

EDSON VANZELLA

ESTUDO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO ETANOL
HIDRATADO COM ADIÇÃO DE BIODIESEL PARA USO EM MOTORES
DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2015

EDSON VANZELLA

ESTUDO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO ETANOL
HIDRATADO COM ADIÇÃO DE BIODIESEL PARA USO EM MOTORES
DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti.

COORIENTADOR: Prof. Dr. Luis Fernando Souza Gomes.

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V284 Vanzella, Edson
Estudo de propriedades físico-químicas do etanol hidratado com adição de biodiesel para uso em motores de combustão interna ciclo Otto/ Edson Vanzella. – Cascavel 2015.
64p.

Orientador, Reinaldo Aparecido Bariccatti
Coorientador Luis Fernando Souza Gomes
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2015.

Inclui Bibliografia.

1. Biocombustíveis. 2. Combustível Aeronáutico. 3. Etanol-biodiesel. I. Reinaldo Aparecido Bariccatti. III Luis Fernando Souza Gomes IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura . V. Título

CDU 620.98

EDSON VANZELLA

“Estudo de propriedades físico-químicas do etanol hidratado com adição de biodiesel para uso em motores de combustão interna ciclo otto”

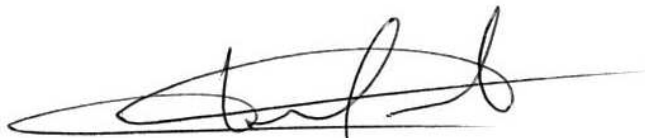
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:




Prof. Dr Reinaldo Aparecido Bariccatti

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Helton José Alves

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo

Universidade Federal do Paraná – UFPR/Palotina

Cascavel, 03 de março de 2015.

Dedico esse trabalho ao meu pai José (em memória), à minha mãe Antônia, minha irmã Viviane e ao meu querido filho Leonardo, todos sempre muito presentes e importantes, tanto neste período de estudos como em todos os dias de minha vida!

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo e sobre todas as coisas, à Deus!!!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti, pelo incentivo, disposição, presteza e paciência sempre ofertados.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Luis Fernando Souza Gomes, por ter me convencido a iniciar o mestrado, pelo incentivo e amizade desde os tempos da graduação.

À minha família, porto seguro, pelo incentivo e apoio.

Em especial, aos companheiros de estrada Matheus Antônio da Costa e Karisson Ferreira Pan, pelos momentos de estudo, conversas e fatos contados no trajeto Palotina a Cascavel, bem como àqueles em Palotina e em Cascavel.

À minha queridíssima amiga Viviane Cavaler Micuanski, pela amizade, companheirismo e pelo exemplo de força e superação durante e logo após o mestrado...

Aos colegas Paulo André Cremones, Eduardo de Rossi, Ana Cláudia Cabral e Idelvan Bonadiman Blanco pela parceria em vários momentos.

Aos colegas e professores deste mestrado, pela oportunidade do conhecimento, do horizonte amplo, do aprendizado.

Aos grandes e bons amigos, pela leveza dos momentos de confraternização, equilibrando a vida.

A todos os funcionários do Programa, por oportunizarem as condições necessárias, burocráticas ou não, para eternizarem este momento!!!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração das partes de um motor ciclo Otto	4
Figura 2. Esquema da reação de transesterificação	9
Figura 3. Estrutura do ácido graxo ricinoléico	13
Figura 4. Estrutura do ácido graxo linoléico	14
Figura 5. Aeronave Embraer-202 (Ipanema).....	20
Figura 6. Fotografia da separação de fases: biodiesel de soja (a) e mamona (b).....	24
Figura 7. Fotografia das blendas de etanol e biodiesel	25
Figura 8. Calorímetro modelo e2k	26
Figura 9. Fotografia do viscosímetro em banho a 20 °C	27
Figura 10. Fotografia do aparelho para determinação do ponto de fulgor.....	28
Figura 11. Picnômetro para determinação da densidade.....	29
Figura 12. Condutivímetro MS Tecnopon.....	29
Figura 13. Turbidímetro TB-1000 - Tecnopon	30
Figura 14. Gráfico do poder calorífico das blendas, valor médio e desvio padrão	33
Figura 15. Gráfico da viscosidade e das retas ajustadas para as blendas.....	36
Figura 16. Gráfico com a densidade das blendas e retas ajustadas.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificação do etanol anidro e hidratado combustível (EAC) e (EHC)	6
Tabela 2. Especificação do biodiesel	10
Tabela 3. Composição percentual de ácidos graxos no biodiesel (soja e mamona) .	12
Tabela 4. Comparação do desempenho do motor <i>Lycoming</i> (gasolina x etanol).....	20
Tabela 5. Blendas de etanol hidratado e biodiesel de soja	25
Tabela 6. Blendas de etanol hidratado e biodiesel de mamona.....	25
Tabela 7. Poder calorífico superior do etanol, dos biodieseis e das blendas	32
Tabela 8. Viscosidade do etanol hidratado e das blendas	35
Tabela 9. Ponto de fulgor do etanol e das blendas	37
Tabela 10. Densidade ou Massa Específica do etanol hidratado e das blendas.....	39
Tabela 11. Condutividade elétrica do etanol e das blendas	41
Tabela 12. Turbidez do etanol hidratado e das blendas com biodiesel.....	42

VANZELLA, Edson. M. Sc. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Março de 2015. **Estudo de propriedades físico-químicas do etanol hidratado com adição de biodiesel para uso em motores de combustão interna ciclo Otto.** Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti. Coorientador: Prof. Dr. Luis Fernando Souza Gomes.

RESUMO

A influência da adição de biodiesel ao etanol hidratado para utilização em motores de combustão interna (ciclo Otto), de veículos e de aeronaves, como o utilizado no avião agrícola Ipanema, é o que objetivou esse estudo. A Empresa Brasileira de Aeronáutica – Embraer, em parceria com a Indústria Aeronáutica Neiva, fabricantes do avião agrícola Ipanema, converteu o motor desta aeronave, originalmente abastecido com gasolina de aviação (Avgas), para etanol em 2005. O sucesso da conversão do combustível fóssil para o biocombustível é comprovado e relatado por operadores da aeronave em todo o Brasil, com vantagens ambientais, econômicas, de infraestrutura e rendimento. No entanto, algumas características físicas e químicas do etanol, como sua baixa lubrificidade, baixo ponto de fulgor, sua natureza higroscópica e baixa viscosidade, podem trazer danos a componentes do sistema de combustível da aeronave, bem como a partes do motor. O biodiesel possui características que são úteis ao motor ciclo Otto, pois seus componentes orgânicos associados a sua maior condutividade elétrica, proporcionam uma capacidade de lubrificação elevada quando este é adicionado ao etanol. O ponto de fulgor do biodiesel é alto, e assim, minimiza os riscos de inflamabilidade decorrentes do transporte, armazenamento e abastecimento do etanol. Por ser menos corrosivo que o álcool combustível, o biodiesel quando misturado ao etanol também atenua as condições de desgaste e corrosão em peças e partes do motor. Para diagnosticar os teores ideais para formação da mistura, foram realizadas 8 diferentes composições (4 com biodiesel de soja e 4 com biodiesel de mamona), variando-se o percentual de biodiesel em 1%, 3%, 5% e 10% (m/m) em etanol hidratado. As respostas foram verificadas em termos do poder calorífico, da viscosidade, do ponto de fulgor, da densidade, da condutividade elétrica e da turbidez para cada blenda. O poder calorífico e a viscosidade foram influenciados pelas grandes cadeias carbônicas do biodiesel, sendo que o maior acréscimo no poder calorífico ocorreu na blenda com 10% de biodiesel de soja (+ 8,70%). A viscosidade da blenda com 10% de biodiesel de mamona aumentou 23,8% e para as blendas com 5% de biodiesel de mamona e 10% de biodiesel de soja aumentou 15%. O ponto de fulgor para as blendas com 10% de biodiesel de soja e de mamona aumentou aproximadamente 1 °C, melhorando a condição de segurança no manuseio do combustível. A densidade extrapolou o limite máximo da especificação em 1,42% para a blenda com 10% de biodiesel de mamona. Este parâmetro é dependente da quantidade de água presente no etanol, que neste estudo se apresentou no limite máximo, assim, fazendo com que a densidade das blendas ultrapassasse o limite. A condutividade elétrica e a turbidez diagnosticaram misturas homogêneas, sem separação de fases e com acréscimo no poder de lubrificação do combustível.

PALAVRAS-CHAVES: combustível aeronáutico, biocombustíveis, mistura etanol-biodiesel.

VANZELLA, Edson. M. Sc. State University of West Parana, March of 2015. **Study of physico-chemical properties in hydrous ethanol with addition of biodiesel for use in internal combustion engines Otto cycle.** Adviser: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti. Co-adviser: Luis Fernando Souza Gomes.

ABSTRACT

The influence of the addition of biodiesel on hydrous ethanol for use at the internal combustion engines (Otto cycle), of vehicles and of aircrafts, as the utilized in the crop duster Ipanema, is that aimed to this study. The Brazilian Aeronautics Company - Embraer, in partnership with Aircraft Industry Neiva, Ipanema agricultural aircraft manufacturers, converted the engine of this aircraft, originally stocked with aviation gasoline (Avgas) for ethanol in 2005. The success of the conversion of the fossil fuel for the biofuel is proven and reported by aircraft operators throughout Brazil, with advantages environmental, economic, of infrastructure and yield. However, some physical and chemical properties of ethanol as the low lubricity, low flash point, its hygroscopic nature and low viscosity, may bring damage to components of the aircraft fuel system, as well as parts of the engine. Biodiesel possesses features that are useful to the Otto cycle engine, because its organic components associated with your higher electrical conductivity, provide high lubricity when it is added to the ethanol. Biodiesel flash point is high, and thus minimizes flammability risks from transport, storage and supply of ethanol. Because it is less corrosive than ethanol, biodiesel when mixed with ethanol also reduces the conditions of wear and corrosion on parts and engine parts. For diagnosing the ideals levels to the mixture formation were performed eight different compositions (four with soybean biodiesel and four with castor bean biodiesel) varying the percentage of biodiesel at 1%, 3%, 5% and 10% (m/m) in hydrous ethanol. Responses were observed in terms of calorific value, viscosity, flash point, density, electrical conductivity and turbidity for each blend. The calorific value and viscosity were influenced by the major carbon chains of biodiesel, with the largest increase in calorific value occurred in the blend with 10% soybean biodiesel (+ 8.70%). The viscosity of the blend with 10% castor bean biodiesel increased 23.8% and for the blends with 5% castor bean biodiesel and 10% soy biodiesel increased 15%. The flash point for the blends with 10% of soy biodiesel and of castor increased approximately 1 ° C, improving the security conditions in the fuel handling. The density extrapolated the ceiling of specified 1.42% for the blend with 10% castor biodiesel. This parameter is dependent on the amount of water present in the ethanol, which in this study if presented in the maximum, thus doing the density of blends exceed the limit. The electrical conductivity and the turbidity diagnosed homogeneous mixtures, without phase separation and increase in fuel lubricity.

KEYWORDS: aeronautical fuel, biofuels, ethanol-biodiesel blend.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1 Motores Térmicos	4
3.2 Etanol Combustível	5
3.3 Biodiesel	9
3.3.1 Biodiesel de mamona.....	12
3.3.2 Biodiesel de soja	13
3.4 Misturas Etanol-Biodiesel	15
3.5 Características e parâmetros para combustíveis	16
3.6 Aeronave Agrícola EMBRAER-202 (Ipanema)	18
3.7 Bioquerosene	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Procedimentos	23
4.2 Matérias-primas	23
4.3 Produção do biodiesel de soja e de mamona	23
4.3.1 Reação de transesterificação	23
4.3.2 Purificação do biodiesel.....	24
4.3.3 Preparação das blendas.....	24
4.4 Poder Calorífico	26
4.5 Viscosidade Cinemática	26
4.6 Ponto de fulgor	27
4.7 Densidade	28
4.8 Condutividade elétrica	29
4.9 Turbidez	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Poder calorífico	31
5.2 Viscosidade Cinemática	34
5.3 Ponto de fulgor	36

5.4 Densidade	38
5.5 Condutividade elétrica	40
5.6 Turbidez	42
6. CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido mundialmente como país precursor no desenvolvimento e uso em larga escala do etanol em veículos terrestres, seja como álcool hidratado, comercializado para uso direto ao consumidor final, ou como álcool anidro, disponibilizado já adicionado à gasolina. É também pioneiro no uso com certificação pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), do etanol em motores a pistão aeronáuticos, caso do avião agrícola Ipanema da Empresa Brasileira de Aeronáutica – Embraer.

A utilização do etanol na aviação agrícola trouxe várias condições favoráveis à atividade, como o aumento de potência, a operação do motor com temperaturas de óleo e de cabeça dos cilindros mais baixas, economia com custos de combustível embora com aumento de consumo quando comparado ao consumo com gasolina de aviação, facilidade de aquisição e estocagem do etanol, além do fator ambiental em função da substituição de um combustível fóssil por um renovável.

No entanto, algumas propriedades físicas e químicas do etanol, como seu índice de acidez, sua natureza higroscópica, baixa lubrificidade e alta volatilidade sugerem condições para o desgaste de componentes dos motores, mangueiras, juntas e anéis de vedação. A alta volatilidade somada a baixa lubrificidade pode diminuir a vida útil de partes internas dos motores e de peças como válvulas de admissão e de escape, comando de válvulas e anéis de segmento.

Propriedades lubrificantes superiores encontradas no biodiesel, podem reduzir o desgaste dos motores com sua mistura ao etanol. Estudos apontam que a adição de apenas 1% de biodiesel pode aumentar a lubrificidade de alguns combustíveis para valores acima de 65%. Seu índice de acidez é mais baixo e sua volatilidade também, quando comparados ao etanol. Assim, utilizar as propriedades dos dois biocombustíveis e formar uma mistura ideal melhorando as qualidades já oferecidas pelo etanol ampliará a confiança mundial no uso do álcool combustível nos motores ciclo Otto.

Os biocombustíveis aeronáuticos estão em pauta nos acordos bilaterais sendo firmados entre algumas nações e o Brasil, com o intuito de aprimorar e desenvolver alternativas para o setor. O pioneirismo brasileiro absoluto na implantação e utilização do etanol para o abastecimento de motores de automóveis

e de aeronaves já traz excelentes benefícios econômicos e ambientais que podem e devem ser incrementados e transformados para melhor.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o efeito da adição de biodiesel em etanol hidratado, avaliando-se a influência desta mistura sobre propriedades físico-químicas do etanol hidratado.

