



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Aeroespacial

Estudo e análise sobre frações destiladas de biodiesel oriundos de óleo de soja e óleo de macaúba, para inserção em misturas de querosene de aviação.

Autor: Athos Campos Carvalho de Freitas
Orientador: PhD, Maria del Pilar Hidalgo Falla.

Brasília, DF
2022



Athos Campos Carvalho de Freitas

Estudo e análise sobre frações destiladas de biodiesel oriundos de óleo de soja e óleo de macaúba, para inserção em misturas de querosene de aviação.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial .

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: PhD, Maria del Pilar Hidalgo Falla.

Brasília, DF

2022

Athos Campos Carvalho de Freitas

Estudo e análise sobre frações destiladas de biodiesel oriundos de óleo de soja e óleo de macaúba, para inserção em misturas de querosene de aviação./ Athos Campos Carvalho de Freitas. – Brasília, DF, 2022-

35 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: PhD, Maria del Pilar Hidalgo Falla.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2022.

1. Bioquerosene. 2. Biodiesel. I. PhD, Maria del Pilar Hidalgo Falla. . II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Estudo e análise sobre frações destiladas de biodiesel oriundos de óleo de soja e óleo de macaúba, para inserção em misturas de querosene de aviação.

CDU 02:141:005.6

Athos Campos Carvalho de Freitas

Estudo e análise sobre frações destiladas de biodiesel oriundos de óleo de soja e óleo de macaúba, para inserção em misturas de querosene de aviação.

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial .

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 07 de Outubro de 2022:

PhD, Maria del Pilar Hidalgo Falla.
Orientador

**MSc, Lays Furtado de Medeiros Souza
Kataoka.**
Convidado 1

Eng. Diego Cardoso de Souza.
Convidado 2

Brasília, DF
2022

"A maior necessidade do mundo é a de homens – homens que se não comprem nem se vendam; homens que, no íntimo da alma, sejam verdadeiros e honestos; homens que não temam chamar o pecado pelo seu nome exato; homens cuja consciência seja tão fiel ao dever como a bússola o é ao polo; homens que permaneçam firmes pelo que é reto, ainda que caiam os céus".

(Educação, Pág. 57, Ellen Gould White)

Resumo

Devido os impactos dos gases de efeito estufa na atmosfera, resultando no aquecimento global, entidades internacionais ligadas ao setor aéreo, como a Associação Internacional dos Transportes Aéreos (IATA), tem como proposta a redução na emissão de gases do efeito estufa. Este trabalho tem como objetivo principal produzir e destilar biodiesel para a obtenção de frações mais leves, a fim de serem misturadas ao querosene de aviação. Para tanto primeiramente foi elaborado biodiesel a partir do óleo de macaúba e soja usados, em fritura e ao natural. A partir das amostras de biodiesel, foi feita a destilação em duas faixas de temperatura pré determinadas e posteriormente foi feita a espectroscopia em infravermelho das frações destiladas, dos biodieseis e dos resíduos da destilação, a título de comparação. Como produtos da destilação, eram esperados éteres metílicos de cadeia carbônica curta. O espectros de infravermelho relataram misturas bastante parecidas entre si, com poucas bandas de diferença, causadas pelo processo de destilação. Foi observado que em relação ao diesel derivado de petróleo, o biodiesel e suas frações contém ainda traços de glicerol em sua composição.

Palavras-chaves: Bioquerosene. Biodiesel. Soja. Macaúba.

Abstract

Due to the impacts of greenhouse gases in the atmosphere, resulting in global warming, international entities linked to the airline industry, such as the International Air Transport Association (IATA), have a proposal to reduce the emission of greenhouse gases. This work has as main objective to produce and distil biodiesel to obtain lighter fractions, in order to be mixed with aviation kerosene. For this purpose, biodiesel was firstly prepared from macaúba oil and soy used for frying and raw. From the biodiesel samples, distillation was performed in two predetermined temperature ranges and subsequently infrared spectroscopy was performed on the distilled fractions, biodiesel and distillation residues, by way of comparison. As distillation products, short carbon chain methyl ethers were expected. The infrared spectra reported mixtures very similar to each other, with few bands of difference, caused by the distillation process. It was observed that in relation to diesel derived from petroleum, biodiesel and its fractions still contain traces of glycerol in its composition.

Key-words: Biokerosene. Biofuel. Soybean Oil. Macauba Oil.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Distribuição de Emissões de CO ₂ (IATA, 2013)	13
Figura 2 – Matérias Primas Utilizadas Para A Produção de Biodiesel (ANP, 2015)	17
Figura 3 – Equação Geral da Transesterificação	18
Figura 4 – Equação geral para transesterificação de triglicerídeos.	18
Figura 5 – Amostra da preparação de biodiesel de soja após o término da reação de transesterificação.	21
Figura 6 – Amostra da preparação de biodiesel de macaúba após o término da reação de transesterificação.	21
Figura 7 – Amostra da preparação de biodiesel de macaúba e soja, utilizados em frituras de alimentos, após o processo de decantação	22
Figura 8 – Amostra da preparação de biodiesel de macaúba e soja, sem utilização, após o processo de decantação. Fonte: Autor.	23
Figura 9 – Todas as amostras após a separação da glicerina.	23
Figura 10 – Sistema de destilação composto por manta térmica, coluna revestida com lã de vidro e papel alumínio, junta de conexão, termômetro e condensador.	24
Figura 11 – Equipamento para a análise FTIR da Thermo Scientific.	26
Figura 12 – Espectros em Infravermelho para os Biodieseis produzidos.	27
Figura 13 – Espectros em Infravermelho para para as primeiras frações destiladas de cada biodiesel. Fonte: Autor	28
Figura 14 – Espectros em Infravermelho para para as segundas frações destiladas de cada biodiesel.	29
Figura 15 – Espectros em Infravermelho para para os resíduos da destilação de cada biodiesel.	30
Figura 16 – Espectros em Infravermelho para para diesel comum, biodiesel de soja, e óleo de soja (MAHAMUNI; ADEWUYI, 2009).	31

Lista de tabelas

Tabela 1 – Porcentagem de Matéria-prima utilizada para a produção de Biodiesel por região, Março 2015 (ANP, 2015)	17
Tabela 2 – Amostras de destilados.	25

Sumário

	Introdução	10
1	OBJETIVOS.	11
1.1	Objetivo Principal.	11
1.2	Objetivo Secundário.	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	12
2.1	Problemas Ambientais e Econômicos.	12
2.2	Querosene de Aviação	13
2.3	Bioquerosene de Aviação.	15
2.4	Biodiesel.	16
2.4.1	Transesterificação.	18
2.5	Técnica de Caracterização.	19
2.5.1	Espectroscopia no infravermelho (FTIR)	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.	20
3.1	Produção do Biodiesel.	20
3.2	Destilação Fracionada.	24
3.3	Espectroscopia de Infravermelho - FTIR.	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.	27
5	CONCLUSÃO.	32
	REFERÊNCIAS	33

