



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GLICERINA RESIDUAL COMO AGENTE
LUBRIFICANTE EM ÓLEO DIESEL S10

ALLYSSON MASTRÂNGELO TEIXEIRA ARAUJO DE FREITAS
NATAL- RN, 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GLICERINA RESIDUAL COMO AGENTE LUBRIFICANTE PARA DIESEL S10

ALLYSSON MASTRANGELO TEIXEIRA ARAUJO DE FREITAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico, orientado pela Prof. Dra. Tatiana de Campos Bicudo.

NATAL – RN

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GLICERINA RESIDUAL COMO AGENTE
LUBRIFICANTE PARA DIESEL S10

ALLYSSON MASTRANGELO TEIXEIRA ARAUJO DE FREITAS

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Tatiana de Campos Bicudo _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Orientador

Ms. Keverson Gomes de Oliveira _____

Examinador Externo

Ms. Daniel Mousinho Lago _____

Examinador Externo

NATAL, 25 de Junho de 2019.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas as quais presto minha homenagem:

Primeiramente a Deus que me deu força para vencer todas as batalhas e dificuldade ao decorrer do ano.

A todos familiares que sempre torceram por mim, principalmente aos meus pais, pois sem eles nada disso seria possível.

Aos meus professores, em especial a minha professora orientadora, Tatiana de Campos Bicudo, que me ajudaram a crescer profissionalmente e socialmente.

Caros colegas de sala, que sempre me apoiaram e me deram forças para chegar onde cheguei, por todas as brincadeiras e compromissos sérios, levarei todos comigo pra sempre.

Teixeira Araújo de Freitas, A.M. **Glicerina Residual Como Agente Lubrificante Para Diesel S10**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

Resumo

Do ponto de vista ambiental, a queima do óleo Diesel apresenta grandes riscos ao planeta, pois ele gera resíduos de elevada toxicidade, como por exemplo, o óxido de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO_x) e monóxido de carbono (CO). O enxofre e o nitrogênio são os responsáveis diretos pela lubrificidade do óleo em partes internas do motor, retirá-los de vez implicaria um aumento no desgaste de alguns componentes. Advindo de fontes renováveis, o Biodiesel apresenta-se como uma boa alternativa ao Diesel, ele possui uma queima mais limpa, poluindo menos o meio ambiente. Um dos problemas do Biodiesel é a produção acentuada de glicerina, produto de baixo valor comercial, mas que possui boas propriedades físico-químicas. Assim, o objetivo do presente estudo é avaliar o potencial da glicerina residual da produção de biodiesel como agente lubrificante em óleo Diesel S10, o mais comum no país, no intuito de melhorar sua propriedade de lubrificação. A glicerina residual (bruta) necessita passar pelo processo de purificação para não prejudicar o funcionamento do motor. Neste estudo, a purificação foi realizada em dois estágios, sendo o primeiro com ácido fosfórico, para fazer a separação entre o glicerol e os sais e ácidos graxos (pré-purificação). Na segunda etapa, carvão ativado foi empregado para retirar pequenas impurezas, coloração e odores que ainda poderiam estar presentes (purificação). As amostras em estudo foram avaliadas quanto às suas propriedades físico-químicas e espectroscópicas. Os resultados revelaram que o método de purificação foi eficiente para a glicerina analisada. A glicerina purificada foi usada para aditivar o diesel em diferentes concentrações. Análise no *High Frequency Reciprocating Rig (HFRR)* mostraram que para a amostra com 10% de glicerina, houve uma diminuição de 12% no nível de escaras. A formação do filme de lubrificação também apresentou melhora. Comparando a reologia das amostras, pode-se perceber que a presença da glicerina não altera de modo considerável os resultados.

Palavras-chave: Glicerina, Diesel, Lubrificação, HFRR.