2.2 Objetivos Específicos

Realizar a coleta de dados para diagnosticar as variações em termos de poder calorífico, viscosidade, ponto de fulgor, densidade, condutividade elétrica e turbidez, com o objetivo de identificar a proporção ideal de biodiesel adicionado ao etanol, para obter-se um combustível com características melhoradas, no intuito de preservar componentes do motor, aumentar a potência, o rendimento e a segurança.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Motores Térmicos

De acordo com Rahde (2014), os motores térmicos são classificados como de combustão interna e de combustão externa. São considerados de combustão interna aqueles que utilizam os próprios gases de combustão como fluido de trabalho, ou seja, são estes gases que realizam os processos de compressão, aumento de temperatura (queima), expansão e finalmente exaustão. Assim, este tipo de motor distingue-se dos ciclos de combustão externa, nos quais os processos de combustão ocorrem externamente ao motor. Neste caso, os gases de combustão transferem calor a um segundo fluido que opera como fluido de trabalho.

Segundo Moretti (2013), motores térmicos de combustão interna são máquinas que tem por objetivo transformar a entalpia de combustão (através da reação de oxidação de combustíveis) em energia mecânica diretamente utilizável, ou seja, transformam a energia química do combustível em trabalho útil ou força motriz de acionamento. A forma como a entalpia de combustão é transformada em trabalho depende do tipo de ciclo térmico. Tradicionalmente, os dois ciclos térmicos utilizados em veículos automotores são os ciclos Otto e Diesel. Na Figura 1 estão esquematizadas as partes que compõe um motor ciclo Otto.

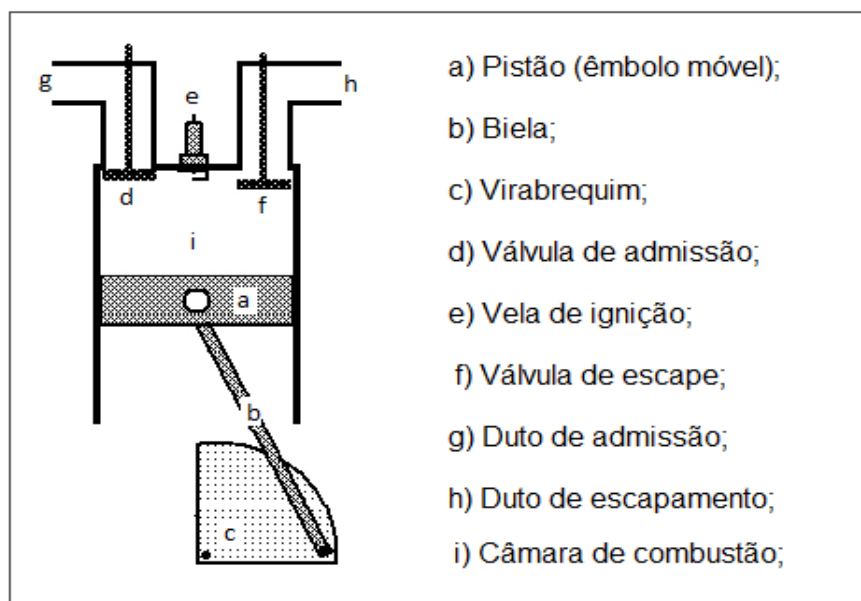


Figura 1. Ilustração das partes de um motor ciclo Otto
Fonte: Adaptado de Schulz (2009).

Conforme Menezes (2009), os motores ciclo Otto (gasolina, etanol) e ciclo Diesel (diesel, biodiesel) são similares sob o ponto de vista mecânico e diferem principalmente sob o ponto de vista da alimentação de combustível. No ciclo Otto, o combustível é vaporizado e misturado com o ar atmosférico antes de ser introduzido na câmara de combustão (carburação e injeção indireta), e também injetado diretamente na câmara de combustão juntamente com o ar, onde a mistura ar/combustível é comprimida e a reação de oxidação tem início por meio de uma centelha elétrica. No ciclo Diesel, o ar é admitido, comprimido e em função disso ocorre aumento de pressão e de temperatura. O combustível é injetado na forma líquida diretamente na câmara de combustão e devido a alta temperatura do ar ali comprimido, ocorre a autoignição sem necessidade de centelhamento.

Ainda de acordo com Menezes (2009), devido às características físicas da mistura reagente em cada ciclo térmico, os combustíveis requerem propriedades físico-químicas adequadas. Para os motores ciclo Diesel, os combustíveis devem possuir alta viscosidade (devido à necessidade de autolubrificação do sistema de injeção) e facilidade de entrar em autoignição quando em contato com o ar aquecido (número de cetano). No caso do ciclo Otto, são necessários combustíveis com alta volatilidade e capacidade de resistir à compressão sem entrar em autoignição (número de octano).

3.2 Etanol Combustível

Segundo Shikida e Perosa (2012), além da tecnologia *flex*, outros fatores podem ser mencionados para explicar o sucesso recente do etanol no Brasil. Há questões ligadas ao contexto internacional, como a crescente preocupação ambiental e a volatilidade dos preços do petróleo nos últimos anos. Contudo, tanto a tecnologia *flex* quanto as questões internacionais mencionadas não explicam como este produto se firmou na matriz energética brasileira em períodos anteriores. Desde os anos 70 (1970), o álcool figura na matriz energética brasileira e, em diversos períodos, apesar das dificuldades encontradas, esse combustível recebeu pesados incentivos governamentais, mostrando a sua importância estratégica.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2011), por meio da Resolução nº 7 de 09 de fevereiro de 2011, define o Etanol Combustível como o combustível destinado ao uso em motores ciclo Otto e que

possui como principal componente o etanol, especificado sob as formas de álcool etílico anidro combustível ou etanol anidro combustível e de álcool etílico hidratado combustível ou etanol hidratado combustível, produzido e/ou comercializado pelos agentes econômicos, conforme regulamentação da ANP. O etanol anidro combustível (EAC) é destinado ao distribuidor para compor mistura com a gasolina A na formulação da gasolina C, em proporção definida por legislação aplicável. O etanol hidratado combustível (EHC) é destinado à venda no posto revendedor para o consumidor final.

Na Tabela 1 está listada a especificação do etanol anidro combustível (EAC) e do etanol hidratado combustível (EHC).

Tabela 1. Especificação do etanol anidro e hidratado combustível (EAC) e (EHC)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	EAC (ANIDRO)	EHC (HIDRATADO)
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas	Límpido e isento de impurezas
Cor	-	Laranja, após corante	Sem corantes (ausência total)
Acidez total, máx.	mg L ⁻¹ (de ácido acético)	30	30
Condutividade elétrica, máx.	μS m ⁻¹	389	389
Massa específica a 20 °C	kg m ⁻³	791,5 máx.	807,6 a 811,0
Teor alcoólico	% volume	99,6 mín.	95,1 a 96,0
	% massa	99,3 mín.	92,5 a 93,8
pH a 20 °C	-	-	6,0 a 8,0
Teor de etanol, mín.	% volume	98,0	94,5
Teor de água, máx.	% volume	0,4	4,9
Teor de metanol, máx.	% volume	0,5	0,5

Fonte: Adaptado de ANP (2011)

De acordo com a especificação da ANP (2011) para o etanol, o que diferencia o etanol anidro do etanol hidratado, além da coloração laranja do anidro,

após a adição do corante especificado no Regulamento Técnico nº 3/2011, e da completa ausência de corantes para o hidratado, é o teor alcoólico, que deve ser de 99,6% (v/v) no mínimo para o anidro e de 95,1% a 96,0% (v/v) para o hidratado. Dos 99,6% de teor alcoólico do álcool anidro, 98% deve ser obrigatoriamente de etanol, sendo para o álcool hidratado a obrigatoriedade de etanol está em 94,5%. Assim, o teor máximo de água para o etanol anidro é de 0,4% (v/v) e para o etanol hidratado é de 4,9% (v/v).

Conforme Shuofeng, Changwei e Zhang (2010), entre vários combustíveis alternativos, o etanol tem sido apresentado como um dos mais práticos e promissores para utilização em motores de ignição por centelha. Prático porque pode ser produzido por fontes agrícolas renováveis (cana-de-açúcar, milho, sorgo, etc), seja pela fermentação do açúcar oriundo do caldo (álcool de 1ª geração) ou a partir da degradação da biomassa celulósica, bagaço e palha, que por meio de processos ácidos e enzimáticos tem suas fibras quebradas em unidades menores de açúcares, que podem ser também fermentadas e originar o etanol (álcool de 2ª geração). Promissor porque garante a segurança energética necessária para o Estado. Além destes fatores, o etanol possui uma eficiência térmica maior que a gasolina, em função de seu elevado número de octano, podendo ser adotada uma taxa de compressão maior para o motor. Também, possui um grupo hidroxila em sua composição química, o que favorece a queima, sendo esta mais rápida e completa.

Para Carvalho (2011) embora a densidade energética do etanol seja de somente cerca de dois terços (2/3) da gasolina, algumas de suas propriedades são benéficas para a queima nos motores de combustão interna. Entre estas propriedades estão incluídas a alta velocidade laminar de chama e um maior número de octanagem em relação à gasolina. O número maior de octanagem melhora a tolerância à detonação, e a velocidade maior de chama propicia potenciais benefícios ao processo de combustão.

De acordo com Costa (2011) a menor densidade energética do etanol frente à gasolina, acarreta um aumento no consumo do combustível para que seja mantido o mesmo desempenho. Entretanto, este aumento de consumo não é na mesma proporção da diferença do poder calorífico. Isto ocorre porque, apesar do etanol, por unidade de massa ou volume, ter poder calorífico inferior ao da gasolina, cerca de 40% menos, ele produz maior potência de saída. Esta característica pode ser

explicada por um conjunto de características da combustão do etanol. A potência de um motor é definida pela quantidade de ar que entra no cilindro e o etanol faz com que entre mais ar no motor devido a duas características importantes: o álcool contém um átomo de oxigênio em sua composição e, ao se misturar com o ar e evaporar, retira o dobro da quantidade de calor do ar que é retirado pela gasolina, o que aumenta a densidade do ar que entra no cilindro. Finalmente, o etanol queima mais lentamente no interior do cilindro, aumentando o tempo em que a pressão da combustão atua sobre o pistão.

Por outro lado, o etanol possui também algumas características que necessitam de precaução. Segundo Rosseti (2011) o principal efeito negativo do uso contínuo de etanol é o baixo índice de lubricidade que tem esse combustível, fazendo com que algumas peças vitais ao funcionamento do motor, como válvulas (de admissão e de escape), sede de válvulas, guias e anéis de segmento, possam vir a ter menor vida útil em comparação com um motor que utilize gasolina. Essas peças são lubrificadas pelo próprio combustível ao ser injetado no interior da câmara de combustão, e não pelo óleo lubrificante do motor. A gasolina possui enxofre em sua constituição, o que lhe confere a propriedade lubrificante.

O potencial corrosivo é outra característica do etanol que merece atenção. Conforme Sobral et al. (2009), o alto índice de acidez presente no etanol pode diminuir consideravelmente a vida útil de componentes automotores, mesmo estes sendo produzidos com materiais mais resistentes à corrosão. Esse fato contribui frequentemente para a imposição de barreiras técnicas à comercialização do etanol, e requer o desenvolvimento de métodos e técnicas capazes de avaliar e garantir a sua qualidade como combustível.

Rapier (2011) expõe este assunto em seu artigo e enfatiza que a corrosão é um problema que pode demorar a se apresentar, mas, apesar de alguns testes apontarem que determinado produto não é corrosivo, depois de algum tempo detecta-se corrosão onde não se imaginava ocorrer. Pode demorar uma década ou duas antes que se possa realmente avaliar o impacto global que o etanol possa provocar em termos de corrosão em motores, mangueiras, tanques e toda infraestrutura para o combustível.

Kane, Maldonado e Klein (2008) argumentam que em uma comparação das propriedades físicas da água, do metanol e do etanol apresentam-se dados

reveladores. As soluções etanólicas têm menor condutividade e a solubilidade de oxigênio é maior no metanol e no etanol em comparação à água. Portanto, a disponibilidade de moléculas de oxigênio para participar da reação de corrosão em etanol e suas soluções é grande. Outro aspecto importante do etanol com potencial relevância para sua corrosividade é a sua natureza higroscópica, quando comparado a outros combustíveis. Se estocado por um período relativamente curto de 30 dias, ele já pode apresentar significativo aumento em seu conteúdo de água.

3.3 Biodiesel

Conforme Pereira et al. (2012), o biodiesel tem sido objeto de grande atenção nos últimos anos, devido ao impacto e passivos ambientais, além dos altos preços do diesel oriundo de fontes fósseis. O biodiesel ainda possui, também, elevado custo de produção, mas se difere do diesel por diversificar a matriz energética, além de reduzir as importações e a dependência do combustível fóssil.

Ghesti et al. (2012) relatam que esse biocombustível é produzido a partir de biomassas renováveis, por processos como o craqueamento, a esterificação ou a transesterificação, que pode ser etílica (uso do etanol) ou metílica (uso do metanol). A transesterificação metílica é o processo mais utilizado. Neste processo, os triglicerídeos em contato com os alcoóis de cadeia curta produzem ésteres monoalquílicos de ácidos graxos de cadeia longa, na presença de um catalisador. O biodiesel é um combustível biodegradável, não tóxico e renovável. Na Figura 2 está esquematizada a reação de transesterificação.

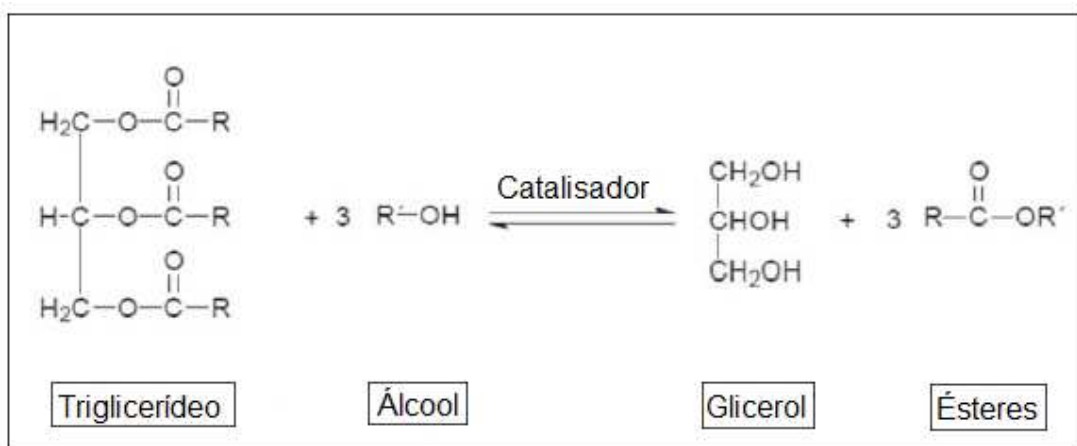


Figura 2. Esquema da reação de transesterificação
 Fonte: Adaptado de Alvarenga e Soares (2010).