Introdução

O setor aéreo depende indiscutivelmente dos combustíveis fósseis e a utilização desse tipo de matriz energética causa a poluição do meio ambiente e um de seus efeitos é a contribuição para o aquecimento global. Estudos indicam que o setor é responsável por apenas 2 % das emissões de gases do efeito estufa; porém, por mais que o percentual de contribuição do setor de aviação ao aquecimento global seja pequeno, deve-se levar em consideração que essas emissões são mais prejudiciais se comparadas com emissões de outras fontes, de acordo com o Painel Inter-governamental de Mudanças Climáticas (IPCC), isso acontece pelo fato de os poluentes serem lançados na atmosfera em grandes altitudes, o que potencializa os efeitos do dióxido de carbono, intensificando o aquecimento global (METZ et al., 2007). A indústria da aviação vem se comprometendo com a redução dos seus impactos ambientais e busca uma fonte alternativa ao querosene fóssil, motivado por sua flutuação da cotação internacional relacionado à instabilidade econômica, política e social dos países integrantes da OPEP, ao aumento da demanda por transporte aéreo em contra-partida a fonte não renovável que é o petróleo e o atendimento de parâmetros ambientais de órgãos de referência como a Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA); Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO) e Grupo de de Ação dos transportes Aéreos (ATAG). A indústria almeja alcançar seus objetivos quanto a redução de emissões por meio do desenvolvimento de novas tecnologias menos agressivas ao meio ambiente, melhorias na infra estrutura e nas operações portuárias e o desenvolvimento e aprimoramento das práticas do estímulo à economia de combustíveis.

O setor de transporte aéreo mundial tem sido pressionado para reduzir suas emissões de CO₂, com uma meta de atingir um crescimento neutro em carbono até 2020 e reduzir em 50 % as emissões de dióxido de carbono (dos níveis de 2005) até 2050 (GIACC, 2009).

1 Objetivos.

1.1 Objetivo Principal.

- Produzir biodiesel a partir de diferentes matérias-primas (óleo de macaúba e óleo de soja) utilizadas tanto em frituras quanto naturais e realizar a destilação dos biodieseis produzidos, a fim de encontrar frações mais leves a serem misturadas ao querosene de aviação.

1.2 Objetivo Secundário.

- Observar e analisar espectros de infravermelho de amostras destiladas de biodiesel sob a perspectiva da utilização em misturas com o querosene de aviação, na intenção de reduzir a emissão de gases poluentes.

2 Revisão Bibliográfica.

2.1 Problemas Ambientais e Econômicos.

O desenvolvimento econômico da sociedade está atrelado ao uso de energia, que em sua grande parte é obtida de fontes não renováveis. Tais fontes de energia são oriundas do petróleo, portanto, de origem fóssil o que agrava o problema ambiental já que a energia é extraída dessa fonte através de sua combustão (CGEE, 2010). O produto da combustão destes combustíveis são gases com propriedades tóxicas e causadoras do desequilíbrio ambiental. Estes gases são causadores de várias enfermidades. De uma forma abrangente, as propriedades nocivas dos principais contaminantes incidem sobre doenças oftalmológicas, dermatológicas, cardiovasculares e principalmente as respiratórias, como enfisema, asma e câncer de pulmão, e também são os principais agentes do efeito estufa (GUARIEIRO; VASCONCELLOS; SOLCI, 2011).

A economia mundial se coloca em um estado de fragilidade devido a dependência da obtenção de energia a partir do petróleo e seus derivados. A história mundial, em suas crises, está diretamente relacionada ao petróleo. A economia mundial é extremamente dependente dos preços do petróleo, principalmente porque as reservas de petróleo estão localizadas em lugares de instabilidade social e política o que leva a grandes oscilações nos preços (LLAMA et al., 2012) e a uma série de problemas de adaptação a fim de reestabelecer o equilíbrio econômico (MARTINS, 1997).

O Brasil sofreu com a crise do petróleo de 1973 e naquele momento o governo brasileiro adotou uma política denominada de “Desaceleração Progressiva”. Dentre as estratégias adotadas pode-se citar o desenvolvimento de projetos para a produção de álcool oriundo de cana-de-açúcar destinado a substituir a gasolina automotiva (MARTINS, 1997). Portanto essa atitude por parte do governo brasileiro culminou na busca por fontes de energias alternativas (CGEE, 2010).

De acordo com o setor aeronáutico, a responsabilidade da indústria aeronáutica é de aproximadamente 2% das emissões globais de CO₂ em comparação com outros tipos de mídia (figura 1). Em termos de transporte, o transporte aéreo é responsável por 12% das emissões de GEE (ATAG, 2014). Mesmo que a contribuição seja pequena, é importante lembrar que essas emissões acontecem em regiões de altitude elevada que contribuem para o aumento do aquecimento global. Para reduzir a contribuição do setor para as emissões de gases de efeito estufa, o setor de aviação tem o objetivo de reduzir até 2050 as emissões líquidas de dióxido de carbono em 50% em relação aos níveis de 2005 (IATA, 2013).

O Brasil já avançou no uso de fontes renováveis em sua matriz energética. Fontes

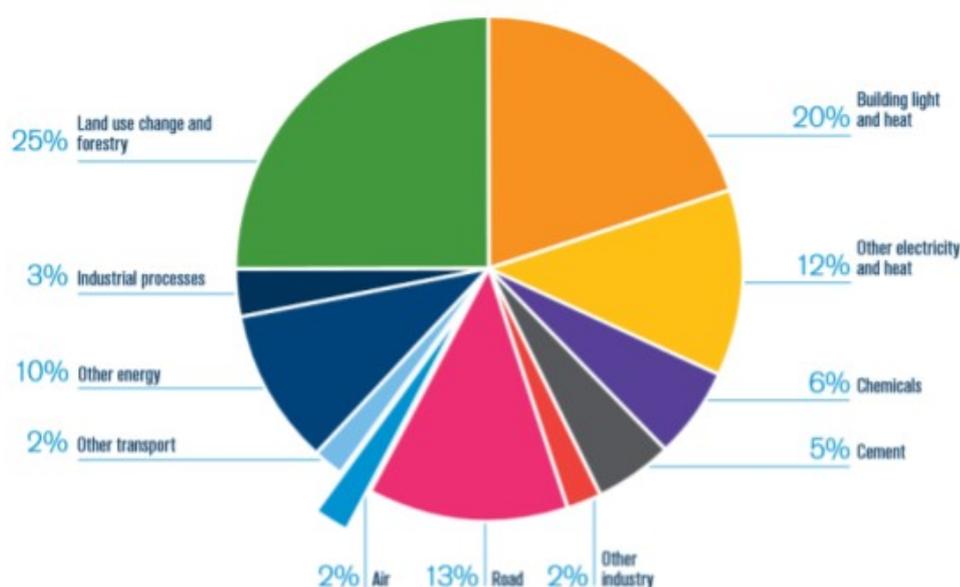


Figura 1 – Distribuição de Emissões de CO₂ (IATA, 2013)

Renováveis na matriz Brasileira de energia compreendem 42%, o que é muito superior a 13% que é a média mundial e 9% proposto pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (EPE, 2016). No entanto, o uso de biocombustíveis em aviação ainda é insignificante porque são considerados de baixa competitividade com combustíveis fósseis para aviação (GEGG; BUDD; ISON, 2014; SMITH et al., 2017).

