

Os valores apresentados na Tabela 12, são referentes às exergias dos reagentes nas diferentes proporções das blendas dos biodieseis de soja e babaçu. Para determinar os valores de exergia (MJ) de cada blenda, foi utilizada a proporção, valores de exergia química (MJ/kJ)

e quantidades (kg) utilizadas das matérias-primas. Os valores de metanol e KHO foram calculados a partir de dados de exergia química encontrados na literatura.

Tabela 12 – Exergia dos Reagentes das Blendas (B.S/B.B)

Proporção	Óleo (MJ)	Metanol (MJ)	KOH (MJ)	Total (MJ)
75/25	7,254	0,886	0,012	8,152
50/50	7,010	0,886	0,012	7,908
25/75	6,765	0,886	0,012	7,663

Fonte: Arredondo, 2009; Próprio autor.

A partir dos dados de Exergia química (MJ/kg), quantidades (kg) e proporções das misturas, foi possível calcular as exergias (MJ) dos produtos obtidos no processo. Na Tabela 13, estão apresentados os valores de Exergias das blendas dos biodieseis e das Glicerina.

Tabela 13 - Exergia dos Produtos das Blendas (B.S/B.B)

Proporções	Biodiesel (MJ)	Glicerina (MJ)	Total (MJ)
75/25	7,398	0,444	7,489
50/50	7,275	0,494	7,063
25/75	7,152	0,546	6,641

Fonte: Próprio autor.

Com a soma da exergia dos equipamentos e dos reagentes utilizados (exergia de entrada) e a soma dos produtos obtidos (exergia de saída), foi possível calcular a eficiência exergética dos processos.

Para biodiesel de soja a soma dos valores de exergia de entrada foi de 10,736 MJ e a soma das exergias de saída foram aproximadamente 7,918MJ. Onde apresentou uma diferença de 2,818MJ nas exergias de entrada e saída. No processo de produção do biodiesel de babaçu, a soma dos valores de Exergia de entrada foi de 9,758 e a soma das exergias de saída deu 7,631. Na qual apresentou uma diferença de 2,127 MJ.

A tabela 14 apresenta os valores de eficiência exergética calculas a partir das exergias de entradas e saída.

Tabela 14 – Eficiência exergetica no processo de produção do biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB).

Análise	Resultados (%)	
	BS	BB
Eficiência Exergetica	73,75	78,20

Fonte: Próprio autor.

Com os dados da tabela 14 foi possível analisar que o processo de produção do biodiesel de babaçu apresentou uma melhor eficiência. Essas diferenças estão atribuídas as perdas relacionadas ao calor e os resíduos não reativos do processo reacional, como também as irreversibilidades que ocorrem no processo. A partir dos valores de eficiências expostos na tabela referida, fica evidenciado que essas perdas são maiores no processo de produção do biodiesel de soja. Mas pode-se dizer que ambas as matérias-primas apresentaram valores de eficiência exergetica aproximados.

A tabela 15 compõe os valores de eficiência exergetica das blendas dos biodieseis de soja e babaçu nas diferentes proporções. Os valores de eficiência entre as blendas, não apresentaram grandes diferenças. O que já era esperado, pois os valores analisados individualmente, apresentaram uma pequena discrepância. Mas pode ressaltar que a mistura com melhor eficiência, foi a de maior proporção de B.B, o que já era previsto, através das análises realizadas anteriormente.

Tabela 15 – Eficiência exergetica das blendas de biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB).

Análise	Resultados (BS/BB) %		
	75/25	50/50	25/75
Eficiência Exergetica	74,58	75,57	76,76

Fonte: Próprio autor.

5.2 Analise Físico-química dos biodieseis.

A tabela 16, apresenta os resultados obtidos das análises físico-química realizada dos biodieseis de soja e babaçu, respectivamente. Os valores é uma média dos resultados, pois

todas as análises foram realizadas em triplicatas. Os valores obtidos foram comparados com os estabelecidos pela resolução da ANP nº 45/2014.