Para Vaz, Sampaio e Sampaio (2010), o biodiesel é um combustível renovável que pode ser utilizado substituindo total ou parcialmente o diesel proveniente do petróleo. É reconhecido por seu potencial de redução direta da emissão de poluentes (enxofre e gás carbônico) e pela possibilidade de utilização de diversos produtos e subprodutos agrícolas (animais e vegetais) como fonte de matéria-prima para sua produção.

Conforme Ghesti et al. (2012), além das vantagens ambientais, sociais e econômicas advindas da utilização do biodiesel, outro ponto positivo é o fato deste biocombustível apresentar propriedades físico-químicas similares àquelas do diesel fóssil (número de cetano, viscosidade, massa molecular, densidade), assim, não demandando nenhuma alteração nos motores a diesel para utilização do biodiesel.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2014), por meio da Resolução nº 45 de 25 de agosto de 2014, define o Biodiesel como sendo o combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal, e que atenda a especificação contida no Regulamento Técnico nº 3/2014. Na Tabela 2 está listada a especificação do Biodiesel.

Tabela 2. Especificação do biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas
Massa específica a 20 °C	kg m ⁻³	850 a 900
Viscosidade cinemática a 40 °C	mm ² s ⁻¹	3,0 a 6,0
Teor de água, máx.	mg kg ⁻¹	200
Contaminação total, máx.	mg kg ⁻¹	24
Ponto de fulgor, mín.	°C	100
Teor de éster, mín.	% massa	96,5
Cinzas sulfatadas, máx.	%massa	0,020
Enxofre total, máx.	mg kg ⁻¹	10
Sódio + Potássio, máx.	mg kg ⁻¹	5
Cálcio + Magnésio, máx.	mg kg ⁻¹	5

Tabela 2 – Continuação

Fósforo, máx.	mg kg ⁻¹	10
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1
Número de cetano	-	Anotar
Ponto de entupimento de filtro à frio, máx.	°C	Varia de acordo com o estado da federação e a época do ano (de 5 a 19)
Índice de acidez, máx.	mg KOH g ⁻¹	0,50
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02
Glicerol total, máx.	% massa	0,25
Monoacilglicerol, máx.	% massa	0,70
Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20
Índice de iodo	g/100g	Anotar
Estabilidade à oxidação a 110 °C, mín.	h	6

Fonte: Adaptado de ANP (2014)

Segundo Sukjit et al. (2011), o biodiesel possui qualidades de queima e de fornecimento de energia (elevado número de cetano) que o tornam o mais utilizado combustível renovável empregado em motores com ignição por compressão. Após sua queima, o biodiesel libera quantidades de material particulado e monóxido de carbono inferiores ao diesel fóssil. Uma das razões para isso é o teor de oxigênio existente no biodiesel, que proporciona uma queima completa e um processo de combustão mais limpo. Além disso, o biodiesel quando adicionado ao diesel e a alcoóis melhora as propriedades de viscosidade e lubricidade dos mesmos.

De acordo com Abdelnur et al. (2013), para uma comercialização bem sucedida e total aceitação do biodiesel pelo mercado, deve-se dispor de um grande esforço no sentido de assegurar as suas propriedades de combustível, através de um eficiente controle de qualidade, o que é um desafio para o biodiesel, já que a sua composição e características variam de acordo com a matéria-prima utilizada.

Na Tabela 3 estão listados os percentuais de ácidos graxos existentes no biodiesel de soja e de mamona.

Tabela 3. Composição percentual de ácidos graxos no biodiesel (soja e mamona)

ÁCIDOS GRAXOS	BIODIESEL DE SOJA (%)	BIODIESEL DE MAMONA (%)
C8:0	ND*	ND*
C10:0	ND*	ND*
C12:0	ND*	ND*
C14:0	ND*	ND*
C16:0	9,6 +/- 0,6	1,6 +/- 0,1
C18:2	51,1 +/- 2,0	6,6 +/- 0,8
C18:1	34,9 +/- 2,0	5,9 +/- 1,0
C18:0	4,4 +/- 0,6	1,2 +/- 0,1
C18:1-OH	ND*	84,6 +/- 2,3

Fonte: Adaptado de Rocha et al. (2008)

*ND: Não detectado.

3.3.1 Biodiesel de mamona

Tabile et al. (2009) descrevem em sua publicação que uma das oleaginosas eleitas pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) para fornecer matéria-prima para a produção do biocombustível, foi a mamona (*Ricinus communis* L.). Entretanto, devido a presença de aproximadamente 90% de ácido ricinoléico em sua composição, o biodiesel de mamona é um dos ésteres de óleos vegetais mais viscosos. Apresenta viscosidade cinemática de 14,5 cSt (centistoke), fora dos limites permitidos pela portaria da ANP (3,0 a 6,0 cSt); entretanto, misturas de diesel ou outro biodiesel com até 40% de biodiesel de mamona apresentam valores em torno de 5,2 cSt, dentro do limite especificado.

Conforme César e Batalha (2011), o baixo custo de implantação e produção da mamona, bem como sua relativa resistência ao estresse hídrico, permite que a mamoneira se desenvolva em condições adversas de solo e clima, condições características de grande parte do nordeste brasileiro. Estima-se que cerca de 4,5 milhões de hectares, espalhados por 406 municípios dessa região, sejam considerados aptos para cultivar essa oleaginosa.

Segundo Silva (2012), o óleo de mamona vem sendo usado para a fabricação de mais de 800 produtos, com destaque para vidros à prova de bala, lentes de contato, lubrificantes especiais para motores e reatores de elevada rotação, plásticos de elevada resistência, poliuretanas, entre outros. Além disso, suas características únicas conferem lubricidade, da mesma forma que o enxofre, ao diesel mineral, sendo assim um óleo especial e com mercado garantido no mundo moderno.

Para Carvalho et al. (2013b), o óleo de mamona possui características únicas quando comparado com outros óleos vegetais. Além da abundância em ácido ricinoléico, que aumenta a viscosidade e também eleva a estabilidade oxidativa do biodiesel de mamona, a presença do grupo hidroxila (-OH) se reflete nas suas propriedades coligativas, favorecendo a homogeneidade em misturas com outras substâncias de mesma polaridade.

De acordo com Beltrão e Oliveira (2008), o biodiesel produzido a partir de óleo de mamona tem boas características físico-químicas, excelente solubilidade em álcool, além de alta viscosidade, que é mantida em ampla faixa de temperatura, explicada pela formação de pontes de hidrogênio intermoleculares, e também, atende os parâmetros da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com exceção do parâmetro viscosidade.

Na Figura 3 está representada a estrutura do ácido ricinoléico, com seus 18 carbonos, sua insaturação e o grupo hidroxila.

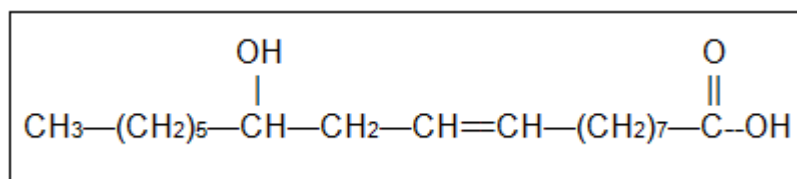


Figura 3. Estrutura do ácido graxo ricinoléico
Fonte: Adaptado de Beltrão e Oliveira (2008)

3.3.2 Biodiesel de soja

Para Reis et al. (2013), a soja pode ser considerada a cultura que permitiu a abertura do mercado brasileiro de biocombustíveis baseados em óleos vegetais, possibilitando posteriormente a inserção de produtos com maior eficiência

energética, como o girassol e a canola. A utilização do óleo de soja se dá principalmente pelo fato da cultura estar estabelecida comercialmente no país, bem como pelas condições edafoclimáticas brasileiras, que possibilitam sua exploração na maioria das regiões nacionais.

De acordo com Carvalho et al. (2013a), no Brasil, o óleo de soja constitui aproximadamente 85% da matéria-prima utilizada na produção de biodiesel. No entanto, 75% dos triacilgliceróis presentes no óleo de soja são formados a partir de ácidos graxos insaturados, que por sua vez, são compostos em mais de 50% por ácido linoleico. Estes ácidos graxos insaturados presentes no óleo de soja são incorporados ao biodiesel e reduzem a estabilidade oxidativa do combustível. Na Figura 4 está representada a estrutura do ácido linoléico, com seus 18 carbonos e suas 2 insaturações.

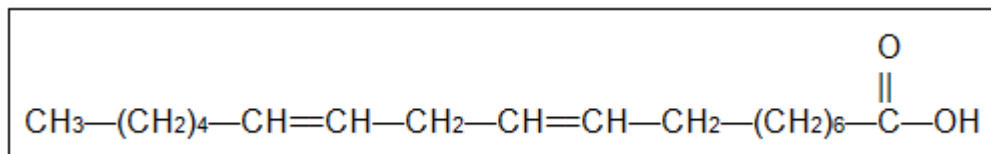


Figura 4. Estrutura do ácido graxo linoléico
Fonte: Adaptado de Damasceno (2011)

Conforme Borsato et al. (2012), como medida preventiva da oxidação, é importante manter os tanques de armazenamento no limite máximo permitido, reduzindo assim a quantidade de ar em contato com o combustível. Além disso, deve estar isento de contaminantes, seco e protegido da luz e de temperaturas extremas. Embora antioxidantes ocorram naturalmente em óleos vegetais (tocoferóis), alguns processos de produção destes óleos incluem uma etapa de destilação para purificação dos mono-álquil ésteres. O biodiesel obtido a partir destes óleos normalmente possui pouco ou nada de antioxidantes naturais, e assim, torna-se menos estável. Surge então a necessidade de se aplicar antioxidantes sintéticos para aumentar a estabilidade do biocombustível.

Segundo Goes, Araujo e Marra (2010), a previsão é de que a soja continue sendo a principal fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil nos próximos anos. Essa cultura tem uma cadeia produtiva organizada e está no limite da fronteira tecnológica mundial, sendo o Brasil hoje, o segundo maior produtor dessa aleuro-oleaginosa (grão com reserva principal de proteínas), muito embora o

seu rendimento em óleo seja baixo (560 kg ha⁻¹). Outras culturas como o pinhão-manso e o dendê possuem um potencial de rendimento muito superior, porém sua produção se restringe a algumas regiões apenas e o domínio tecnológico sobre elas ainda é limitado.

3.4 Misturas Etanol-Biodiesel

O trabalho apresentado por Jimenez et al. (2010) evidencia que todas as misturas de etanol-biodiesel que testaram permaneceram em uma única fase, mesmo com variações de temperatura (exceção para – 18 °C) e concentração de etanol. O etanol atua como um aditivo de inverno para o biodiesel, melhorando seu ponto de entupimento de filtro a frio, ponto de névoa e de fluidez. Também os testes de densidade apontaram para um equilíbrio entre os componentes da mistura, melhorando o aspecto de injeção do combustível, já que a baixa densidade do etanol ajusta-se com a alta densidade do biodiesel. A viscosidade e a lubricidade do etanol aumentaram quando da adição de biodiesel, indicando que o ponto de névoa do etanol aumenta, significando que a mistura melhora a condição de segurança do etanol, seja para seu transporte ou manuseio.

Conforme Ambrozin, Kuri e Monteiro (2009), entre os combustíveis fósseis diesel e gasolina, e os combustíveis renováveis etanol e biodiesel, o etanol é o mais corrosivo. Algumas impurezas que podem estar presentes no álcool, como cloretos, acetatos e água, provocam a corrosão em metais. Com relação ao biodiesel, existem poucos estudos de avaliação de sua ação corrosiva. As indicações mais recentes apontam que este apresenta potencial corrosivo em função do seu grau de insaturação e à presença de água e alcoóis residuais, embora em níveis muito baixos.

Munsin et al. (2013) detectaram em seu estudo um aumento de desgaste do motor pela utilização do etanol à longo prazo. A água presente no biocombustível causou a oxidação de algumas peças e a deterioração do óleo lubrificante, prejudicando ainda mais a lubrificação do sistema que já é comprometida pela baixa lubricidade do próprio etanol.

A lubricidade, segundo Farias et al. (2011), é um termo qualitativo utilizado para avaliar a habilidade que um fluido possui para afetar o atrito existente entre superfícies sob carga e com movimento relativo, assim como o desgaste provocado

nestas superfícies. Nos testes realizados pelos autores, ficou comprovado que o biodiesel possui propriedades lubrificantes capazes de melhorar a condição de outros combustíveis quando associados a ele.

Park, Suh e Lee (2010) definem em seu trabalho que o biodiesel possui um desempenho de arranque a frio pobre, pois cristaliza a baixa temperatura. Por outro lado, o etanol não cristaliza facilmente a baixas temperaturas embora possua um índice de cetano baixo e alta volatilidade em relação ao biodiesel. Estas características distintas é que tornam o estudo de suas misturas interessante, pois é possível através da mistura dos dois se obter o melhor de suas propriedades em um único combustível.

3.5 Características e parâmetros para combustíveis

Segundo Brasil (2010), de um modo geral, além de atender aos condicionantes econômicos de preço e disponibilidade, os combustíveis devem apresentar algumas particularidades como, alta densidade energética, volatilidade adequada, baixo ponto de congelamento, ser quimicamente estável, apresentar baixa corrosividade e permitir potências elevadas.

De acordo com Costa et al. (2009), a densidade energética de um combustível é uma medida termodinâmica que representa a variação de energia liberada durante sua combustão completa, denominada de poder calorífico. Esta propriedade, em um sistema de geração de calor, por exemplo, é o principal fator a ser considerado em um combustível, a partir do qual seria avaliada a relação custo benefício de utilização de um ou de outro combustível. O poder calorífico, então, é uma medida termodinâmica que representa a variação da entalpia (quantidade de calor liberado) durante a queima (combustão completa) de um mol de substância a temperatura de 25 °C e 760 mmHg de pressão. Quando o poder calorífico é elevado o combustível possui peso e volume reduzidos por unidade de energia.

Segundo Çengel e Boles (2011) a maioria dos combustíveis contém hidrogênio, que forma água quando queimado. Dependendo do estado (líquido ou gasoso) da água nos produtos de combustão, o poder calorífico de um combustível será diferente. Este é denominado poder calorífico inferior (PCI), quando a água é liberada sob a forma de vapor após a combustão, e de poder calorífico superior (PCS), quando a água dos gases de combustão é completamente condensada e,

portanto, o calor da vaporização também é recuperado. Uma eficiência de combustão de 100% indica, portanto, que o combustível é completamente queimado e que os gases de combustão saem da câmara de combustão à temperatura ambiente e que, assim, a quantidade de calor liberado durante o processo é igual ao poder calorífico do combustível. Eficiência de motores térmicos (ciclo Otto, ciclo Diesel, a jato) normalmente tem como base poderes caloríficos inferiores, uma vez que geralmente a água sai como vapor nos gases de exaustão e não é prático tentar recuperar o calor de vaporização.