Teixeira Araújo de Freitas, A.M. **Glicerina Residual Como Agente Lubrificante Para Diesel S10**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

Abstract

From the environmental point of view, the use of diesel fuel poses great risks to the planet, as it also produces high toxicity, such as nitrogen oxides (NO_x), sulfur oxides (SO_x) and carbon monoxide (CO). Sulfur and nitrogen are the directors of oil lubrication on the internal parts of the engine, it implicitly takes away an increase in the wear of some components. Biodiesel presents itself as a good alternative to diesel, coming from renewable sources, has a cleaner burning, less polluting the environment. One of the problems of Biodiesel is the strong production of glycerine, a product of low commercial value, but with good physical-chemical properties. Thus, the present study is useful the residual glycerin potential of biodiesel production, as is the case of diesel oil s10, the most common in the country, in order to improve its property of lubrication. A residual glycerin (crude) for the purification process for engine malfunction. In this study, the purification was performed in two stages, the first one was with a phosphoric, to make a separation between glycerol and salts and fatty acids (pre-purification). In the second one, the consumption of alcoholic beverages is an option that can be consumed in small quantities, coloration and odors that are still present (purification). As study samples, their physical-chemical and spectroscopic properties were evaluated. The results revealed that the purification method was efficient for an analyzed glycerin. Purified glycerine was used to add diesel at different concentrations. The High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) Analysis showed that for a sample with 10% glycerin, there was a 12% decrease in the level of bedsores. The formation of the lubrication film has also been improved. Comparing the rheology of the samples, it can be seen that the presence of glycerine does not alter the considerable mode, the results of the components.

Keywords: Glycerin, Diesel, Lubrication, HFRR.

Lista de Ilustrações

Figure 1 – Ciclo Diesel diagrama p-v	4
Figure 2 - Transesterificação de óleos vegetais com catalisador básico.....	6
Figure 3 - Principais setores industriais de utilização da glicerina.....	8
Figure 4 - Hidrólise ácida do sabão	9
Figure 5 - Hidrólise ácida do glicerato.	9
Figure 6 - Fluxograma	11
Figure 7 - Separação da glicerina bruta e do biodiesel	11
Figure 8 - Glicerina pré-purificação	12
Figure 9 - Glicerina pré-purificada	12
Figure 10 - Glicerina Purificada	13
Figure 11 - Tensão de cisalhamento x Taxa de deformação	16
Figure 12 - Viscosidade x Taxa de cisalhamento	17
Figure 13 - Coeficiente de Atrito e formação de Filme Diesel S10.....	18
Figure 14- Coeficiente de Atrito e formação de filme do diesel aditivado com glicerina 10%	19
Figure 15 - Coeficiente de Atrito e formação de filme do diesel aditivado com glicerina 5 %.....	19
Figure 16 - Escara para Diesel S10	20
Figure 17- Escara do diesel aditivado com glicerina 10%	21
Figure 18 - Escara do diesel aditivado com glicerina 5%	21
Figure 19 - Gráfico da tensão de cisalhamento e viscosidade pela Taxa de cisalhamento para óleo diesel s10	22

Figure 20 - Gráfico da tensão de cisalhamento e viscosidade pela Taxa de cisalhamento para óleo diesel s10 aditivada com solução de glicerina 10% a 25 °C 23

Figure 21 Gráfico da tensão de cisalhamento e viscosidade pela Taxa de cisalhamento para óleo diesel s10 aditivada com solução de glicerina 5% a 25°C.....23

Lista de Tabelas

Tabela 1. Amostra dos combustíveis e suas concentrações de glicerina	15
Tabela 2. Condições experimentais	15
Tabela 3. Análise das densidades das amostras de glicerina	17

Sumário

Agradecimentos.....	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Ilustrações.....	iv
Lista de Tabelas	vi
Sumário	vii
1 Introdução.....	1
2 Revisão Bibliográfica	3
2.1 Diesel	3
2.2 Motor Diesel.....	4
2.2.1 Funcionamento Mecânico.....	4
2.3 Gases de exaustão	5
2.4 Tribologia	5
2.5 Lubricidade.....	6
2.6 Biodiesel	6
2.7 Glicerina.....	7
2.8 Prurificação da glicerina bruta.....	8
2.8.1 Pré-Purificação pelo método de Hidrolise ácida	8
2.8.2 Purificação da Pré-purificação.....	9
3 Metodologia	10
4 Resultados e Discussões	16
4.1 Análise da Viscosidade da glicerina.....	16
4.2 Densidade	17
4.3 Formação de filme e coeficiente de atrito Diesel-Glicerina	18
4.4 Análise das escaras na superfície da esfera metálica.....	20
4.5 Reologia das formulações.....	22