Para o índice de acidez, o valor instituído pela resolução é de até 0,5 mgKOH/g, de acordo com os resultados, os índices dos dois biodieseis estão de acordo com a norma. A massa específica, também está dentro dos parâmetros estabelecidos que é de 0,850 à 0,900 g/cm³.

Na referida resolução, é permitido no máximo 200 mg/kg de teor de umidade no biodiesel, a partir dos resultados foi possível verificar que apenas o BS está em conformidade, vale ressaltar que a norma (ASTMD6304) fala que: para efeito de fiscalização, nas autuações por não conformidade, será admitida variação de +50 mg/kg no limite do teor de água no biodiesel para o produtor e de +150 mg/kg para o distribuidor.

Na análise de estabilidade oxidativa o biodiesel ideal tem que resistir a um mínimo de 8 horas de indução, de acordo com a Resolução ANP nº 45/2014. Porém, este resultado abaixo do parâmetro já era esperado, pois a grande maioria dos biodieseis não atendem a esta especificação, sendo necessária a adição de antioxidantes.

Tabela 16 – Caracterização físico-química do biodiesel de soja (BS) e biodiesel de babaçu (BB).

Análises	Unidades	Metodologia	Resultados	
			BS	BB
Índice de Acidez	mgKOH/g	NBR 14448	0,14	0,14
Massa Específica a 20°C	g/cm ³	NBR14065	0,8848	0,8780
Teor de Umidade	mg/kg	ASTMD6304	173,76	288,43
Estabilidade Oxidativa	Horas	EN14112	3,71	6,34

Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 17, estão os resultados dos ensaios físico-químicos realizados nas misturas dos BS e BB foi verificado se as misturas estavam de acordo com os parâmetros estabelecidos pela ANP. Dentre as características analisadas, a estabilidade oxidativa foi a única que estavam em desacordo, o que já era esperado, pois como foi explicado anteriormente, a maioria dos biodieseis não atendem a essa especificação.

Tabela 17 – Caracterização físico-química das blendas (BS/BB).

Análises	Unidades	Metodologia	Resultados (BS/BB)%		
			75/25	50/50	25/75
Índice de Acidez	mgKOH/g	NBR 14448	0,14	0,14	0,14
Massa Específica a 20°C	g/cm ³	NBR14065	0,8829	0,8811	0,8789
Teor de Umidade	mg/kg	ASTMD6304	186,46	238,56	225,56
Estabilidade Oxidativa	Horas	EN14112	3,76	4,71	6,14

Fonte: Próprio autor.

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram produzidos, por meio da reação de transesterificação alcalina, biodieseis de soja e babaçu onde todos os processos reacionais foram conduzidos em escala de bancada. A partir dos biodieseis foi possível obter blendas em diferentes proporções. Realizou-se análise de exergias para as amostras dos biodieseis e das misturas e a caracterização físico-química.

O intuito da análise de exergia é qualificar e quantificar a eficiência através das perdas existente no processo de produção do biodiesel, como também verificar em qual etapa ocorrerá maior perda de trabalho útil. Com as análises dos parâmetros físico-químicos foi possível verificar se os biodieseis e as blendas estavam de acordo com as especificações da Resolução ANP nº 45/2014.

Os resultados obtidos na análise exergética, mostrou que o processo de produção do biodiesel de babaçu apresentou uma melhor eficiência exergética (78,20%) em relação ao biodiesel de soja (74,5%). Essa diferença, está relacionada as perdas existente nos processos, atribuídas as perdas por troca calor, resíduos não reativos da reação e irreversibilidades do sistema. Na análise exergética das blendas, a que apresentou melhor eficiência em termos de exergia foi a de proporção (25/75) (BS/BB), o que já era esperado, pois o processo do biodiesel babaçu teve um melhor desempenho de eficiência exergética.

Nas análises dos parâmetros físico-químicos dos biodieseis, os resultados obtidos na caracterização para teor de umidade, densidade absoluta e índice de acidez estão adequados aos parâmetros da Resolução ANP nº 45/2014. A estabilidade oxidativa apresentou-se fora do parâmetro, esse comportamento relativo a oxidação pode ser explicada pela composição em termos das cadeias poli-insaturadas dos biodieseis, porém, este resultado era esperado e para ser melhorar esse parâmetro, devem ser adicionados antioxidantes.