Conforme Brasil (2010), nos motores de combustão interna (à pistão), a potência fornecida depende da densidade energética do combustível, da taxa de compressão do motor e da mistura ar/combustível adotada, que se situa próxima à relação ar/combustível estequiométrica. A taxa de compressão é limitada pela resistência à compressão do combustível utilizado.

Pontes et al. (2010), definem o parâmetro viscosidade como uma das propriedades mais importantes dos combustíveis, pois influencia na circulação e na injeção do combustível no funcionamento de motores à injeção. A eficiência do motor no processo de combustão depende da sua viscosidade. Uma alta viscosidade diminui a sua volatilização implicando assim em uma combustão incompleta. Já uma baixa viscosidade pode resultar em desgaste prematuro das partes autolubrificadas no sistema de injeção, vazamento na bomba de combustível, atomização incorreta do combustível no interior da câmara de combustão, problemas de estocagem e manuseio para estes combustíveis.

O parâmetro lubricidade é definido por Mattos, Gutterres e Samios (2010) como a capacidade de um combustível em evitar a fricção e o desgaste entre superfícies metálicas em movimento relativo sob carga, evitando assim, também, perdas de potência em função do atrito excessivo. Alguns combustíveis como o biodiesel, possuem a característica natural de lubricidade, e outros podem ter essa propriedade melhorada com aditivos, que são compostos que possuem afinidade por superfícies metálicas. Tais compostos são misturas de ácidos graxos, ésteres e amidas, em alguns casos solubilizados em solvente aromático. Assim, há a formação de um “filme” que evita o contato metal-metal, que poderia causar desgastes sob cargas leves e moderadas. Alguns estudos apontam para a

capacidade do biodiesel como aditivo de lubricidade ao diesel com baixo teor de enxofre (S10) e ao etanol.

Conforme Joaquim (2007), a análise HFRR (*High Frequency Reciprocating test Rig*) é utilizada para determinar a lubricidade de combustíveis. Ao longo do ensaio, ocorre a formação de uma superfície plana elíptica no corpo de prova ocasionada pelo desgaste do material.

Mattos (2012) relata que a lubricidade não está correlacionada a propriedades físicas como viscosidade e densidade e sim à composição química e às propriedades elétricas do combustível. Compostos poliaromáticos e cadeias orgânicas que contêm compostos polares (nitrogênio, enxofre, oxigênio), formam uma camada limite na superfície dos metais, protegendo-os de desgastes. A condutividade elétrica é um indicador da lubricidade de um combustível, sendo que quanto maior a condutividade menor o desgaste provocado.

Segundo o INMETRO (2010), a condutividade elétrica também é um indicador do risco de corrosão de um combustível. Zarpelon [20-?] relata que este parâmetro informa de modo qualitativo a presença de íons, como traços de sais minerais e substâncias orgânicas ionizáveis. Pela condutividade elétrica é possível diagnosticar o caráter ácido e a presença de sais dissolvidos no álcool, sendo que a existência de algum traço significativo de cobre e de cloretos pode comprometer a mistura deste com outros combustíveis pela formação de gomas e produtos corrosivos.

Outra característica de grande importância para o transporte, manuseio e armazenamento de um combustível é sua inflamabilidade. Janès e Chaîneaux (2013) definem o ponto de fulgor como a menor temperatura na qual um combustível libera vapor em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável por uma fonte externa de calor. O ponto de fulgor é considerado como um parâmetro determinante para a classificação da inflamabilidade dos combustíveis.

3.6 Aeronave Agrícola EMBRAER-202 (Ipanema)

De acordo com Abuabara e Morabito (2008), no Brasil, a aviação agrícola tem sua origem em 1947 com um primeiro voo sendo realizado em Pelotas-RS visando combater gafanhotos que devastavam as culturas locais. Nesta época, uma aeronave Muniz M-9 foi adaptada para realizar o primeiro voo agrícola no país. Já a

aviação agrícola contemporânea teve início principalmente em função dos estudos realizados na fazenda Ipanema, do Ministério da Agricultura, localizada no município de Sorocaba-SP. Foi por essa razão que o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) denominou Ipanema a aeronave por ele projetada nos anos 60, que resultou na fabricação pela Empresa Brasileira de Aeronáutica - Embraer, do primeiro avião agrícola nacional, o EMB-200 Ipanema. Desde então, já foram produzidos mais de 1300 Ipanemas que, ao longo dos anos, receberam pequenas modificações em seu projeto original visando melhorar o seu desempenho, resultando em modelos cada vez mais aptos a atender a moderna agricultura brasileira, sendo utilizados para aplicação de fertilizantes e defensivos líquidos e sólidos, semeadura de pastagens, no combate à vetores e à incêndios e no povoamento de águas.

Stump (2011) relata em sua publicação que em 2005, a Embraer, em parceria com o DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), foi responsável pela conversão do motor à gasolina para etanol (hidratado) do avião Ipanema, fabricado no Brasil há quarenta anos. Esta substituição de combustíveis trouxe à operação do avião agrícola uma significativa redução de custos e melhoria em seu desempenho ambiental. O Ipanema é movido por motor a pistão e é largamente utilizado na agricultura brasileira, sendo um campeão de vendas na categoria, dominando 75% do mercado em que atua. Aproximadamente 80% dos aviões vendidos são movidos a etanol, sendo que a operação com este biocombustível representa uma diminuição de custos operacionais de até 40%.

Conforme França (2012), externamente, o avião Ipanema à etanol é idêntico ao modelo à gasolina, mas o motor (à pistão, ciclo Otto) sofreu modificações no sistema injetor e em uma bomba de combustível (dimensionada para ter um fluxo de 15% a 18% maior). Houve ainda a incorporação de um sistema de partida para temperaturas baixas, de uma proteção anticorrosiva no tanque de combustível e de compostos para juntas de vedação e diafragma. O motor que equipa as aeronaves Ipanema é o *Lycoming* IO-540 de fabricação norte americana. Possui seis cilindros e potência de 300 HP.

Na Figura 5 está ilustrado o modelo Embraer-202 (Ipanema) movido a etanol (ou gasolina de aviação) produzido pela empresa Neiva, subsidiária da Embraer em Botucatu-SP.



Figura 5. Aeronave Embraer-202 (Ipanema)
Fonte: Embraer (2014)

Segundo a Embraer (2014), em função de seu menor poder calorífico, o uso de etanol acarreta um maior consumo horário de combustível, levando por consequência a uma menor autonomia de voo, já que a capacidade de combustível é a mesma nas duas versões da aeronave.

Na Tabela 4 estão relacionados dados comparativos do desempenho do motor *Lycoming* do Ipanema quando abastecido com gasolina de aviação ou etanol.

Tabela 4. Comparação do desempenho do motor *Lycoming* (gasolina x etanol)

PARÂMETROS	MOTOR À ETANOL	MOTOR À GASOLINA	VANTAGEM DO ETANOL
POTÊNCIA MÁXIMA	320 HP	300 HP	7,0%
VELOCIDADE MÉDIA	213 km h ⁻¹	206 km h ⁻¹	3,3%
CONSUMO MÉDIO	94,5 L h ⁻¹	64,5 L h ⁻¹	- 32%
AUTONOMIA DE VOO	610 km	938 km	- 35%

Fonte: Adaptado de Costa (2011)

Conforme França (2012), existem muitas vantagens no motor aeronáutico à etanol. Além das financeiras como consequência do preço mais acessível (mesmo

com consumo maior), há vantagens técnicas e estratégicas. O consumo maior é compensado pelo aumento de potência (7%) e a logística de abastecimento, transporte e armazenamento fica muito mais prática, pois o etanol pode ser adquirido em qualquer posto de combustíveis (o etanol de aviação é o mesmo etanol automotivo), o que não ocorre com a gasolina de aviação, que é produzida somente na refinaria da Petrobrás em Cubatão-SP, dificultando o transporte e encarecendo seu custo. Com o álcool combustível, o motor opera com temperaturas mais baixas, o que reduz o desgaste das cabeças de cilindro e a menor emissão de poluentes é outro ponto favorável ao etanol.

Dupont (2012) relata que a diferença operacional entre um motor certificado para utilização de gasolina de aviação consumir gasolina comum ou etanol é muito grande, incluindo entre as implicações a temperatura de combustão, a relação ar/combustível, as vibrações induzidas pela combustão, a corrosão causada pelo álcool combustível, a deterioração de diversos componentes poliméricos e de borracha, a redução da lubrificação dos cilindros (o etanol age como um detergente, eliminando a camada protetora da parede do cilindro gerada pelo óleo lubrificante) e o aumento da potência do motor, o que pode influenciar no torque aplicado à hélice, entre outras implicações.

Muitos estudos apontam e definem a importância imprescindível de utilização de combustíveis renováveis na atualidade, em função das necessidades de produção de fontes de energias alternativas, com baixos índices de emissões. Parafraçando Aydin e Ilkiliç (2010), mas para tanto, este combustível alternativo deve ser tecnicamente aprovado, economicamente competitivo, ambientalmente aceito e facilmente disponível.

Segundo Costa (2011) o impacto ambiental da utilização de etanol no setor aeronáutico em relação à gasolina é direto pelo simples fato de se evitar o uso da gasolina de aviação, que no Brasil, é composta, de maneira geral, por 65% de alquilados (principalmente iso-octano), 20% de tolueno e 15% de C₅ de destilação direta (basicamente isopentano). Outras substâncias são também adicionadas para que a gasolina satisfaça certos requisitos indispensáveis para um combustível de emprego aeronáutico, como o chumbo tetraetila, que possui a função de aumentar a octanagem, e, dibrometo de etileno para retirar os depósitos de chumbo.

3.7 Bioquerosene

Conforme Velázquez, Kubotani e Velázquez (2012), o setor de transporte aéreo mundial vem sendo pressionado para reduzir suas emissões de CO₂, pois a aviação é responsável por cerca de 3% delas, e em função das perspectivas de crescimento do setor, há indícios de aumento nessa participação. Além disso, os combustíveis representam aproximadamente 40% dos custos de operação das empresas aéreas.

Betiolo, Rocha e Machado (2009) afirmam que nos últimos anos, significativos avanços vêm sendo alcançados no desenvolvimento de combustíveis alternativos para a aviação, em particular uma nova geração do biodiesel, o chamado bioquerosene. Este biocombustível deve garantir à aviação alto desempenho, segurança, que sua produção não concorra com a de alimentos e que seja competitivo com o custo do querosene fóssil.

De acordo com Brasil (2010), além das matérias-primas que vêm sendo utilizadas de forma ampla na produção de biodiesel no Brasil e no exterior, como soja, colza, palma e sebo, outras fontes de óleo vegetal têm sido propostas nos estudos e testes em curso, em especial para a produção dos biocombustíveis destinados ao uso em turbinas aeronáuticas, como Pinhão Manso, Babaçu, Camelina (falso Linho) e algas. Os principais fatores que justificam o interesse nessas culturas são a produtividade potencial e a possibilidade de cultivo em terras marginais, bem como a composição em termos de óleos graxos.

Segundo a ABRABA (2011), em diferentes regiões do mundo, empresas aéreas e fabricantes de aviões têm realizado voos utilizando combustíveis alternativos, principalmente com bioquerosene misturado ao querosene convencional de aviação, com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica desses combustíveis renováveis.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Procedimentos

Para a realização da parte experimental deste trabalho foram utilizados os laboratórios da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *Campus Cascavel* e *Campus Toledo* e da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

4.2 Matérias-primas

O etanol hidratado combustível utilizado foi adquirido na rede de postos comerciais. O óleo degomado de soja necessário para a síntese do biodiesel de soja foi adquirido em empresa fornecedora local. Para a síntese do biodiesel de mamona utilizou-se óleo de rícino comercial.

4.3 Produção do biodiesel de soja e de mamona

4.3.1 Reação de transesterificação

A reação foi baseada na relação estequiométrica entre os triglicerídeos e o álcool escolhido, sendo que a quantidade de catalisador e de álcool foi estabelecida como o percentual em relação ao volume de óleo. Os óleos vegetais foram secos em estufa a 80 °C previamente à sua utilização para garantir baixos níveis de contaminação com água. Para as sínteses do biodiesel de soja e de mamona, foi utilizada a relação percentual de 25% de álcool (metanol) e 1% de catalisador (KOH) em razão do volume de óleo (500 mL). O óleo foi colocado sob agitação mecânica constante e aquecido a 60 °C. Em seguida, a mistura de álcool e catalisador foi adicionada para dar início à reação de transesterificação. Manteve-se a temperatura e a agitação por 60 minutos para garantir a máxima eficiência da reação.

Ao término do tempo de reação transferiu-se todo o conteúdo para um funil de separação, deixando a mistura em decantação por 24 horas para garantir a total separação da glicerina, conforme ilustra a Figura 6.



Figura 6. Fotografia da separação de fases: biodiesel de soja (a) e mamona (b)

4.3.2 Purificação do biodiesel

A lavagem do biodiesel de soja e do biodiesel de mamona foi realizada com água destilada a 80 °C em quantidades de um terço (1/3) do volume inicial de óleo, para a remoção do excesso de catalisador e de eventuais triacilgliceróis ou ácidos graxos livres que não reagiram. Foi realizada titulação com fenolftaleína e o procedimento foi repetido até que não houvesse mais reação à água de lavagem. Posteriormente, tanto o biodiesel de soja como o biodiesel de mamona, foi desumidificado em estufa a 65 °C por 12 horas, para remover o excesso de água.

4.3.3 Preparação das blendas

As amostras do biodiesel de soja foram pesadas e posteriormente misturadas ao etanol hidratado. As blendas foram produzidas iniciando-se com 99% de etanol hidratado (m/m) e 1% de biodiesel (m/m), elevando-se a quantidade de biodiesel para 3%, 5% e 10% (m/m) respectivamente para cada solução, conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Blendas de etanol hidratado e biodiesel de soja

BLENDAS	ETANOL HIDRATADO	BIODIESEL/SOJA
Mistura 1	99%	1%
Mistura 2	97%	3%
Mistura 3	95%	5%
Mistura 4	90%	10%

Fonte: O Autor

Na sequência, amostras do biodiesel de mamona foram pesadas e misturadas ao etanol hidratado, nas mesmas proporções das misturas realizadas com biodiesel de soja (1%, 3%, 5% e 10%) (m/m), conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Blendas de etanol hidratado e biodiesel de mamona

BLENDAS	ETANOL HIDRATADO	BIODIESEL/MAMONA
Mistura 1	99%	1%
Mistura 2	97%	3%
Mistura 3	95%	5%
Mistura 4	90%	10%

Fonte: O Autor

Na Figura 7 estão ilustradas as 8 soluções contendo as misturas de etanol hidratado e biodiesel de soja, e etanol hidratado e biodiesel de mamona.