Algumas fontes de energia renovável não são consideradas competitivas com combustíveis de origem fóssil. No entanto, a competitividade deve ser observada a partir da dimensão social e ambiental e não apenas do aspecto econômico (LINS et al., 2012; SANTOS et al., 2017). O uso de biocombustíveis tem muitos benefícios potenciais, como a redução das emissões de GEE, geração de emprego e renda, redução das disparidades regionais e incentivo à pesquisa e inovação. Além disso, este novo mercado pode criar oportunidades para a diversificação da matriz energética, para a redução da dependência do combustível fóssil de aviação, e para o desenvolvimento da indústria de biojatos. No entanto, algumas incertezas precisam ser abordados para construir uma base sólida para o mercado de biojatos no país. Estudos também investigaram os principais desafios do mercado de biocombustíveis para jatos no mundo. Isso mostra que as dificuldades enfrentadas pelos mercados não são exclusivos do Brasil. (de Souza; MENDES; ARANDA, 2018).

2.2 Querosene de Aviação

O combustível mais usado na aviação brasileira é o querosene de aviação (QAV), conhecido internacionalmente como JET A1. Tal combustível é de origem fóssil, composto

por hidrocarbonetos parafínicos de 9 a 16 carbonos, sendo uma fração extraída do petróleo que se situa entre a gasolina e o diesel, ou seja, suas moléculas são mais pesadas que a gasolina e mais leves que o diesel (ANP, 2019a). O uso do querosene nas turbinas deve-se ao fato de ser o mais estável e não apresentar problemas de congelamento em altas altitudes, onde há baixas pressões e temperaturas. Pelo motivo da dependência de combustíveis líquidos de alta densidade energética os quais permitam longas autonomias de voo sem aumento do peso e volume de carga a ser transportado, o setor aéreo possui poucas alternativas em relação aos combustíveis convencionais (NYGREN; ALEKLETT; Höök, 2009).

Os combustíveis aeronáuticos devem apresentar características específicas, como ter alta densidade energética, permitir que os motores desenvolvam potência elevada, apresentar volatilidade adequada e baixo ponto de congelamento, não conter água em solução, ser quimicamente estável e apresentar baixa corrosividade. Para que possam atender essas especificações, geralmente são aditivados (em quantidade e composição sujeitas a aprovação e controle) (CGEE, 2010). A especificação dos querosenes de aviação no Brasil é determinada pela Resolução ANP nº 778, de 5 de abril de 2019. Para alcançar a especificação desejada, atendendo as exigências de desempenho, transporte, armazenamento e segurança, os combustíveis aeronáuticos usualmente recebem aditivos. Tais produtos, em teores reduzidos, normalmente mensuráveis em partes por milhão, fornecem qualidades melhoradas ou especiais, devendo ter sua composição e quantidade máxima a ser adicionada sujeita a aprovação e controle. Apresenta-se, a seguir, exemplos dos principais aditivos utilizados em combustíveis aeronáuticos (SILVEIRA, 2006).

- **Antidetonantes:** aumentam a octanagem da gasolina e, possibilitam seu uso em motores a pistão com taxas de compressão mais altas. Em geral, é utilizado o chumbo tetraetila.
- **Antioxidantes:** inibem a formação de peróxidos, que podem ser precursores de gomas e depósitos.
- **Dissipadores de cargas eletrostáticas:** evitam o risco de explosão na hora do abastecimento, pois durante o voo a aeronave está em constante fricção com o ar, ficando carregada de eletricidade eletrostática, que pode dar origem a pequenas descargas elétricas, fonte de risco de incêndios e explosões.
- **Anticorrosivos:** inibem a corrosão das partes metálicas do sistema de alimentação e dos tanques de combustível.
- **Anticongelantes:** reduzem a temperatura em que se formam os primeiros cristais no combustível.

É de grande importância observar os níveis de consumo dos combustíveis, pois apesar da queda geral no consumo de combustíveis no Brasil no ano de 2018 em relação ao ano anterior, o consumo de Querosene de aviação no Brasil subiu consideravelmente. As vendas de QAV atingiram 7,2 milhões de m³, com alta de 7% em relação a 2017 (ANP, 2019b). Vale lembrar que ao ser consumido em maior escala, maior será o custo que as companhias aéreas terão com o combustível e maior será a emissão dos gases do efeito estufa.

2.3 Bioquerosene de Aviação.

O Bioquerosene no Brasil é definido na Lei nº 12.490/2011 e, também na resolução da ANP, nº 63 de 2014, como substância derivada de biomassa renovável que pode ser usada em turborreatores e turbopropulsores aeronáuticos ou, conforme regulamento, em outro tipo de aplicação que possa substituir parcial ou totalmente o combustível de origem fóssil.

O bioquerosene tem a característica de ser uma nova tecnologia para a produção de combustível de aeronáutica do tipo "drop-in", sendo "drop-in" definido como: "O combustível alternativo indistinguível do combustível convencional e que não requer modificações para a infra-estrutura de abastecimento, no motor ou na aeronave, ou seja, é um combustível que pode ser misturado ao querosene fóssil que possui propriedades físico-químicas indistinguíveis e pode ser misturado ao combustível tradicional, para proporcionar desempenho e segurança sem modificações ou alterações em sistemas aeronáuticos, motores ou infra-estruturas de distribuição e armazenamento (IATA, 2013)

O Bioquerosene é um combustível derivado de fontes naturais, podendo ser estas de origem natural ou animal, mas num geral são óleos leves ricos em glicerídeos contendo cadeias de ácidos graxos que possuem de 6 a 14 átomos de carbono. O Bioquerosene é definido quimicamente como um metil éster de ácido graxo. As principais fontes vegetais são o óleos de côco, palma, babaçu, macaúba e soja (LLAMA et al., 2012). O processamento ou biorrefino pode ser feito através de processos químicos, termoquímicos e bioquímicos (CGEE, 2010).

Uma das principais vantagens do uso do bioquerosene é a menor poluição em relação aos combustíveis fósseis. Embora sua combustão também produza dióxido de carbono (um gás de efeito estufa), os biocombustíveis acabam reduzindo esse dano ambiental durante seu ciclo de produção. Isso porque eles vêm de plantas que absorvem dióxido de carbono e, assim, compensam o carbono emitido para a atmosfera durante a combustão (REYNOL, 2007).

2.4 Biodiesel.

Tendo em vista a crescente demanda por combustíveis de fontes renováveis, aliada à preservação do meio ambiente, o uso de biocombustíveis torna-se cada vez mais importante no cenário nacional e internacional. Nesse contexto, a produção e o consumo de biodiesel têm assumido grande importância na matriz energética dos países produtores.

Os óleos vegetais geralmente contêm ácidos graxos livres, fosfolipídios, esteróis, água, odorantes e outras impurezas. Por causa disso, o óleo não pode ser usado como combustível diretamente. Para superar estes problemas é necessário fazer uma modificação química na estrutura do óleo. Os métodos utilizados para alteração estrutural do óleo podem ser a transesterificação, pirólise ou emulsificação. Dentre estas, a transesterificação é a chave e o passo mais importante para produzir o combustível mais limpo e ambientalmente seguro a partir de óleos vegetais.

Biodiesel são ésteres monoalquílicos de ácidos graxos de cadeia longa derivados de rações renováveis estoques, como óleo vegetal ou gordura animal, para uso em motor de ignição por compressão. O biodiesel, que é considerado um possível substituto do diesel convencional, é comumente, composto de ésteres metílicos de ácidos graxos que podem ser preparados a partir de triglicerídeos em óleos vegetais por transesterificação com metanol. O biodiesel resultante é bastante semelhante ao diesel convencional em suas principais características (MEHER; SAGAR; NAIK, 2004).