5 Conclusões.....	24
6 Referências	25

1 Introdução

Nos últimos anos, os olhos do mundo estão voltado para alternativas ao petróleo e seus derivados, tanto para minimizar o aquecimento global, quanto para diminuir a dependência deste, que está cada vez mais escasso. Uma das principais fontes de poluição e do uso do petróleo está na queima de combustíveis fósseis, como o Diesel e a Gasolina, por parte dos veículos automotivos. O Brasil foi pioneiro na substituição desses combustíveis por um outro que não afeta tanto o meio ambiente: o Biodiesel. Os biocombustíveis apresentam grandes vantagens relativas ao meio ambiente pois não há enxofre em sua composição química portanto sua queima não emite óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3), poluentes que causam dano ao meio ambiente e provocam as chamadas chuvas ácidas.

Para alavancar ainda mais o uso de Biodiesel, foi criado em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) que tinha como a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como econômica, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda. No ano seguinte por meio da lei nº 11.097 foi instaurado a obrigatoriedade de uso de uma porcentagem de biodiesel no Diesel comercial, inicialmente, esse valor era de 2%, subindo gradativamente até chegar nos atuais 10% Essa substituição não só reduz a emissão de gases que agravam o efeito estufa como também diminui a dependência em relação à importação de combustíveis fósseis. (CLAVERY, 2018).

Segunda a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) há um redução das emissões de gases de efeito estufa em 72%, se comparado ao diesel mineral, e de 20%, em comparação ao material particulado e ao monóxido de carbono. O aumento no percentual para 10% também gera uma maior demanda de óleo de soja, principal matéria-prima do biodiesel no país, que passou de 1,2 em 2008 para 3,7 milhões de toneladas (CLAVERY, 2018).

Afim de continuar o combate à emissão de gases poluentes de veículos movidos a diesel, foi adotado um conjunto de normas regulamentadoras por parte do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, o PROCONVE P-7, também conhecido por Euro 5, em alusão à legislação europeia que tem essa mesma finalidade.

As principais mudanças nos caminhões dizem respeito ao funcionamento dos motores. Desde 2012, quando a norma entrou em vigor, só saem das montadoras brasileiras os veículos com motores diesel que contam com um sistema de tratamento de gases poluentes: EGR ou SCR (ALOUICHE, 2019).

Outra exigência importante pelas normas da EURO 5 é o uso de combustíveis que contam com um teor reduzido de enxofre — atualmente, temos no Brasil o diesel S50 e o S10. Além de reduzir a fumaça branca e a emissão de enxofre em até 90%, esse combustível ajuda a reduzir a formação de depósitos no motor e melhora sua partida a frio. (REIS, 2018). Para produzir óleo diesel com baixo enxofre é necessário a utilização da técnica de Hidrorrefino, que consiste em eliminar compostos polares como os sulfurados, nitrogenados e oxigenados. Estes compostos são responsáveis pela lubrificação do sistema de injeção, como por exemplo em componentes internos de bombas rotativas e injetores. Esse fato é indesejável porque pode causar desgaste prematuro reduzindo o tempo normal de vida das bombas e injetores (Petrobras (Ed.), 2018).

Dessa forma, novas formulações têm sido desenvolvidas, no intuito de aprimorar as qualidades e o desempenho do Diesel. A utilização da Glicerina residual, oriunda da produção do biodiesel, é uma delas. Por causa de suas propriedades, de seu apelo ecologicamente correto e da abundante produção no país, estudos recentes vêm analisando seu emprego como aditivo de lubrificação. Isso tornaria o valor agregado de mercado do biodiesel bem mais atraente para pequenos e médios produtores, que por causa do alto valor dos processos de purificação, acabam descartando-a ou utilizando em subprodutos.