Figura 7. Fotografia das blendas de etanol e biodiesel

4.4 Poder Calorífico

Para a obtenção do poder calorífico superior foi utilizado o equipamento ilustrado na Figura 8, composto por calorímetro isotérmico modelo e2k (A), válvula de enchimento (B), manômetros para controle da pressão (C), vaso calorimétrico (D) e cilindro de oxigênio (E).



Figura 8. Calorímetro modelo e2k

Cada amostra das blendas de etanol e biodiesel, do etanol hidratado e do biodiesel de soja e de mamona, com massa inferior e aproximada de 0,500 g, foi inserida no interior do vaso com oxigênio a alta pressão e levadas para a bomba calorimétrica que quantifica o calor liberado através da combustão em MJ kg^{-1} .

4.5 Viscosidade Cinemática

O teste para se determinar a viscosidade foi realizado num banho termostaticado com água a 20 °C, por escoamento sob gravidade de cada amostra no viscosímetro capilar Cannon-Fenske, ideal para fluidos com baixa viscosidade, anotando-se o tempo de escoamento e fazendo-se a correção pelo fator do tubo. O

cálculo é feito multiplicando-se o tempo de fluxo em segundos pela constante do viscosímetro para o bulbo C. Para um viscosímetro número 75, como o utilizado neste experimento, o valor da constante é 0,008 e a unidade é $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ ou cSt (centistoke). A Figura 9 ilustra o equipamento utilizado na realização do teste.



Figura 9. Fotografia do viscosímetro em banho a 20 °C

4.6 Ponto de fulgor

A determinação foi realizada com a aplicação de uma chama em cada amostra das blendas etanol/biodiesel colocadas num recipiente refratário submetido a aquecimento, com controle de temperatura, até que os vapores gerados se inflamaram. O ponto de fulgor é a temperatura registrada pelo termômetro no instante em que se observou o primeiro clarão na superfície do combustível. Na Figura 10 está ilustrado o experimento.



Figura 10. Fotografia do aparelho para determinação do ponto de fulgor

4.7 Densidade

A densidade relativa de cada mistura etanol/biodiesel foi determinada pelo método do picnômetro, que é um pequeno frasco de vidro construído de forma que o volume do líquido que contenha seja invariável. Foram utilizados um picnômetro de 5 mL, balança de precisão e água destilada para comparação. O processo consiste em se medir as massas de água e do fluido que completam o picnômetro. A razão entre a massa do fluido e a massa da água é a densidade relativa. Anotou-se a temperatura e a partir dos valores tabelados para a massa específica da água determinou-se o volume do picnômetro; a razão entre a massa do fluido e o volume do picnômetro é a massa específica do fluido. A massa específica da água a 25 °C é $997,0 \text{ kg m}^{-3}$ e a 20 °C é $998,2 \text{ kg m}^{-3}$.

Na Figura 11 está ilustrado o picnômetro utilizado na determinação da densidade do etanol e das blendas deste com biodiesel de soja e de mamona.



Figura 11. Picnômetro para determinação da densidade

4.8 Condutividade elétrica

Utilizou-se um Condutímetro MS Tecponon (Figura 12) calibrado com solução padrão ($146,9 \mu\text{S}/\text{cm}$) para a determinação da condutividade elétrica do etanol hidratado e das blendas deste com biodiesel (soja e mamona).



Figura 12. Condutímetro MS Tecponon

4.9 Turbidez

Para a determinação da turbidez foi utilizado o equipamento Turbidímetro TB-1000 da Tecnopon (Figura 13). O aparelho foi calibrado com todas as cubetas padrão e na sequencia foram realizadas as medidas para as blendas deste trabalho.



Figura 13. Turbidímetro TB-1000 - Tecnopon

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Poder calorífico

O poder calorífico superior médio encontrado para o etanol hidratado combustível utilizado foi de $25,812 \text{ MJ kg}^{-1}$. De acordo com Costa et al. (2009), vários autores relatam diferentes valores para o poder calorífico do etanol hidratado combustível, variando de $20,200 \text{ MJ kg}^{-1}$ até $30,000 \text{ MJ kg}^{-1}$, estando portanto, dentro dos valores esperados para o álcool. Esta variação ocorre em função da quantidade de água contida no etanol hidratado, que segundo a especificação da ANP, pode conter até 4,9% de água (v/v).

O resultado obtido na bomba calorimétrica para as amostras de biodiesel de soja apresentaram um valor médio de $38,457 \text{ MJ kg}^{-1}$ e para as amostras de biodiesel de mamona um valor médio de $37,293 \text{ MJ kg}^{-1}$. Conforme Bonometo (2009), o biodiesel de soja possui propriedades similares às aquelas apresentadas pelo diesel derivado de petróleo, apresentando poder calorífico superior entre $37,800 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $41,800 \text{ MJ kg}^{-1}$, enquanto que o diesel apresenta poder calorífico superior em torno de $45,000 \text{ MJ kg}^{-1}$.

Nascimento et al. (2006), realizaram testes com biodiesel de mamona encontrando valores muito próximos ao deste trabalho, com $38,144 \text{ MJ kg}^{-1}$. Também Zuniga et al. (2011) encontraram $9046 \text{ kcal kg}^{-1}$ ($37,870 \text{ MJ kg}^{-1}$) para o biodiesel de mamona.

Enquanto o etanol possui apenas 2 carbonos em sua estrutura molecular ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), o biodiesel de soja possui em sua constituição cerca de 51% de seus ácidos graxos na conformação C18:2, portanto, com 18 carbonos, enquanto o biodiesel de mamona possui cerca de 85% na conformação C18:1-OH, não se apresentando em quantidade significativa em nenhum dos dois biocombustíveis, cadeias menores do que aquelas com 16 carbonos.

De acordo com Nascimento et al. (2014), o poder calorífico de um combustível é tanto maior quanto mais carbonos existirem em sua composição, havendo assim mais disponibilidade destes para o processo de oxidação, elevando o calor de combustão. No caso do biodiesel de mamona, que possui grupos OH ligados a um carbono na grande parte de suas moléculas, os índices de calor de

combustão e respectivo poder calorífico são um pouco menores em função justamente deste carbono já estar parcialmente oxidado.

Os resultados para as blendas de etanol hidratado e biodiesel (soja e mamona) diagnosticam um acréscimo no poder calorífico, conforme a Tabela 7.

Tabela 7. Poder calorífico superior do etanol, dos biodieseis e das blendas

SOLUÇÃO	Amostra 1 (MJ kg ⁻¹)	Amostra 2 (MJ kg ⁻¹)	Média (MJ kg ⁻¹)	Desvio Padrão
Etanol hidratado	25,803	25,822	25,812	0,013
Biodiesel de soja	38,447	38,467	38,457	0,014
Biodiesel de mamona	37,331	37,254	37,293	0,054
1% BS* + Etanol	25,978	25,935	25,956	0,030
3% BS* + Etanol	26,312	26,295	26,303	0,012
5% BS* + Etanol	27,150	27,222	27,186	0,051
10% BS* + Etanol	28,008	28,102	28,055	0,066
1% BM** + Etanol	25,949	25,924	25,936	0,018
3% BM** + Etanol	26,233	26,254	26,243	0,015
5% BM** + Etanol	26,989	27,089	27,039	0,071
10% BM** + Etanol	27,937	27,898	27,918	0,027

*BS: Biodiesel de soja.

**BM: Biodiesel de mamona.

Na Figura 14 pode-se observar a tendência dos valores do poder calorífico das blendas com biodiesel de soja serem maiores daqueles das blendas com biodiesel de mamona. No entanto, segundo o teste T com significância de 5%, o poder calorífico das amostras das blendas com biodiesel de soja não são estatisticamente diferentes daqueles das blendas com biodiesel de mamona.

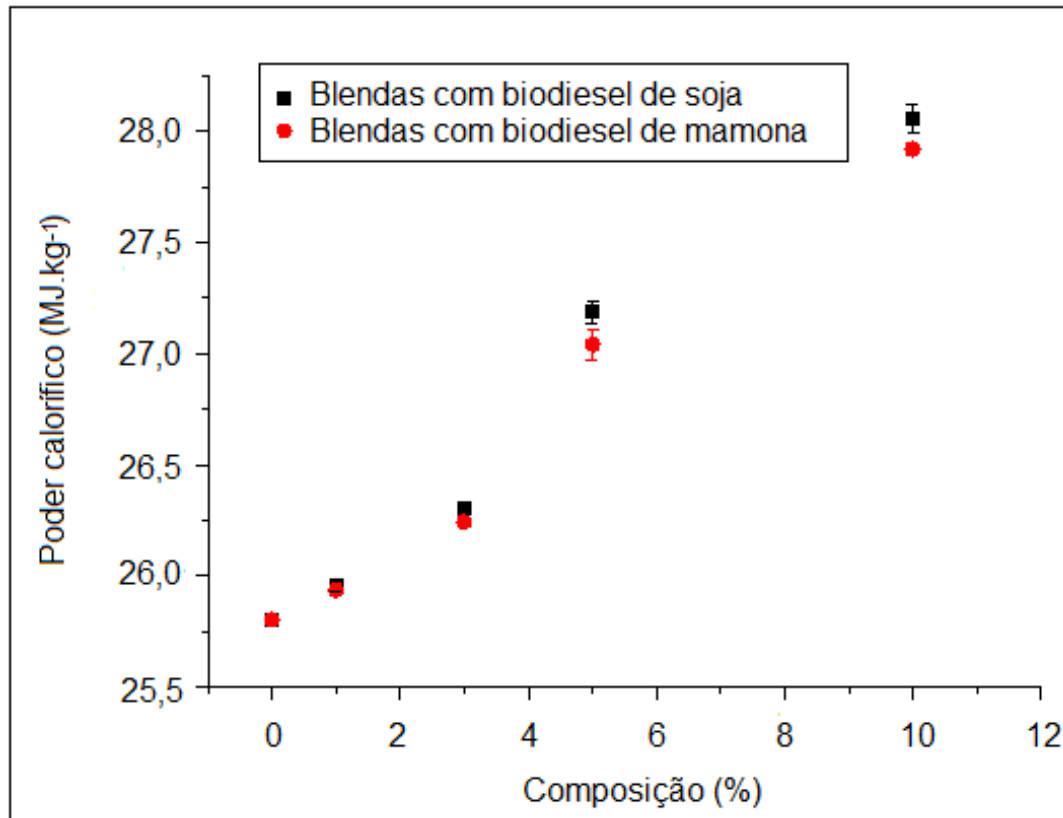


Figura 14. Gráfico do poder calorífico das blendas, valor médio e desvio padrão

De acordo com os resultados obtidos denota-se um acréscimo no poder calorífico das blendas conforme se adiciona maiores porcentagens de biodiesel (soja ou mamona) ao etanol hidratado. Isto se dá em função das maiores cadeias carbônicas do biodiesel quando comparadas ao etanol, que só possui dois átomos de carbono.

Os resultados experimentais confirmam a influência da cadeia carbônica ao apontarem um acréscimo maior do poder calorífico para as blendas de etanol hidratado e biodiesel de soja, embora com mínima diferença, quando comparados ao poder calorífico do biodiesel de mamona adicionado ao etanol hidratado. As misturas com 1% e 3%, tanto de biodiesel de soja como do biodiesel de mamona já apresentam alterações positivas para o poder calorífico, elevando de 0,5% até 2,0% os valores, sendo sempre um pouco maior o índice para as misturas com biodiesel de soja. Na blenda com 5% de biodiesel de soja, o acréscimo no poder calorífico foi de 5,30% em média, enquanto que para o biodiesel de mamona foi de 4,75% em média. Nas composições com 10% de biodiesel de soja e 90% de etanol hidratado,

houve elevação de 8,70% no resultado do poder calorífico e nas misturas com 10% de biodiesel de mamona e 90% de etanol hidratado o acréscimo foi de 8,16%.

5.2 Viscosidade Cinemática

A viscosidade cinemática não está contida na especificação do etanol, não sendo, portanto, um parâmetro compulsório de análise para este biocombustível. No entanto, a viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos combustíveis, pois influencia na circulação e na injeção do combustível, durante o funcionamento de motores por injeção.

Segundo Pontes et al. (2010), a viscosidade aumenta com o aumento da cadeia carbônica e com o aumento no grau de insaturações, sendo influenciada por ramificações e posicionamento das insaturações. As forças intermoleculares comandam o grau de atração das moléculas e podem ser modificadas pela presença de grupos funcionais modificadores de conformação ou de polaridade das moléculas, aumentando ou diminuindo determinado tipo de interação intermolecular.

O biodiesel de soja, segundo Candeia (2008), possui em sua constituição mais de 80% de ésteres de ácidos graxos insaturados, com predominância do ácido graxo linoléico (mais de 50%). Este ácido graxo possui 18 carbonos e duas insaturações, e estas insaturações conferem ao biodiesel de soja uma maior instabilidade oxidativa, sendo que a viscosidade cinemática encontrada para o biodiesel de soja se apresentou dentro dos parâmetros da ANP, sendo detectado o índice de $5,75 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$.

O óleo de mamona, de acordo com Beltrão e Oliveira (2008), possui em sua constituição até 90% de ácido graxo ricinoléico, que possui uma ligação insaturada e pertence ao grupo dos hidroxiácidos, caracterizando-se por seu alto peso molecular (298 g mol^{-1}) e baixo ponto de fusão ($-5 \text{ }^\circ\text{C}$). O grupo hidroxila presente no ácido ricinoléico confere, ao óleo de mamona e ao biodiesel oriundo desta matéria-prima, a propriedade de excelente solubilidade em álcool, além de alta viscosidade, que é mantida em ampla faixa de temperatura, explicada pela formação de pontes de hidrogênio intermoleculares.

Conforme Ventura, Alves e Santos (2010), o biodiesel de mamona possui viscosidade cinemática de $13,52 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, enquanto as normas da ANP permitem um máximo de $6,0 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ para o biodiesel no Brasil.