A busca por uma fonte alternativa de combustível renovável, tecnicamente, e economicamente viável tem crescido consideravelmente nos últimos anos no Brasil. O biodiesel, por ser quase totalmente compatível com diesel de origem fóssil e uma fonte de energia parcialmente renovável, está tomando espaço na matriz energética Brasileira devido oferecer algumas vantagens em relação ao diesel mineral. (KNOTHE; STEIDLEY, 2009).

O incentivo à produção do biodiesel, independentemente de sua fonte de matéria-prima, visa reduzir cada vez mais a poluição que o diesel mineral produz, declarado no Plano Nacional de Energia 2030 - relatório criado em 2007 pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, para o Departamento de Minas e Energia: “a diretriz básica, inerentemente considerada na projeção do consumo final de energia, é priorizar o uso de energia renovável. Assim, em todos os cenários, o crescimento de biodiesel e etanol [pode] ocorrer no lugar de combustíveis derivados de petróleo, especialmente diesel e gasolina” (p. 16)(EPE, 2016). Assim, a importância do biodiesel cresce à medida que sua produção e consumo têm aumentado desde 2005, apesar de todas as dificuldades que o biodiesel enfrenta no Brasil, em parte devido ao domínio esmagador de soja como a principal matéria-prima (ANP, 2015), como mostrado na Figura 2 e novamente na Tabela 1, onde as matérias-primas foram distribuídas por percentuais, por região.

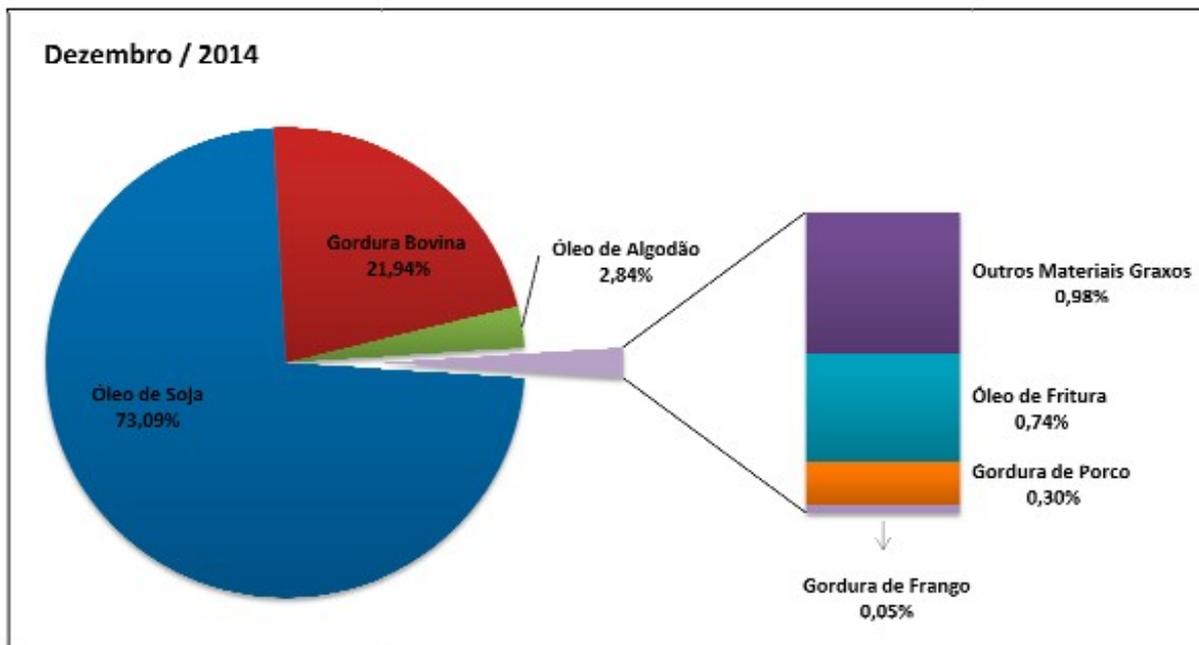


Figura 2 – Matérias Primas Utilizadas Para A Produção de Biodiesel (ANP, 2015)

Matéria-prima	Norte	Nordeste	Centro-oeste	Sudeste	Sul
Óleo de Soja	84,93	56,76	89,01	40,09	71,62
Sebo bovino	15,07	23,63	9,12	55,84	25,53
Óleo de algodão		14,24	0,86		
Outras gorduras		1,85		0,14	0,78
Óleo de cozinha usado		0,42	0,75	1,87	0,52
Gordura de porco			0,23		
Óleo de palma		3,10		2,06	

Tabela 1 – Porcentagem de Matéria-prima utilizada para a produção de Biodiesel por região, Março 2015 (ANP, 2015)

2.4.1 Transesterificação.

A transesterificação ou alcoólise é o deslocamento do álcool de um éster por outro em um processo semelhante à hidrólise, exceto que o álcool é usado em vez de água (SRI-VASTAVA; PRASAD, 2000). Este processo tem sido amplamente utilizado para reduzir a alta viscosidade dos triglicerídeos. O reação de transesterificação é representada pela equação geral como na Figura 3 .

Se o metanol é usado neste processo, é chamado de metanólise. Metanólise de triglicerídeo é representado na Figura 4.

A transesterificação é uma das reações reversíveis que ocorre essencialmente pela mistura dos reagentes. No entanto, a presença de um catalisador (um ácido ou base forte) acelera a conversão.

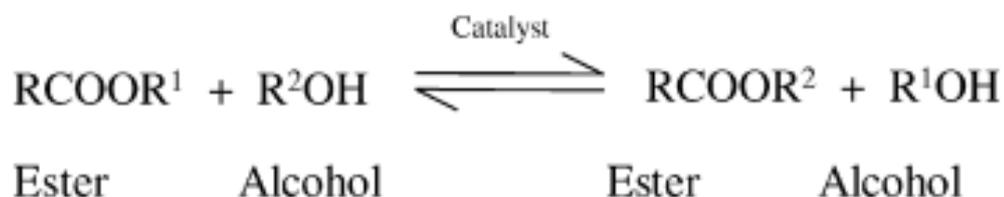


Figura 3 – Equação Geral da Transesterificação

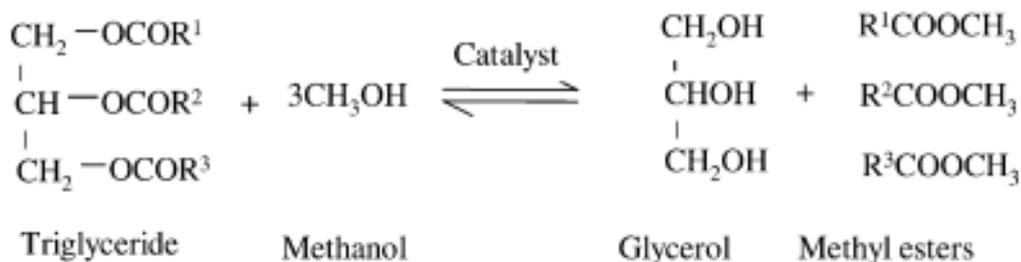


Figura 4 – Equação geral para transesterificação de triglicerídeos.