Com os dados de exergia, foi possível quantificar e identificar as perdas no processo, com isso viabilizar a inserção de novos processos no mercado energético, como a diversificação da cadeia produtiva a partir das blendas, conferindo-lhes características de alta qualidade, melhorando as propriedades já existentes e, minimizando ou eliminando características atuais indesejáveis e assim otimizando o rendimento no processo.

Diante os resultados, foi possível concluir que a análise exergética é de grande importância no processo de produção de biodiesel visto que ela permite a identificação e a discussão dos aspectos causadores da perda de energia útil. Embora existam as irreversibilidades nas reações químicas que envolvem a produção de biodiesel, os rendimentos mostram-se satisfatórios e para ambas as matérias-primas, os resultados ficaram com valores aproximados. No processo reacional utilizado para produção de biodiesel, a variação de parâmetros como, temperatura, tempo e reagentes químicos podem melhorar a eficiência exergética do processo e com consequência um melhor aproveitamento energético.

REFERÊNCIAS

ALVES, O.F. **Análise Sócio-econômica da Implantação de uma Usina de Biodiesel no Estado do Maranhão**. 111f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – Instituto de Desenvolvimento, Curitiba, 2010.

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**, 2ª ed. Brasília, 2005.

ANP. **Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2017.

ARAUJO, G. J. F. NAVARRO, L. F. S. SANTOS, B. A. S. **O etanol de segunda geração e sua importância estratégica ante o cenário energético internacional contemporâneo**. Fórum Ambiental da Alta Paulista, Vol. 9. São Paulo, 2013

ARREDONDO, H.I.V. **Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis**. 2009. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

BARBOZA, H. C.; OSHIRO, J. M.; MEDEIROS, P. C. S.; MANZARO, V. P. **Densímetro**. Unesp, 2014.

BRANCO, A. **Biodiesel**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 18p. 2007. Brasília: BNDES, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/oinhecimento/bnset/set3107.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

BUENO, O. C.; ESPERANCINI, Maura Seiko; TAKITANE, Tsutsui Izabel Cristina. **Produção de biodiesel no Brasil: aspectos socioeconômicos e ambientais**. Revista Ceres (2009)

ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. **Termodinâmica**. 12. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

Composição Química dos Óleos de Soja e Babaçu. Disponível em <http://www.campestre.com.br/>. Acesso em 10 out. de 2017.

- CONEJERO, M. A. **Marketing de créditos de carbono: um estudo exploratório. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006.**
- DE MELO, M. A. R. **Avaliação dos Parâmetros de Biodiesel e Blendas Durante Armazenamento.** 2014. 90 páginas. Tese de doutorado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa-PB, 2014.
- FERREIRA, M. E. M. **Análise exergoeconômica da produção de biodiesel de babaçu obtido por via metilica e etilica .**2014, 168f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Paraná-PR.
- GALVÃO, I. P. F. C. **avaliação termoanalítica da eficiencia de antioxidantes na estabilidade oxidativa do biodiesel de mamona.** Dissertação de mestrado em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007, Natal, RN.
- KOTAS, T. J. **The Exergy Method of Thermal Plant Analysis.** ed. Melbourne: Krieger,1995.
- LIMA, J. R. O.; SILVA, R. B.; SILVA, C. C. M.; SANTOS, L. S. S.; SANTOS Jr., J. R.; MOURA, E. M.; MOURA, C.V.R.; **Biodiesel de babaçu (Orbignya sp.) Obtido por via Etanólica.** Química Nova. 2007, vol. 30, nº03, 600-603.
- LUTZ, I. A. (2004). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos.** São Paulo: 1004
- MATTEI, L. **Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): Trajetória, Situação Atual e Desafios.** Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2010.
- MENDES, A. P. A.; COSTA, R. C. **Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras.**
- MME, Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética – Brasil. **Balanco Energético Nacional.** Brasília: MME : EPE, 2017. Disponível em: Disponível em <http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicacoes.html>. Acesso em 13 nov. 2017.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Fundamentos de Termodinamica para Engenharia.** 6º ed. LTC, 2009.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Óleos e gorduras vegetais (processamento e análises).** Ed. UFSC: Florianópolis, 1989.
- MYTHILI, R. et al. **Production characterization and efficiency of biodiesel: a review.** International Journal Of Energy Research, v. 38, p.1233-1259, 15 fev. 2014.