Embora a viscosidade cinemática do biodiesel de mamona não atenda a especificação, para o objetivo deste trabalho ele se faz importante. Conforme Pérez, Carvalho Jr. e Carrocci (2006), a viscosidade cinemática do etanol a 25 °C é de 1,78 mm² s⁻¹, ou seja, é muito reduzida para um combustível que se destina ao uso em motores por injeção. No experimento deste trabalho, encontrou-se 1,712 mm² s⁻¹ para a viscosidade do etanol hidratado, em média, a 20 °C. A adição de biodiesel de soja e/ou de biodiesel de mamona ao etanol hidratado eleva a viscosidade do álcool combustível, melhorando esta característica do etanol conforme os resultados obtidos e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Viscosidade do etanol hidratado e das blendas

SOLUÇÃO	TEMPO DE ESCOAMENTO 1 (segundos)	TEMPO DE ESCOAMENTO 2 (segundos)	VISCOSIDADE MÉDIA (mm ² s ⁻¹)
Etanol hidratado	213	215	1,712
1% BS* + etanol	213	215	1,712
3% BS* + etanol	218	220	1,752
5% BS* + etanol	223	225	1,792
10% BS* + etanol	238	237	1,900
1% BM** + etanol	224	223	1,788
3% BM** + etanol	228	230	1,832
5% BM** + etanol	238	239	1,908
10% BM** + etanol	263	265	2,112

*BS: Biodiesel de soja.

**BM: Biodiesel de mamona.

Lôbo, Ferreira e Cruz (2009) afirmam que a viscosidade em excesso pode influenciar nos processos que ocorrem na câmara de combustão do motor, promovendo heterogeneidade na queima devido à diminuição da eficiência de atomização do combustível, ocasionando a deposição de resíduos nas partes internas do motor.

Os aumentos de viscosidade encontrados nas blendas estudadas não são excessivos, sendo que o maior acréscimo em relação ao etanol hidratado foi de 23,8% para a blenda com 10% de biodiesel de mamona. As misturas de etanol com biodiesel de soja a 10% e com biodiesel de mamona a 5% obtiveram resultados de

incremento também significativos, melhorando seu índice em relação ao etanol hidratado em 15%.

Na Figura 15 pode-se observar a variação da viscosidade em função das diferentes composições das misturas etanol/biodiesel, comprovando o aumento da viscosidade. Essa variação possui um comportamento linear com retas ajustadas de $y=1,699+0,020x$ para as blendas com biodiesel de soja e $y=1,725+0,038x$ para as blendas com biodiesel de mamona, com coeficiente de Pearson (R) superior a 0,9939 e soma dos quadrados dos resíduos inferior de $9,296 \times 10^{-4}$. Assim, a variação na viscosidade para o biodiesel de mamona é 90% maior que para o biodiesel de soja, por unidade de aumento.

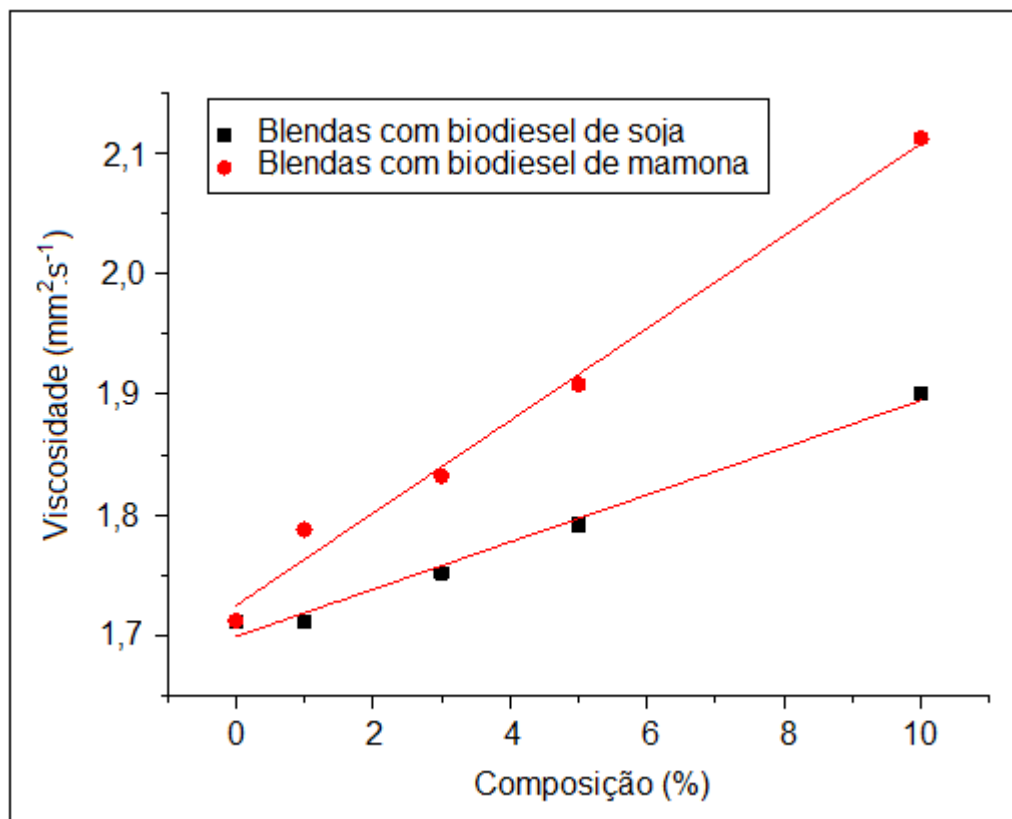


Figura 15. Gráfico da viscosidade e das retas ajustadas para as blendas

5.3 Ponto de fulgor

Conforme o procedimento experimental utilizado, vaso aberto (vapores do combustível em contato com o ar atmosférico) ou vaso fechado (vapores sem contato com o ar atmosférico), o ponto de fulgor pode variar, embora muito pouco,

principalmente se o estudo for realizado com combustíveis mais voláteis como o álcool etílico combustível. De acordo com a Petrobrás (2014), o ponto de fulgor para o etanol hidratado combustível é de 15 °C, em experimento em vaso fechado. Já para o etanol anidro combustível, o ponto de fulgor está em 13 °C. Dependendo da quantidade de água presente no álcool hidratado, o ponto de fulgor pode variar alcançando valores superiores a 17 °C em vaso aberto ou fechado, conforme o Inmetro (2012).

Os acréscimos no ponto de fulgor obtidos neste experimento foram relativamente baixos, em concordância com o exposto por Lôbo, Ferreira e Cruz (2009) que relatam que para o biodiesel puro (B100), independente da matéria-prima de origem, o valor do ponto de fulgor encontra-se próximo aos 170 °C, porém, mínimas quantidades de álcool adicionadas ao biodiesel ocasionam um decréscimo bastante significativo neste valor. Segundo a ANP (2014), o ponto de fulgor mínimo para o biodiesel no Brasil é 100 °C.

Na Tabela 9 estão listadas as temperaturas de ponto de fulgor encontradas para o etanol hidratado utilizado no procedimento experimental, assim como para as blendas com biodiesel de soja e biodiesel de mamona.

Tabela 9. Ponto de fulgor do etanol e das blendas

SOLUÇÃO	AMOSTRA 1 (°C)	AMOSTRA 2 (°C)	AMOSTRA 3 (°C)	PONTO DE FULGOR MÉDIO (°C)
Etanol hidratado	15,5	15,5	15,6	15,53
1% BS* + etanol	15,7	15,6	15,6	15,63
3% BS* + etanol	16,0	16,1	16,1	16,06
5% BS* + etanol	16,3	16,4	16,4	16,36
10% BS* + etanol	16,8	16,8	16,9	16,83
1% BM** + etanol	15,6	15,6	15,7	15,63
3% BM** + etanol	15,8	15,8	15,8	15,80
5% BM** + etanol	16,0	16,1	15,9	16,00
10% BM** + etanol	16,6	16,5	16,6	16,56

*BS: Biodiesel de soja.

**BM: Biodiesel de mamona.

Os resultados experimentais obtidos para o etanol hidratado combustível utilizado estão dentro do esperado para este biocombustível, com 15,53 °C em média para o ponto de fulgor. O acréscimo de temperatura para as blendas ocorreu em todas as proporções de misturas utilizadas, sendo que naquelas com 3% de biodiesel de soja e com 5% de biodiesel de mamona o aumento foi de 0,5 °C em média. As blendas com 10% de biodiesel (soja e mamona) foram aquelas que retornaram os melhores resultados para o ponto de fulgor, com aumento médio de pouco mais de 1,0 °C na temperatura.

O Teste T aplicado para as blendas com biodiesel de soja quando comparado ao mesmo teste aplicado às misturas com biodiesel de mamona, descarta a hipótese nula para as misturas superiores a 1% de biodiesel, indicando que a alteração observada no ponto de fulgor para as blendas com 3%, 5% e 10% de biodiesel de soja são estatisticamente diferentes daquelas com a mesma proporção de biodiesel de mamona (significância de 0,05).

5.4 Densidade

A densidade ou massa específica para o etanol hidratado segundo a ANP (2011) deve variar de 807,6 a 811,0 kg m⁻³ a 20 °C. A quantidade de água presente no etanol é que causa essa variação da densidade, e quanto mais próxima do limite de 4,9% (v/v), maior será a densidade do etanol hidratado.

No experimento realizado para este trabalho, detectou-se 810,9 kg m⁻³ para o etanol hidratado. Este valor está no limite máximo da especificação para o álcool combustível, assim, também determinando que está no limite máximo para o teor de água, que possui a densidade padrão de 1.000,0 kg m⁻³.

Em função da alta densidade do etanol hidratado utilizado neste experimento, a densidade de quase todas as blendas com biodiesel de soja e com biodiesel de mamona ultrapassou o limite máximo da especificação para o etanol, embora com valores percentuais muito baixos. Esta elevação se deve também a característica própria do biodiesel de possuir alta densidade.

Na Tabela 10 estão listadas as densidades encontradas no experimento para este trabalho.

Tabela 10. Densidade ou Massa Específica do etanol hidratado e das blendas

SOLUÇÃO	DENSIDADE (kg m ⁻³)	PORCENTAGEM ACIMA DA ESPECIFICAÇÃO* (%)
Etanol hidratado	810,9	0
1% BS** + etanol	811,0	0
3% BS** + etanol	812,3	0,16
5% BS** + etanol	813,7	0,33
10% BS** + etanol	816,4	0,67
1% BM*** + etanol	812,3	0,16
3% BM*** + etanol	813,2	0,27
5% BM*** + etanol	815,7	0,58
10% BM*** + etanol	822,5	1,42

*Especificação para o etanol hidratado: de 807,6 a 811,0 kg m⁻³.

**BS: Biodiesel de soja.

***BM: Biodiesel de mamona.

De acordo com Cavalcante (2010) a densidade para o biodiesel de soja e de mamona a 20 °C é de 876,91 kg m⁻³ e 921,32 kg m⁻³ respectivamente. Silva et al. (2014) encontraram números semelhantes para a densidade do biodiesel, sendo 881,9 kg m⁻³ para o de soja e 920,4 kg m⁻³ para o de mamona, também a 20°C.

Como a densidade do biodiesel (soja e mamona) é maior do que a do etanol hidratado, as blendas experimentadas neste trabalho apresentaram acréscimo de densidade em relação ao álcool. A única blenda que se manteve dentro da especificação para o etanol hidratado foi aquela com 1% de biodiesel de soja, alcançando 811,0 kg m⁻³. Todas as outras blendas extrapolaram o valor máximo, embora com percentuais pequenos. O maior aumento ocorreu com a blenda com 10% de biodiesel de mamona, em função da altíssima densidade deste biocombustível, levando a um incremento de 1,43% para esta mistura, elevando de 810,9 kg m⁻³ para 822,5 kg m⁻³ a densidade.

Se o etanol utilizado estivesse com a densidade mínima estabelecida (807,6 kg m⁻³), as blendas com 1%, 3% e 5% de biodiesel de soja, e as blendas com 1% e 3% de biodiesel de mamona estariam dentro da especificação. As demais blendas extrapolariam o índice máximo de densidade em no máximo 1%.

Na Figura 16 têm-se as retas ajustadas para as densidades das blendas de etanol/biodiesel descritos na Tabela 10. Observa-se que o efeito da adição do biodiesel no etanol causa um aumento em sua densidade, sendo mais acentuado para o biodiesel de mamona. Para as blendas etanol/biodiesel de soja, a reta ajustada é $y=810,68+0,57x$ e para as blendas etanol/biodiesel de mamona é $y=810,57+1,15x$, indicando que o biodiesel de mamona aumenta a densidade da mistura 101,8% a mais que o biodiesel de soja por unidade de variação.

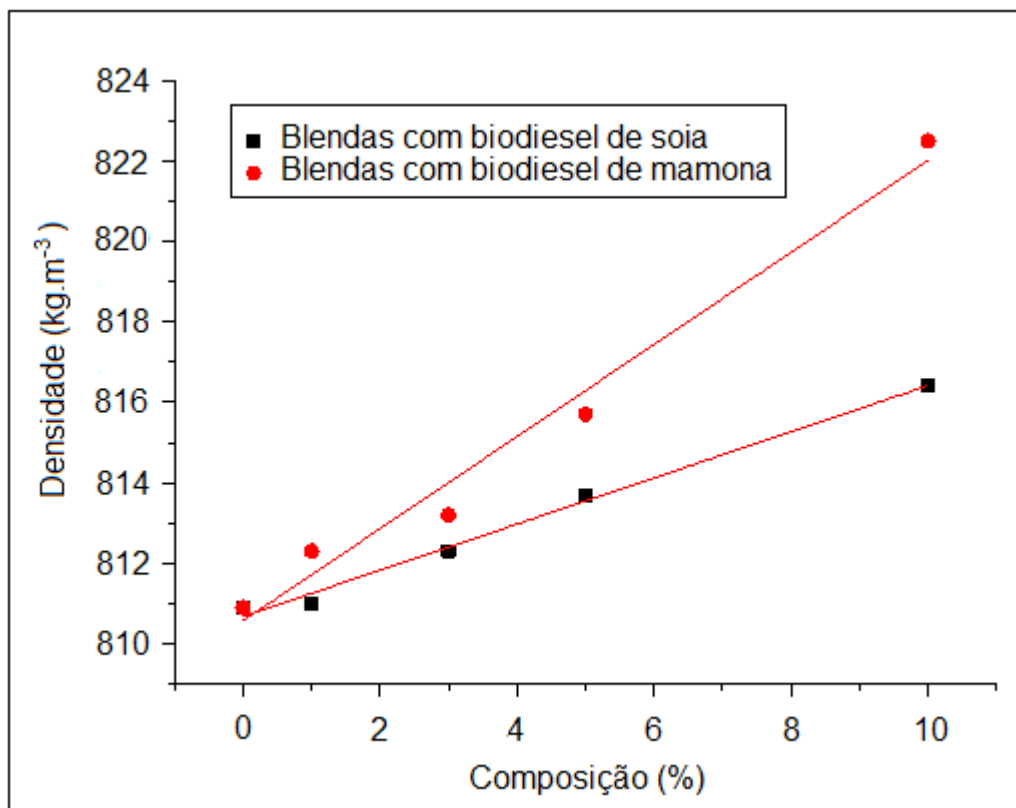


Figura 16. Gráfico com a densidade das blendas e retas ajustadas

5.5 Condutividade elétrica

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica do etanol hidratado e das blendas estão relacionados na Tabela 11.