2.5 Técnica de Caracterização.

2.5.1 Espectroscopia no infravermelho (FTIR)

A técnica FTIR é uma ferramenta versátil aplicada a determinações qualitativas e quantitativas de espécies moleculares de todos os tipos. A absorção da radiação eletromagnética na região do infravermelho por parte de uma molécula provoca uma alteração no seu momento dipolar. Um espectro de FTIR é obtido quando se incide radiação em uma amostra, determinando a quantidade de radiação que é absorvida por ela. A intensidade das bandas no espectro de absorção corresponde à frequência de vibração na molécula. O espectro IR- médio na região de 4000 e 400 cm^{-1} é bastante utilizado para investigações estruturais de compostos moleculares, particularmente compostos orgânicos e espécies de interesse em bioquímica. Nos espectros FTIR, as intensidades das bandas tanto podem ser apresentadas em termos de absorbância (A , *u.a.*) quanto de transmitância (T , %). Já a posição das bandas pode ser encontrada em termos de comprimento de onda (λ , μm), porém, é mais comum serem expressas em números de onda (ν , cm^{-1}), que é proporcional à energia de vibração da molécula (SKOOG et al., 2002).

3 Materiais e Métodos.

3.1 Produção do Biodiesel.

Para a produção do Biodiesel foram utilizados óleo de soja e de macaúba, duas amostras de cada, uma de óleo usado na fritura de alimentos e outra de óleo sem utilização alguma, totalizando quatro amostras ao todo. A reação química utilizada para a obtenção do biodiesel foi a transesterificação utilizando-se o metanol, e como catalizador foi utilizado hidróxido de potássio.

Primeiramente foi preparada uma solução de metóxido de potássio ou seja, uma mistura de hidróxido de potássio e metanol. Para cada 100 ml de óleo, 1,5 g de hidróxido de potássio (KOH) foi misturado a 35 ml de metanol com o auxílio de agitação e controle de temperatura (45 °C) até a completa dissolução do KOH, para que fosse obtido o melhor rendimento da reação (RABELO, 2001). Ao todo foi utilizado 300 ml de óleo de cada amostra, portanto, para cada amostra foi utilizado 4,5 g de KOH e 105 ml de metanol, para que a proporção fosse mantida.

Em um erlenmeyer de 500 ml foram adicionados 300 ml de óleo e com o auxílio de um agitador magnético com aquecimento. Sob agitação o material foi aquecido até os 45° C e então foi adicionado a solução de metóxido de potássio (4,5 g de KOH diluído em 35 ml de metanol), e a mistura reacional permaneceu 30 minutos a 70° C, sob agitação. Este processo foi repetido para cada uma das 4 amostras.

As figuras 5 e 6 mostram apenas as amostras de biodiesel de soja e macaúba que foram utilizados na fritura de alimentos. Estas imagens foram feitas logo após o fim das reações de transesterificação. Ambos os óleos foram devidamente filtrados antes do início das reações.

Posteriormente, as misturas reacionais foram transferidas para um funil de separação para permitir a decantação e separação das fases: superior contendo biodiesel e inferior composta de glicerina, sabões, excesso de base e álcool. Cada uma das misturas foi colocada em um balão de decantação de 500 ml e foi aguardado um período de aproximadamente 24h de decantação.



Figura 5 – Amostra da preparação de biodiesel de soja após o término da reação de transesterificação.

Fonte: Autor, 2022.



Figura 6 – Amostra da preparação de biodiesel de macaúba após o término da reação de transesterificação.

Fonte: Autor, 2022.



Figura 7 – Amostra da preparação de biodiesel de macaúba e soja, utilizados em frituras de alimentos, após o processo de decantação

Fonte: Autor, 2022.



Figura 8 – Amostra da preparação de biodiesel de macaúba e soja, sem utilização, após o processo de decantação. Fonte: Autor.



Figura 9 – Todas as amostras após a separação da glicerina.

Fonte: Autor, 2022.

As figuras 7, 8 mostram as 4 amostras em fase de decantação completa. Já a figura 9 mostra as amostras já separadas dos resíduos da glicerina, com o biodiesel completamente elaborado.

3.2 Destilação Fracionada.

Após os processo de elaboração de cada amostra de biodiesel, foi preparado um sistema para que este pudesse ser destilado para extração das frações leves referentes ao bioquerosene.

O biodiesel produzido passou por processo de destilação simples com cortes, realizada a pressão atmosférica, utilizando para isso um aparelho de destilação, composto de balão de fundo redondo de 500 mL, coluna de destilação do tipo vigreux de 300 mm, junta de conexão com saída lateral para conexão de condensador e abertura superior para conexão de rolha perfurada com inserção de termômetro. A coluna de destilação foi isolada com utilização de lã de vidro e revestida em papel alumínio. Como fonte de aquecimento foi utilizada uma manta.

Para estudo da composição do destilado em relação ao teor de ésteres, foi realizada a destilação de 250 mL de cada biodiesel produzido, sendo recolhidas 2 frações consecutivas de 20 mL, armazenadas separadamente. As temperaturas do topo da coluna foram monitoradas e registradas durante o processo.



Figura 10 – Sistema de destilação composto por manta térmica, coluna revestida com lã de vidro e papel alumínio, junta de conexão, termômetro e condensador.

Fonte: Autor, 2022.

Segundo Luiz Harter ([HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018](#)) as temperaturas de corte de destilação que melhor apresentaram a presença de ésteres de cadeia curta, ou

seja , destilados com maiores teores de C8 a C14 e menores teores em C18:0 e C18:1, foram obtidos entre as temperaturas de 110°C e 270°C. Utilizando essas temperaturas como base, sabendo que os ésteres de cadeia curta seriam obtidos dentro dessa faixa de temperaturas, foram recolhidas duas amostras de destilação para cada biodiesel, a primeira numa faixa de 110°C a 130°C e a segunda na faixa de 130°C a 150°C, resultando num total de 8 amostras destiladas.

Amostras Destiladas	Temperatura	Volume destilado
Biodiesel de Soja Cru 1	110°C-130°C	20 ml
Biodiesel de Soja Cru 2	130°C-150°C	20 ml
Biodiesel de Macaúba Cru 1	110°C-130°C	20 ml
Biodiesel de Macaúba Cru 2	130°C-150°C	20 ml
Biodiesel de Soja Usado 1	110°C-130°C	20 ml
Biodiesel de Soja Usado 2	130°C-150°C	20 ml
Biodiesel de Macaúba Usado 1	110°C-130°C	20 ml
Biodiesel de Macaúba Usado 2	130°C-150°C	20 ml

Tabela 2 – Amostras de destilados.

Fonte: Autor, 2022.

3.3 Espectroscopia de Infravermelho - FTIR.

Após o recolhimento das amostras, foi utilizado Espectrofotômetro de Infravermelho NicoletTM 10 FT-IR Spectrometer- Thermo Scientific e acessório ATR com cela de ZnSe para a análise de cada uma das amostras. E além das amostras também foi feito a espectrometria de infravermelho nos resíduos da destilação e também em cada biodiesel utilizado na destilação.

Figura 11 – Equipamento para a análise FTIR da Thermo Scientific.