OLIVEIRA, E.L.B., *et al.* **Análise exergética da produção de biodiesel a partir de óleo de cocção em escala laboratorial.** In: Anais do XI Salão de Iniciação Científica, Pontífica Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2010.

OLIVEIRA, R. S. de. **Os desafios das mudanças climáticas em face das novas relações de poder na era da informação global.** In: MENEZES, Wagner. Estudos de direito internacional: anais do 6º Congresso Brasileiro de Direito Internacional. Curitiba: Juruá. 2008. p. 255-264 – v. XIV

ORTIZ, P. A.S; FLOREZ-OREGO, D. **Exergia: conceituação e aplicação.** Apostila, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2013.

PARENTE, E.J.S.; **Uma Aventura Tecnológica Num País Engraçado.** Unigráfica, Fortaleza, (2003).

PLÁ, J. A. Perspectivas do biodiesel no Brasil. **Indicadores Econômicos FEE.** Porto Alegre, v.30, n. 2, p. 179-190, set. 2002.

RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: **Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental parao Brasil.** Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, v. 31, p. 28-37, jul./dez.2003.

ROJAS, S. P. **Análise Exergética, Termoeconômica e Ambiental de um Sistema de Geração de Energia.** Estudo de Caso: Usina Termoelétrica UTERio Madeira.2007. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2007.

SANTOS, J.R.J. **Biodiesel de Babaçu: Quimiometria, Misturas Binárias e Avaliação Térmica.** João Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Tese de Doutorado, 2008.

SANTOS, N. A.; SANTOS, J. R. R.; SINFRONIO, F.M.S.; BICUDO, T.C.; SANTOS, I.M.G.; ANTONIOSI, N.R. FILHO, FERNANDES,V.J. JR e SOUZA, A.G. **Thermo-oxidative stability and cold flow peoperties of babassu biodiesel by PDSC and tmdsc techniques.** J. Them Anal. Calorim.2009

SEGURA, M. L. **A evolução da matriz energética brasileira: O papel dos biocombustíveis e outras fontes alternativas.** Universidade Estadual de Londrina. São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://carollinasalle.jusbrasil.com.br/artigos/122363205/a->

evolucao-da-matriz-energetica-brasileira-o-papel-dos-biocombustiveis-e-outras-fontes-alternativas>.Acesso em: 11 nov. 2017

SILVA, C. L. M. **Obtenção de Ésteres Etilicos a partir da Transesterificação do Óleo de Andiroba com Etanol**. Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2005.

SZARGUT, J. **Sequence Method of Determination of Partial Exergy Losses in Thermal Systems**. Exergy, an International Journal, v. 1(2), 2001.

SZARGUT, J., MORRIS; D. R., STEWARD F. R. **Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes**. 1988, New York, Hemisphere Publishing Corporation.

TALENS, L., VILLALBA, G.; GABARRELL, X. **Exergy analysis applied to biodiesel production**. Resources Conservation & Recycling, v. 51, p.397-407, 2007.

TEIXEIRA, G. A. A. **Avaliação do tempo de vida útil de Biodiesel Metílico obtido a partir da Mistura de Sebo Bovino e Óleos de Soja e babaçu**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Química. João Pessoa, PB. 2010.

TSATSARONIS, G.; PARK, M. **On Avoidable and Unavoidable Exergy Destructions and Investment Costs in Thermal Systems**. Energy Conversion & Management, v. 43, p. 1259-1270, 2002.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia**. 2012.76f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.

YAMAOKA, R. S. **Biodiesel: Matérias Primas**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bioenergia, Secretaria do Estado da C&t e Ensino Superior, Londrina, 2014.