Tabela 11. Condutividade elétrica do etanol e das blendas

SOLUÇÕES	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S m}^{-1}$)
Etanol hidratado	90
1% BS* + etanol	91
3% BS* + etanol	97
5% BS* + etanol	98
10% BS* + etanol	98
1% BM** + etanol	95
3% BM** + etanol	149
5% BM** + etanol	190
10% BM** + etanol	274

*BS: Biodiesel de soja.

**BM: Biodiesel de mamona.

A especificação para o etanol hidratado, conforme a ANP (2011), estabelece um limite máximo de $389 \mu\text{S m}^{-1}$ para a condutividade elétrica. Todas as blendas submetidas à experimentação neste trabalho resultaram em níveis de condutividade abaixo do limite máximo contido na especificação.

Cordeiro (2013) afirma que o biodiesel, independente da matéria-prima de origem, possui alta viscosidade e baixa condutividade elétrica. Silva (2013) obteve em seus experimentos a condutividade elétrica de $140 \mu\text{S m}^{-1}$ para o biodiesel de soja. Mattos (2012) estabelece que a condutividade elétrica é o parâmetro que mais influencia na lubricidade de um combustível. Quanto maior a condutividade elétrica, menor o desgaste de peças ou partes de um motor provocado por atrito.

Assim, os resultados obtidos para a condutividade elétrica nas blendas com biodiesel de mamona, além de ainda permanecerem dentro da especificação, também apresentam condições indiretas de influência positiva no parâmetro lubricidade. Compostos com grandes cadeias carbônicas insaturadas, como as do biodiesel de soja e principalmente do biodiesel de mamona, promovem uma maior mobilidade eletrônica ao longo da cadeia, elevando a condutividade elétrica e também o poder de lubrificação de um combustível. Por outro lado, a condutividade elétrica se mantém dentro da especificação, não influenciando os processos de corrosão que podem ser provocados por uma alta condutividade.

5.6 Turbidez

Todos os índices de turbidez detectados, tanto para o etanol hidratado como para as blendas com biodiesel, foram baixos. Como referência para comparação, de acordo com Brito et al. (2012), a água destilada possui uma turbidez de aproximadamente 0,47 NTU. Silva (2012a) expõe que águas altamente túrbidas possuem valores acima de 100 NTU.

A turbidez é um parâmetro não compulsório, tanto para o etanol como para o biodiesel. Sua determinação neste trabalho se deu em função do diagnóstico negativo para a separação de fases, estabelecendo a homogeneidade para todas as blendas experimentadas. Schons (2008) relata que a estabilidade de misturas ou blendas de uma ou mais substâncias pode ser detectada pela variação da turbidez de uma amostra, após certo tempo de descanso.

Na Tabela 12 estão listados os índices encontrados para o etanol hidratado e também para as blendas com biodiesel de soja e de mamona.

Tabela 12. Turbidez do etanol hidratado e das blendas com biodiesel

SOLUÇÕES	TURBIDEZ (NTU*)
Etanol hidratado	0,80
1% BS** + etanol	0,46
3% BS** + etanol	0,76
5% BS** + etanol	1,05
10% BS** + etanol	0,80
1% BM*** + etanol	0,67
3% BM*** + etanol	0,80
5% BM*** + etanol	1,07
10% BM*** + etanol	2,40

*NTU: unidades nefelométricas de turbidez.

**BS: Biodiesel de soja.

***BM: Biodiesel de mamona.

As blendas e o próprio etanol possuem baixíssima turbidez, e mesmo os 2,40 NTUs encontrados para a blenda com 10% de biodiesel de mamona é um

índice baixo. As análises para turbidez foram realizadas dois dias após o preparo das blendas, evidenciando a não separação de fases, caracterizando o etanol hidratado e o biodiesel de soja e de mamona como substâncias homogêneas e de excelente solubilidade.

6. CONCLUSÕES

As análises realizadas com as blendas entre etanol hidratado e biodiesel de soja e etanol hidratado e biodiesel de mamona apresentaram resultados positivos.

O poder calorífico elevou-se em todas as misturas realizadas, demonstrando a influência das longas cadeias carbônicas do biodiesel. As blendas de etanol hidratado, tanto com biodiesel de soja como com biodiesel de mamona, fornecem um calor de combustão maior do que aquele do álcool combustível, favorecendo um menor consumo, e assim aumentando a autonomia de trabalho dos motores.

A viscosidade determinada para as blendas também demonstra a influência das longas cadeias carbônicas do biodiesel sobre o etanol hidratado. Embora o biodiesel de mamona se apresente com viscosidade excessiva, exemplificada pelo acréscimo obtido na blenda com 10% deste biodiesel (+ 23,8%), este aumento é importante para os motores com injeção, melhorando a circulação do combustível, sem prejudicar sua atomização e queima na câmara de combustão.

O ponto de fulgor obteve melhora máxima de cerca de 1 °C nas blendas com 10% de biodiesel (soja e mamona). Embora seja um pequeno acréscimo na temperatura, passando de 15,53 °C para 16,56 °C (mamona) e 16,83 °C (soja), isto representa uma sensível diferença para o transporte, armazenamento e abastecimento do combustível, tornando estas operações mais seguras.

A densidade mostrou-se dependente do percentual de água existente no etanol. Como a densidade do biodiesel é maior que a do etanol hidratado, se a densidade do álcool estiver próxima do limite máximo, as blendas com biodiesel extrapolarão os limites da especificação. No entanto, se o etanol estiver com sua densidade próxima do limite mínimo, as blendas com 1%, 3% e 5% de biodiesel de soja e com 1% e 3% de biodiesel de mamona se mantêm dentro da especificação. De maneira geral, o limite máximo contido na especificação do etanol hidratado não é ultrapassado de maneira significativa em nenhuma situação de mistura com biodiesel (soja ou mamona), sendo 1,42% o maior índice encontrado acima da especificação, para a blenda com 10% de biodiesel de mamona.

A condutividade elétrica e a turbidez encontradas indicam que as blendas possuem maior lubricidade, grande homogeneidade e excelente solubilidade, não caracterizando a separação de fases.

REFERÊNCIAS

- ABDELNUR, P. V.; SARAIVA, S. A.; CATHARINO, R. R.; COELHO, M.; SCHWAB, N.; GARCIA, C. M.; SCHUCHARDT, U.; SOUZA, V. de.; EBERLIN, M. N. **Blends of soybean biodiesel with petrodiesel: direct quantitation via mass spectrometry.** Artigo. Journal of the Brazilian Chemical Society. Vol 24, nº 6. São Paulo. Junho 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532013000600008 &lang=pt>. Acesso em: 14 Jul. 2014.
- ABRABA - ALIANÇA BRASILEIRA PARA BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO. **Compromisso com a sustentabilidade.** 2011. Disponível em: <<http://www.abraba.com.br/pt-BR/Paginas/home.aspx>>. Acesso em: 19 Jul. 2014.
- ABUABARA, A.; MORABITO, R. **Modelos de programação inteira mista para o planejamento do corte unidimensional de tubos metálicos na indústria aeronáutica agrícola.** Artigo. Gestão de Produção. Vol 15, nº 3, pag. 605-617. São Carlos. Set-Dez. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v15n3/13.pdf>>. Acesso em: 23 Jul. 2014.
- ALVARENGA, B. M.; SOARES, M. A. **Potencialidade de produção de biodiesel por óleos e gorduras residuais na cidade de Itabira-MG.** Artigo. Revista Ceres. Economia e Extensão Rural. Vol. 57, nº 6. Viçosa, Nov/Dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-737X2010000600004&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 Jan. 2015.
- AMBROZIN, A. R. P.; KURI, S. E.; MONTEIRO, M. R. **Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis.** Artigo. Química Nova. Vol 32, nº 7. São Paulo. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000700037&script=sci_arttext>. Acesso em: 11 Jul. 2013.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 7, de 9.2.2011 – DOU 10.2.2011- Retificada DOU 14.4.2011.** 2011. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/fevereiro/ranp%207%20-%202011.xml>. Acesso em 09 Jul. 2014.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 45, de 25.8.2014 – DOU 26.8.2014.** 2014. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml>. Acesso em: 06 Nov. 2014.
- AYDIN, H.; ILKILIÇ, C. **Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine.** Artigo. Science Direct. Vol 30, nº 10, pag. 1199-1204. Julho. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431110000505>>. Acesso em: 12 Jul. 2013.

BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. **Oleaginosas e seus óleos: vantagens e desvantagens para a produção de biodiesel.** Documentos. Embrapa. 2008. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA-2009-09/22146/1/DOC201.pdf>>. Acesso em: 31 Out. 2014.

BETIOLO, C. R.; ROCHA, G. C.; MACHADO, P. R. de. C. **Iniciativas da aviação para redução das emissões de CO₂.** Publicações Técnicas. VIII Sitraer / II Ridita. 3 a 6 Novembro. São Paulo. 2009. Disponível em: <http://www.dcabr.org.br/download/publicacoes-tecnicas/Iniciativas_da_Aviacao_para_Reducacao_das_Emissoes_de_CO2.pdf>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

BONOMETO, R. P. **Análise energética do processo experimental de produção de biodiesel a partir de óleo de frango.** Dissertação. Agronomia. UNESP. 2009. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0424.pdf>>. Acesso em: 30 Out. 2014.

BORSATO, D.; MAIA, E. C. R.; DALL'ANTONIA, L. H.; SILVA, H. C. da.; PEREIRA, J. L. **Cinética da oxidação de biodiesel de óleo de soja em mistura com TBHQ: determinação do tempo de estocagem.** Artigo. Química Nova. Vol 35, nº 4. São Paulo. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000400015&lang=pt>. Acesso em: 14 Jul. 2014.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE. Organização Social. **Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios.** Série Documentos Técnicos. 2010. Disponível em: <www.cgEE.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=6821>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

BRITO, J. F. de; FERREIRA, L. de O.; SILVA, J. P. da; RAMALHO, T. C. **Tratamento da água de purificação do biodiesel utilizando eletrofloculação.** Artigo. Química Nova. Vol 35, nº 4. São Paulo. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422012000400014&script=sci_arttext>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

CANDEIA, R. A. **Biodiesel de soja: síntese, degradação e misturas binárias.** Tese. Química. UFPB. 2008. Disponível em: <http://www.ppgq.quimica.ufpb.br/teses/Tese_Roberlucia_Candeia.pdf>. Acesso em: 01 Nov. 2014.

CARVALHO, A. L.; SANTANA, S. M. F.; SILVA, C. S.; PEPE, I. M.; BEZERRA, M. A.; ARAGÃO, L. M.; QUINTELLA, C. M.; TEIXEIRA, L. S. G. **Evaluation of the oxidative stability of biodiesel blends from soybean, tallow and castor bean using experimental mixture design.** Artigo. Journal of the Brazilian Chemical Society. Vol 24, nº 8. São Paulo. Agosto. 2013a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532013000800020&lang=pt>. Acesso em: 13 Jul. 2014.

CARVALHO, L. M. G. de; ABREU, W. C. de; SILVA, M. das G. de O. e; LIMA, J. R. de O.; OLIVEIRA, J. E. de; MATOS, J. M. E. de; MOURA, C. V. R. de; MOURA, E.

M. de **Heterogeneous catalysis afford biodiesel of babassu, castor oil and blends**. Artigo. Journal of the Brazilian Chemical Society. Vol 24, nº 4. São Paulo. Abril. 2013b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532013000400005&lang=pt>. Acesso em: 13 Jul. 2014.

CARVALHO, M. A. S. de **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. Dissertação. Engenharia Industrial. UFBA. 2011. Disponível em: <http://www.pei.ufba.br/novo/uploads/biblioteca/Dissertacao_de_Mestrado_PEI_Marcio_Carvalho.pdf>. Acesso em: 12 Jul. 2014.

CAVALCANTE, R. M. **Predição da densidade de biodiesel proveniente de diferentes matérias-primas**. Dissertação. Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. UFRJ. 2010. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/prh13/download/?prh13-predicao-da-densidade-de-biodiesel.pdf>>. Acesso em: 04 Nov. 2014.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7ª ed., cap. 2, pág. 79. AMGH Editora. 2011. Disponível em: <<http://www.books.google.com.br/books?isbn=858055201X>>. Acesso em: 22 Jul. 2014.

CÉSAR, A. da S.; BATALHA, M. O. **Análise dos direcionadores de competitividade sobre a cadeia produtiva de biodiesel: o caso da mamona**. Artigo. Production. Vol 21, nº 3. São Paulo. Epub 19/Agosto. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132011000300011&lang=pt>. Acesso em: 13 Jul. 2014.

CORDEIRO, C. I. **Avaliação por espectroscopia de impedância eletroquímica do efeito corrosivo de biodiesel puro e misturas em alumínio**. Dissertação. Química. UFMA. 2013. Disponível em: <http://www.ppgquim.ufma.br/uploads/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Cristiane_Italiano.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2014.

COSTA, A. A. dos S. **Caracterização de motor aeronáutico utilizando misturas de gasolina de aviação e etanol: aspectos fluidodinâmicos, termodinâmicos e ecológicos**. Tese. Engenharia Mecânica. UNESP. 2011. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/beg/33004080027P6/2011/costa_aas_dr_guara.pdf>. Acesso em: 14 Jul. 2014.

COSTA, A. B.; KIPPER, L. M.; GERBASE, A. E.; DOPKE, H. B.; DAEHN, C. M. **Determinação do poder calorífico no controle de qualidade de combustíveis para sistemas de geração de energia e aquecimento industrial**. Artigo. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador. 06 a 09 de Outubro. 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_091_615_14073.pdf>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

DAMASCENO, S. S. **Avaliação da atividade antioxidante dos ácidos caféico e ferúlico no controle da estabilidade oxidativa do biodiesel de soja**. Dissertação. Química. UFPB. 2011. Disponível em: <http://www.ppgq.quimica.ufpb.br/dissertacoes/Dissertacao_Sarah_Damasceno.pdf>. Acesso em: 01 Nov. 2014.

DUPONT, R. A. B. **Relatório de análise das contribuições recebidas**. Audiência da ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. 2012. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencia/audiencia06_2011/tabela.pdf>. Acesso em: 16 Jul. 2014.

EMBRAER - EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA. **Aeronaves**. Aviação Agrícola. 2014. Disponível em: <<http://www.embraer.com.br/pt-BR/Aeronaves/Paginas/Home.aspx>>. Acesso em: 15 Jul. 2014.