Fonte: Autor, 2022.

4 Resultados e Discussão.

Para início de discussão, será apresentado primeiramente os espectros obtidos para as amostras de biodiesel iniciais.

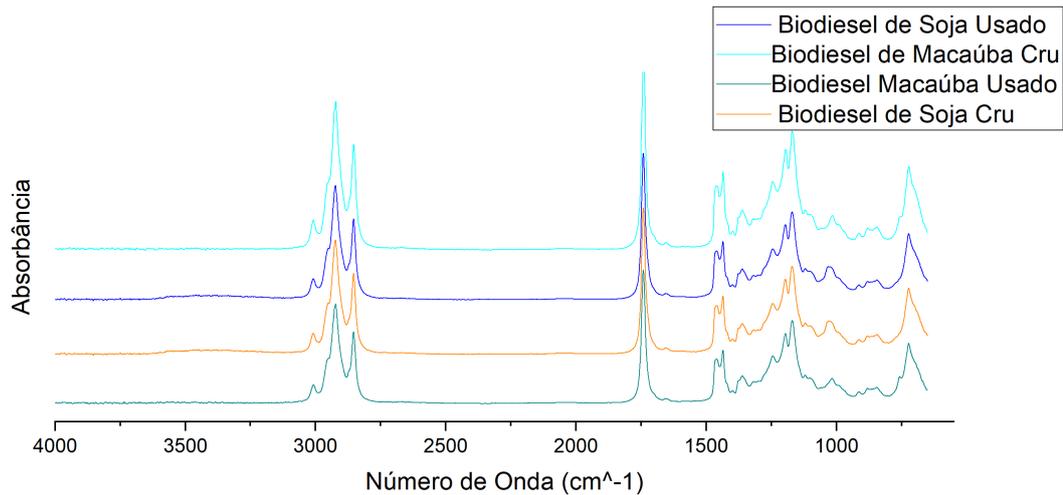


Figura 12 – Espectros em Infravermelho para os Biodieseis produzidos.

Fonte: Autor, 2022.

Os componentes principais do diesel são hidrocarbonetos alifáticos, os quais as estruturas químicas são similares as longas cadeias carbonicas dos principais componentes do biodiesel. Os hidrocarbonetos alifáticos observados entre 2928 e 2856 cm^{-1} são indicados na Figura 12. A observação de um pico de absorção em 727 cm^{-1} sugere o CH_2 em flexão fora do plano. Como o biodiesel é principalmente um éster monoalquílico, a banda da intensa ligação $\text{C}=\text{O}$ aparece em 1743 cm^{-1} . As bandas médias $\text{C}-\text{O}$ que aparecem em 1252 , 1200 e 1175 cm^{-1} também foram esperadas na Figura 12. A absorbância em 3010 cm^{-1} indica a ligação $\text{HC}=\text{CH}$, enquanto a absorbância em 1376 cm^{-1} indica a ligação $-\text{CH}_3$.

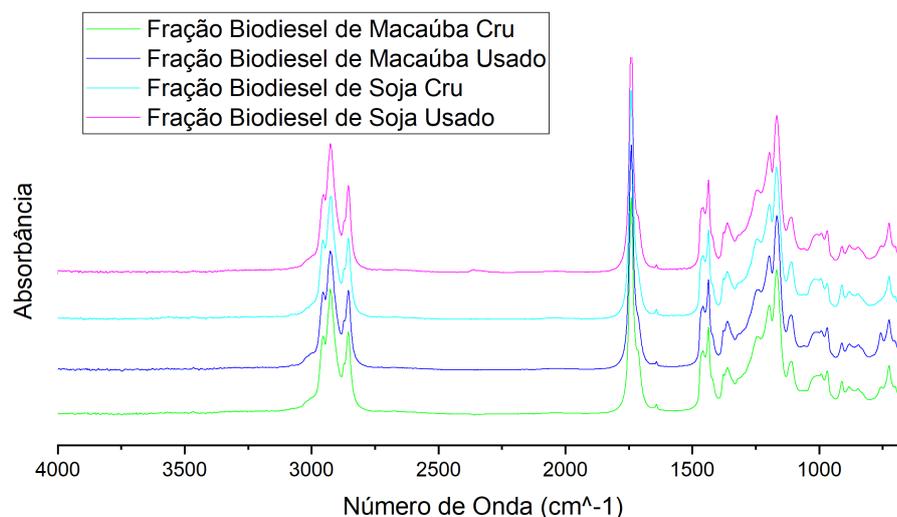


Figura 13 – Espectros em Infravermelho para para as primeiras frações destiladas de cada biodiesel. Fonte: Autor

Fonte: Autor, 2022.

A Figura 13 mostra a primeira fração da destilação de cada biodiesel, sendo o corte feito entre as temperaturas de 110°C e 130°C. O primeiro ponto a ser observado para os espectros de infravermelho das frações destiladas é que a absorvância em 3010 cm^{-1} que indica a ligação HC=CH de características olefinicas, não está presente nas frações. Novamente foi observado as bandas que aparecem entre 1000 e 1250 cm^{-1} evidenciando a presença das ligações C-O.

A Figura 14 mostra os espectros das segundas frações de destilados para temperatura entre 130°C e 150°C. Assim como o apresentado na Figura 13 pode-se observar que a absorvância em 3010 cm^{-1} que indica a ligação HC=CH de características olefinicas, não está outra vez presente nas frações. Novamente foi observado as bandas que aparecem entre 1000 e 1250 cm^{-1} evidenciando a presença das ligações C-O.

Em ambos os casos apresentados nas Figuras 13 e 14 é observado uma diferenciação na banda que varia entre 750 e 1100 cm^{-1} em relação à Figura 12 que mostra os espectros para os biodieseis. Tal diferença pode estar relacionada ao fato de que a banda de 3010 cm^{-1} que indica a ligação HC=CH de características olefinicas, não está presente nas frações destiladas, podendo ter sido convertidas em ligações simples C-O, C-H ou C-C (MARCINAUSKAS et al., 2007) representadas nas regiões que apresentaram diferenciação nos espectros.

A Figura 15 mostra os espectros para os resíduos dos biodieseis após o processo de destilação dentro das faixas de temperaturas determinadas. Aqui é possível perceber que a

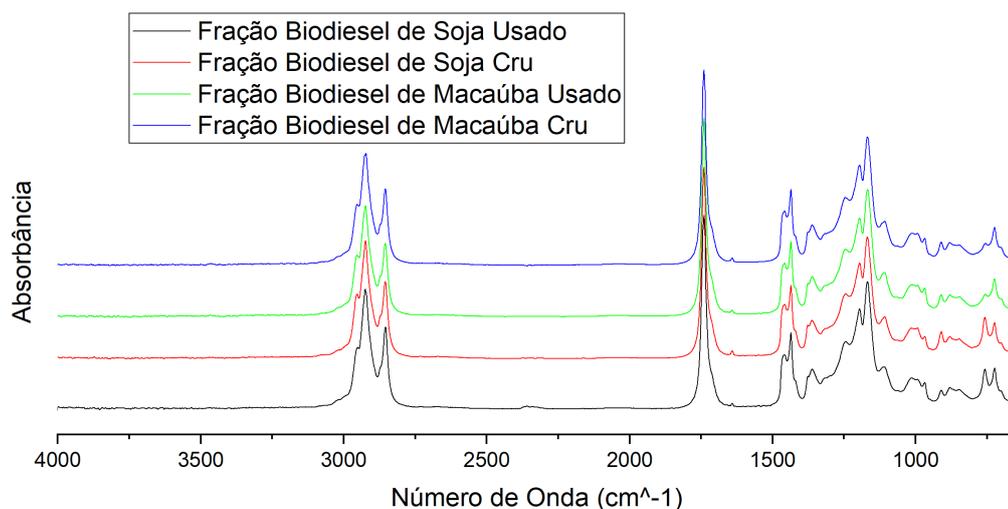


Figura 14 – Espectros em Infravermelho para para as segundas frações destiladas de cada biodiesel.