FARIAS, A. M.; SANTANA, J. S.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, J. S.; BARBOSA, C. R. F.; MEDEIROS, J. T. N. **Os combustíveis verdes do Brasil – Avaliação da lubrificidade do biodiesel b5 e óleos de mamona e coco**. Artigo. Holos. Ano 27, vol 3. Junho. 2011. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/453>>. Acesso em: 12 Jul. 2013.

FRANÇA, M. S. J. **Avião flex**. Revista UnespCiência. Edição 32, pag. 12-17. Julho, 2012. Disponível em: <http://www.unesp.br/aci_ses/revista_unesp-ciencia/acervo/32/como-se-faz>. Acesso em: 14 Jul. 2014.

GHESTI, G. F.; MACEDO, J. L. de; DIAS, J. A.; DIAS, S. C. L. **Produção de biodiesel via transesterificação etílica com zeólitas básicas**. Artigo. Revista Química Nova. Vol 35, nº 1, pag 119 a 123. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n1/v35n1a22.pdf>>. Acesso em: 26 Jan 2015.

GOES, T.; ARAUJO, M. de; MARRA, R. **Biodiesel e sua sustentabilidade**. Artigo. Embrapa. 2010. Disponível em: <http://portaledit.sct.embrapa.br/imprensa/artigos/2010/Trabalho_biodiesel_11_de_janeiro_de_2010-versao_final.pdf>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Comparação interlaboratorial de condutividade eletrolítica em etanol combustível**. 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/pdf/rf-etanol-comb.pdf>>. Acesso em: 05 Nov. 2014.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **FISPQ – Ficha de informação de segurança de produtos químicos, 8852**. 2012. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/metcientifica/MRC/FISPQ-8852.pdf>>. Acesso em: 03 Nov. 2014.

JANÈS, A.; CHAINEAUX, J. **Experimental determination of flash points of flammable liquid aqueous solutions**. Artigo. Chemical Engineering Transactions. Vol 31. 2013. Disponível em: <<http://www.aidic.it/lp2013/webpapers/142janes.pdf>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

JIMENEZ, E. T.; JERMAN, M. S.; GREGORC, A.; LISEC, I.; DORADO, M. P.; KEGL, B. **Physical and chemical properties of ethanol-biodiesel blends for diesel engines**. Artigo. Energy Fuels. Vol 24, nº 3. 2010. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/pdfplus/10.1021/ef901158a>>. Acesso em 10 Jul. 2013.

JOAQUIM, C. R. O. **Verificação do comportamento da lubricidade do óleo diesel veicular com a adição de etanol**. Dissertação. Engenharia Mecânica. USP. 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-02042008-104857/pt-br.php>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

KANE, R. D.; MALDONADO, J. G.; KLEIN, L. J. **Stress corrosion cracking in fuel ethanol: a newly recognized phenomenon**. Artigo. Corrosion 2004. Paper nº 04543. 2008. Disponível em: <http://www.icorr.net/wp-content/uploads/2011/01/Ethanol_SCC.pdf>. Acesso em: 11 Jul. 2013.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. Artigo. Química Nova. Vol 32, nº 6. São Paulo. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000600044&script=sci_arttext>. Acesso em: 01 Nov. 2014.

MATTOS, C. V. L. de; **Estudo da correlação das propriedades do diesel, biodiesel e suas blendas com a lubricidade**. Dissertação. Engenharia Química. 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/70940/000878644.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 Nov. 2014.

MATTOS, C. V. L. de; GUTTERRES, M.; SAMIOS, D. **Estudo do comportamento da lubricidade do óleo diesel com a adição do biodiesel**. Artigo. IX Oktoberforum – PPGEQ – Seminário do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. 19, 20 e 21 de Outubro. 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31929/000784011.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

MENEZES, E. W. **Produção de trabalho, geração de contaminantes e tratamento pós-combustão em motores ciclo diesel**. Tese. Química. UFRGS. 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17484/000711636.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

MORETTI, R. R. **Mistura diesel, biodiesel e etanol anidro: uma possibilidade para reduzir o custo de produção da cadeia da cana-de-açúcar**. Dissertação. Engenharia Mecânica. Unicamp. 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000912707>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

MUNSIN, R.; LAOONUAL, Y.; JUGJAI, S.; IMAI, Y. **An experimental study on performance and emissions of a small SI engine generator set fuelled by hydrous ethanol with high water contents up to 40%**. Artigo. Science Direct. Vol 106, pag. 586 a 592. Abril, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236112011039>>. Acesso em: 12 Jul. 2013.

NASCIMENTO, D. R.; NETO, O. S.; CONCEIÇÃO, L. R. V.; COSTA, C. E. F.; ROCHA FILHO, G. N.; ZAMIAN, J. R. **Determinação de resíduo de carbono em misturas de diesel/biodiesel**. Artigo. Revista Virtual de Química. Vol 6, nº 4. 2014. Disponível em: <<http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewArticle/532>>. Acesso em: 30 Out. 2014.

NASCIMENTO, M. A. R.; LORA, E. S.; VENTURINI, O. J.; MALDONADO, M. R.; ANDRADE, R. V.; CORRÊA JR, P. S. P.; LEITE, M. A. H. **Utilização do biodiesel de mamona em micro-turbinas a gás – testes de desempenho térmico e emissões.** Artigo. Encontro de Energia no Meio Rural. An. 6, vol 2. 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000200052&script=sci_arttext>. Acesso em: 30 Out. 2014.

PARK, S. H.; SUH, H. K.; LEE, C. S. **Nozzle flow and atomization characteristics of ethanol blended biodiesel fuel.** Artigo. Science Direct. Vol 35, pag. 144 a 150. Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148109002821>>. Acesso em: 07 Jul. 2013.

PEREIRA, C. M. P.; HOBUSS, C. B.; MACIEL, J. V.; FERREIRA, L. R.; DEL PINO, F. B.; MESKO, M. F.; JACOB-LOPES, E.; COLEPICOLO NETO, P. **Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas.** Artigo. Rev. Química Nova. Vol 35, nº 10. São Paulo. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012001000022&lang=pt>. Acesso em: 13 Jul. 2014.

PÉREZ, E. P.; CARVALHO JR, J. A. de, CARROCCI, L.R. **Substituição do óleo diesel por álcool etílico hidratado na queima direta, uma comparação.** Artigo. Encontro de Energia no Meio Rural. An. 6, vol 2. 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000200042&script=sci_arttext>. Acesso em: 31 Out. 2014.

PETROBRÁS DISTRIBUIDORA S. A. **FISPQ – Ficha de informação de segurança de produto químico. Álcool etílico hidratado e combustível.** 2014. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/3b33fe8043a79941b531bfec2d0136c/fispq-auto-alcool-alcool-etilico-hidratado-combustivel.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 03 Nov. 2014.

PONTES, A. S. G. C.; SANTOS, I. M. G.; CARVALHO FILHO, J. R.; SOUSA, A. G. **Influência da temperatura nas propriedades das blendas diesel/biodiesel de óleo de peixe.** Artigo. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. Pag. 122 a 127. João Pessoa. 2010. Disponível em: <<http://www.cbmamona.com.br/pdfs/BID-26.pdf>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.

RAHDE, S. B. **Motores de combustão interna.** Apostila. Depto. Engenharia Mecânica. PUC-RS. 2014. Disponível em: <<http://www.aviacaoexperimental.pro.br/aero/tecnica/motores/motorespucrs.pdf>>. Acesso em: 12 Jul. 2014.

RAPIER, R. **What you aren't being told about ethanol and corrosion.** Artigo. Energy Trends Insider. 9 de Março, 2011. Disponível em: <<http://www.energytrendsinsider.com/2011/03/09/what-you-arent-being-told-about-ethanol-and-corrosion/>>. Acesso em: 11 Jul. 2013.

REIS, E. F. dos; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. **Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja.** Artigo. Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola

e Ambiental. Vol 17, nº 5. Campina Grande. Maio, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000500015&lang=pt>. Acesso em: 14 Jul. 2014.

ROCHA, D. de Q.; BARROS, D. K.; COSTA, E. J. C.; SOUZA, K. S. de; PASSOS, R. R.; VEIGA JUNIOR, V. F. da; CHAAR, J. da S. **Determinação da matéria-prima utilizada na produção do biodiesel adicionado ao diesel mineral através de monitoramento seletivo de íons.** Artigo. Química Nova. Vol 31, nº 5. São Paulo. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000500022>. Acesso em: 30 Out. 2014.

ROSSETI, A. G. **Overdose de álcool.** Reportagem. Revista Quatro Rodas. Fevereiro, 2011. Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br/autoservico/reportagens/overdose-alcool-617827.shtml>>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

SCHONS, E. M. **Desestabilização de emulsões visando a redução do teor de óleo em água.** Dissertação. Engenharia Mineral. UFOP (Ouro Preto). 2008. Disponível em: <http://200.131.208.43/jspui/bitstream/123456789/2375/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Desestabiliza%C3%A7%C3%A3oEmuls%C3%B5eVisando.pdf>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

SCHULZ, D. **Ciclo de Otto.** Apostila. Termodinâmica. Instituto de Física. UFRGS. 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm>. Acesso em: 25 Jan. 2015.

SHIKIDA, P. F. A.; PEROSA, B. B. **Álcool combustível no Brasil e path dependence.** Artigo. Rev. de Economia e Sociologia Rural. Brasília. Vol 50, nº 2. Brasília. Abril/Junho, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032012000200003&lang=pt>. Acesso em: 13 Jul. 2014.

SHUOFENG, W.; CHANGWEI, J.; ZHANG, B. **Effect of hydrogen addition on combustion and emissions performance of a spark-ignited ethanol engine at idle and stoichiometric conditions.** Artigo. Science Direct. International Journal of Hydrogen Energy. Vol 35, ed. 17, pag. 9205 a 9213. Setembro, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319910012024>>. Acesso em: 07 Jul. 2013.

SILVA, B. C. da. **Usos potenciais de *Moringa oleifera* Lam., uma matriz para produção de biodiesel e tratamento de água no semiárido nordestino.** Dissertação. Desenvolvimento e Meio Ambiente. UFRN. 2012a. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/1/7841/1/BeatrizCS_DISSERT.pdf>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

SILVA, H. K. T. de A.; BURITI, E. F. da S.; CARVALHO, F. C. de; GONDIM, A. D.; FERNANDES JR, V. J. **Influência do biodiesel de mamona como aditivo antioxidante ao biodiesel de soja.** Artigo. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. Pag. 128 a 132. 2010. Disponível em: <<http://www.cbmamona.com.br/pdfs/BID-33.pdf>>. Acesso em 04 Nov. 2014.

SILVA, J. A. C. da. **Obtenção de um lubrificante biodegradável a partir de ésteres do biodiesel da mamona via catálise enzimática e estudos de estabilidades oxidativa e térmica.** Tese. Engenharia Química. UFRJ. 2012b. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/JoseAndreCavalcantiDaSilva.pdf>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

SILVA, V. D. da. **Desenvolvimento de método eletroanalítico para determinação de glicerol em amostras de biodiesel.** Dissertação. Química. UFMA. 2013. Disponível em: <https://ppgquim.ufma.br/uploads/files/Dissertacao_veronica.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2014.

SOBRAL, S. P.; RIBEIRO, C. de M.; FRAGA, I. C. S.; GONÇALVES, M. A. **Determinação do índice de acidez total em bioetanol por titulação potenciométrica automatizada.** Artigo. V Congresso Brasileiro de Metrologia. Salvador-BA. 9 a 13 de Novembro, 2009. Disponível em: <http://xrepo01s.inmetro.gov.br/bitstream/10926/370/1/2009_SobralRibeiroFraga.pdf>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

STUMP, D. Sustentabilidade e Tecnologias de Baixo Carbono no Brasil. **A aplicação da tecnologia multicombustível no transporte aéreo.** Artigo. Mudar o Futuro. Pag. 69 a 77. 2011. Disponível em: <http://www.usp.br/mudarfuturo/2011/pdf/sustentabilidade_e_tecnologias_de_baixo_carbono_no_brasil.pdf>. Acesso em: 10 Jul. 2013.

SUKJIT, E.; HERREROS, J. M.; DEARN, K. D.; TSOLAKIS, A.; THEINNOI, K. **Effect of hydrogen on butanol-biodiesel blends in compression ignition engines.** Artigo. Science Direct. International Journal of Hydrogen Energy. Vol 38, ed. 3, pag, 1624 a 1635. 6 de Fevereiro, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319912025487>>. Acesso em: 07 Jul. 2013.

TABILE, R. A.; LOPES, A.; DABDOUB, M. J.; CÂMARA, F. T. da; FURLANI, C. E. A.; SILVA, R. P. da. **Biodiesel de mamona no diesel interior e metropolitano em trator agrícola.** Artigo. Engenharia Agrícola. Vol 29, nº 3. Jaboticabal. Julho a Setembro, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162009000300008&lang=pt>. Acesso em: 13 Jul. 2014.

VAZ, P. H. P. M.; SAMPAIO, Y. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Análise da competitividade da mamona e da soja para produção de biodiesel no nordeste do Brasil.** Artigo. Rev. de Economia Agrícola. Vol 57, nº 1, pag. 35 a 48. São Paulo. Janeiro a Junho, 2010. Disponível em: <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/rea/2010/rea1-3-2010.pdf>>. Acesso em: 12 Jul. 2014.

VELÁZQUEZ, R. S. G.; KUBOTANI, R. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. **Novos combustíveis para a aviação: um estudo de caso.** Artigo. Revista Mackenzie de Engenharia e Computação. Vol 12, nº 1. 2012. Disponível em: <<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/4269/3805>>. Acesso em: 19 Jul. 2014.

VENTURA, D. A. M. F.; ALVES, K. B.; SANTOS, M. K. V. A. dos. **Análise comparativa entre o biodiesel de girassol e o biodiesel de mamona.** Artigo. IV

Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. Pag. 7 a 12. João Pessoa. 2010. Disponível em: <<http://cbmamona.com.br/pdfs/BID-06.pdf>>. Acesso em: 01 Nov. 2014.

ZARPELON, F. **As especificações do álcool focadas para o mercado mundial.** Artigo. Embrapa. Repositório. [20-?]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Especificacoes_do-Alcool_Focado_para_Mercado_Mundial_000fxgfcrtu02wyiv80_soht9hal6t8qx.pdf>. Acesso em: 05 Nov. 2014.

ZUNIGA, A. D. G.; PAULA, M. M.; COIMBRA, J. R. dos R.; MARTINS, E. C. A.; SILVA, D. X. da; TELIS-ROMERO, J. **Revisão: propriedades físico-químicas do biodiesel.** Artigo. Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente. Vol 21, pag. 55 a 72. Curitiba. Janeiro a Dezembro, 2011. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/pesticidas/article/viewFile/25939/17311>>. Acesso em: 30 Out. 2014.