Fonte: Autor, 2022.

absorbância em 3010 cm^{-1} não foi registrada, sugerindo que as ligações $\text{HC}=\text{CH}$ de características olefinicas, não estão presentes também nessas frações. A banda de frequências entre 1500 e 550 cm^{-1} nesse caso é similar aos espectros das frações destiladas sugerindo que tal arranjo da mistura foi produzido durante o processo de destilação e não houve retorno ao estado anterior.

A maior diferença percebida na composição foi a não presença das ligações $\text{HC}=\text{CH}$ de características olefinicas sugeridas pela banda de 3010 cm^{-1} nas composições das frações destiladas e resíduos, devendo este fato estar relacionado ao processo de destilação em si, visto que houve elevado aumento na temperatura podendo ter sido gerado energia suficiente para o rompimento da ligação. Diferentemente do espectro de infravermelho do diesel, o espectro do biodiesel e suas frações apresentam impurezas em sua composição em relação ao diesel.

A Figura 16 mostra os espectros de infravermelho para uma amostra de diesel, biodiesel e óleo de soja. A banda definida entre 700 e 1500 cm^{-1} representa ainda a presença de glicerol tanto nas amostras quando no biodiesel produzido observando as figuras 12, 13, 14 e 15.

Levando em conta que o Querosene de aviação encontra-se definido entre cadeias C_9 e C_{16} , e observando que segundo a metodologia seguida (HARTER; SANTOS; FABRIS, 2018) as amostras produzidas, tanto as de macaúba quanto as de soja oriundos de frituras ou os naturais, possuem em sua grande maioria cadeias carbonicas dentro de

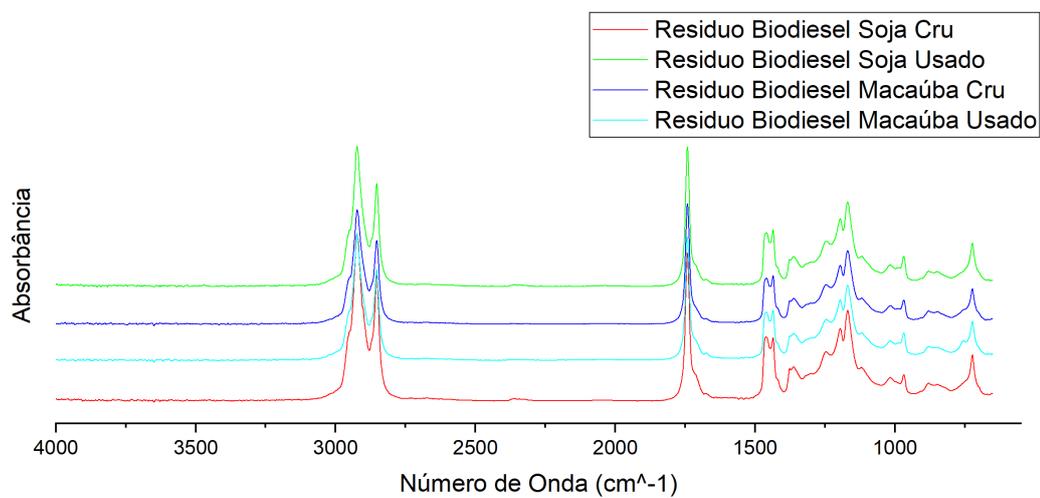


Figura 15 – Espectros em Infravermelho para para os resíduos da destilação de cada biodiesel.

Fonte: Autor, 2022.

tal faixa, os destilados de biodiesel se fazem como bons aditivos ao querosene de aviação, para serem utilizados em misturas na tentativa de reduzir a emissão de gases poluentes.

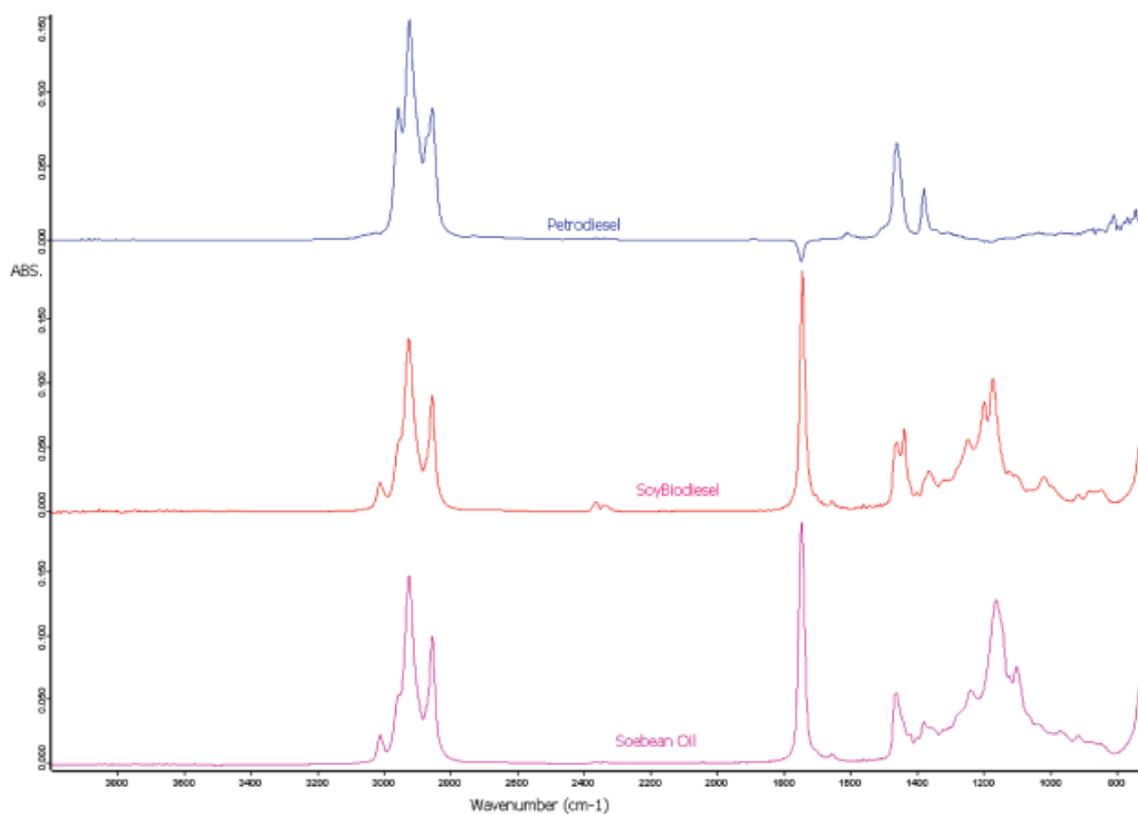


Figura 16 – Espectros em Infravermelho para para diesel comum, biodiesel de soja, e óleo de soja (MAHAMUNI; ADEWUYI, 2009).

Fonte: Autor, 2022.

5 Conclusão.

Conforme a tecnologia se desenvolve a humanidade tende a consumir seus recursos de forma menos regrada e muitas vezes sem observar a capacidade de resiliência dos recursos. A utilização de biocombustíveis é uma forma de tentar amenizar os problemas que podem ser causados pelo consumo desenfreado dos recursos naturais. Na indústria da aviação, o uso de biocombustíveis ainda é um tabu a ser quebrado porém iniciativas ao redor do mundo já começaram a ser tomadas. A mistura de biocombustíveis ao combustível fóssil utilizado na aviação comercial é uma das iniciativas. Esse tipo de solução ajuda a produzir menos gases poluentes e cria uma nova cadeia produtiva inserindo outros tipos de serviços necessários à produção do biocombustível a ser utilizado. A composição do biodiesel possui em sua estrutura cadeias longas e curtas de hidrocarbonetos e a destilação deste combustível permite ser extraído frações mais leves de cadeia curta para a mistura ao querosene de aviação.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que as amostras mais leves de biodiesel mantém sua estrutura parecida com a do biodiesel, porém com hidrocarbonetos de cadeia mais curta, sendo assim uma solução razoável ao problema da emissão de poluentes oriundas da combustão no sistema moto-propulsor das aeronaves. O mundo precisa continuar desenvolvendo novas alternativas para contribuir na redução das emissões dos gases poluentes. Ambos os biodieseis de macaúba e soja tanto os oriundos de fritura quanto os naturais mostraram espectros bastante semelhantes, e podem contribuir de forma satisfatória para a inserção no querosene de aviação comercial.

Referências

- ANP. *Agência Nacional do Petróleo*. 2015. Boletim Mensal do Biodiesel 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/if/bmb/2015/boletim-biodiesel-01.pdf>>. Acesso em: 02 Jun. 2022. Citado 4 vezes nas páginas 7, 8, 16 e 17.
- ANP. *Agência Nacional do Petróleo*. 2019. Querosene de Aviação. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-derivados/155-combustiveis/1856-combustiveis-de-aviacao>>. Acesso em: 25 nov. 2019. Citado na página 14.
- ANP. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5237-anuario-estatistico-2019#Se%C3%A7%C3%A3o%203>>. Citado na página 15.
- ATAG, P. *The Air Transport Action Group*. 2014. Disponível em: <<http://www.atag.org>>. Citado na página 12.
- CGEE. *Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios*. Brasília, Brazil, 2010. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/biocombustiveis_aeronauticos_24012011_9559.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 12, 14 e 15.
- de Souza, L. M.; MENDES, P. A.; ARANDA, D. A. Assessing the current scenario of the brazilian biojet market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 98, p. 426–438, 2018. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118306877>>. Citado na página 13.
- EPE. *Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - Plano Decenal de Expansão de Energia 2023*. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 20/05/2022. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 16.
- GEGG, P.; BUDD, L.; ISON, S. The market development of aviation biofuel: Drivers and constraints. *Journal of Air Transport Management*, v. 39, p. 34–40, 2014. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699714000258>>. Citado na página 13.
- GIACC. *Group On International Aviation and Climate Change (GIACC), Report No.1*. [S.l.], 2009. Citado na página 10.
- GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. M. Revista virtual de química. poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: Uma breve revisão. n. 5, p. 434–445, 2011. Citado na página 12.
- HARTER, L.; SANTOS, D.; FABRIS, J. Destilação atmosférica do biodiesel derivado do Óleo de macaúba ou do palmiste para obtenção da fração de Ésteres leves para uso como combustível de aviação. *Química Nova*, Sociedade Brasileira de Química, v. 42, n. 2, p. 143–148, 2018. ISSN 0100-4042. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 29.

- IATA. Technology roadmap - international air transport association. ed. 4. 2013. Citado 4 vezes nas páginas 7, 12, 13 e 15.
- KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. A comparison of used cooking oils: A very heterogeneous feedstock for biodiesel. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 23, p. 5796–5801, 2009. ISSN 0960-8524. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409006981>>. Citado na página 16.
- LINS, M. E. et al. Performance assessment of alternative energy resources in brazilian power sector using data envelopment analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 1, p. 898–903, 2012. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111004606>>. Citado na página 13.
- LLAMA, A. et al. Biokerosene from babassu and camelina: production and properties of their blends with fossil kerosene. *Energy & Fuels* [0887-0624], p5968-5976, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.
- MAHAMUNI, N. N.; ADEWUYI, Y. G. Fourier transform infrared spectroscopy (ftir) method to monitor soy biodiesel and soybean oil in transesterification reactions, petrodiesel/biodiesel blends, and blend adulteration with soy oil. *Energy and fuels*, American Chemical Society, WASHINGTON, v. 23, n. 7, p. 3773–3782, 2009. ISSN 0887-0624. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 31.
- MARCINAUSKAS, L. et al. Surface and structural analysis of carbon coatings produced by plasma jet cvd. *Mater. Sci*, Citeseer, v. 13, n. 269, p. e272, 2007. Citado na página 28.
- MARTINS, M. A. C. *A estratégia de adaptação à crise do petróleo*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA-Brasília-DF, 1997. Citado na página 12.
- MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - a review, pág 250. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 10, n. 3, 2004. Citado na página 16.
- METZ, B. et al. *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. Citado na página 10.
- NYGREN, E.; ALEKLETT, K.; Höök, M. Aviation fuel and future oil production scenarios. *Energy Policy*, v. 37, p. 4003–4010, 10 2009. Citado na página 14.
- RABELO, I. D. *Dissertação de Mestrado*. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Brasil, 2001. Citado na página 20.
- REYNOL, F. Modelo do biodiesel poderia ser aplicado ao querosene vegetal. inovação uniemp. vol.3: 21-23. 2007. Citado na página 15.
- SANTOS, M. et al. Scenarios for the future brazilian power sector based on a multi-criteria assessment. *Journal of Cleaner Production*, v. 167, p. 938–950, 2017. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617305966>>. Citado na página 13.

SILVEIRA, V. *Mistura em pleno vôo*, *Scientific American Brasil*. 2006. Disponível em: <<http://sciam.uol.com.br/mistura-em-pleno-vo/>>. Acesso em: 25 nov. 2019. Citado na página 14.

SKOOG, D. et al. *Princípios de análise instrumental*. Bookman, 2002. reimpressão, 2002. ISBN 9788573079760. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=ryPgAAAACAAJ>>. Citado na página 19.

SMITH, P. et al. Drivers and barriers to the adoption and diffusion of sustainable jet fuel (sjf) in the u.s. pacific northwest. *Journal of Air Transport Management*, v. 58, p. 113–124, 2017. ISSN 0969-6997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699716301363>>. Citado na página 13.

SRIVASTAVA, A.; PRASAD, R. Triglycerides-based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 4, n. 2, p. 111–133, 2000. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032199000131>>. Citado na página 18.