Sendo assim, esse estudo propõe avaliar o processo de purificação da glicerina, para que ela possa ser empregada como agente lubrificante de óleo Diesel. A proposta visa também um aproveitamento da glicerina residual da síntese de biodiesel fruto dos experimentos realizados no laboratório de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Utilizou-se equipamentos como Reometro Brookfield e o *High Frequency Reciprocating Rig* para avaliar os parâmetros reológicos e tribológicos, respectivamente.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Diesel

A destilação fracionada do Petróleo pode gerar diversos produtos como o gás liquefeito, gasolina, querosene, óleo combustível e o Diesel. O gasóleo, como também é conhecido o Diesel, é constituído por Hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos e pequenas concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio. Os vários processamentos do petróleo bruto gera misturas entre diversas correntes como gasóleos, nafta pesada, diesel leve e diesel pesado, resultando no produto final conhecido como Óleo Diesel. (Petrobras (Ed.), 2018)

De forma geral, seu uso está relacionado ao transporte de cargas, sendo bastante utilizado em motores de caminhões, tratores, locomotivas, máquinas de grande porte, embarcações e também em aplicações estacionárias (geradores elétricos) (DIAS, 2019).

A evolução tecnológica levou a utilização de motores Diesel em rotações maiores e o uso de peças mais leves, possibilitando seu uso em carros de passeio. No Brasil, por não ser autossuficiente em óleo diesel, esse emprego não é permitido (OSÓRIO, 2018). A baixa produção de Diesel se deve ao tipo de petróleo extraído no país (de baixo a médio grau API) sendo necessário a importação desse combustível de outros países onde o grau API é muito maior, como países do oriente médio. O grau API foi criada pelo American Petroleum Institute - API, juntamente com a National Bureau of Standards, sendo usada para medir a densidade relativa de líquidos derivados do petróleo. Quanto maior for a densidade do óleo, menor será seu grau API. Isso também representa impacto econômico, para um maior grau API, maior também será seu valor no mercado. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, para o óleo extraído na bacia de campos, por exemplo, O grau API médio foi de 27,2, sendo 37,4% da produção considerada óleo leve ($\geq 31^\circ$ API), 48,9% óleo médio (≥ 22 API e < 31 API) e 13,7% óleo pesado (< 22 API).

Para regulamentar a produção e o uso do gasóleo, a Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) através da resolução da ANP N° 50, de 23.12.2013 – DOU 24.12.2013, estabelece especificações para uso rodoviário e controle de qualidade na comercialização do Diesel.

Segundo essa resolução, pode-se classificar o Diesel em tipo A, quando não há adição de biodiesel e do tipo B, onde é adicionado 10% de biodiesel. Essa classificação pode ser subdividida mediante ao percentual de enxofre. Para combustíveis A S10 e B S10, é permitido 10 mg/kg, já os A S500 e B S500, são permitidos 500 mg/Kg de enxofre. Desde 2014, apenas combustíveis S10 e S50 são comercializados por apresentar baixas concentrações de enxofre.

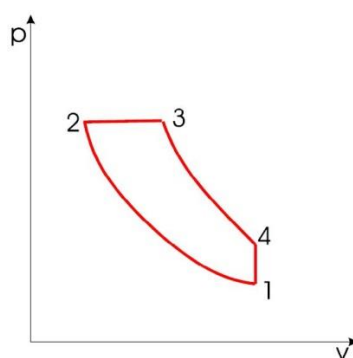
2.2 Motor Diesel

Inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel (1858-1913), o motor Diesel é um motor de combustão interna onde a combustão se faz espontaneamente na câmara de combustão devido a alta temperatura provocada pela compressão do ar, não sendo necessário as velas de ignição, encontradas em motores de ciclo Otto que precisa de uma faísca elétrica para iniciar a combustão. Por proporcionar taxa de compressão mais elevada, motores a ciclo Diesel levam vantagem em relação aos de Ciclo Otto, apresentando assim, um melhor rendimento.

2.2.1 Funcionamento Mecânico

Em sua maioria, os motores Diesel funcionam em 4 tempos tendo seu ciclo termodinâmico teórico representado na Figura 1:

Figure 1 – Ciclo Diesel diagrama p-v



Apesar de ser um ciclo teórico, onde não determina as perdas reais do sistema, ele exemplifica bem como funciona um motor a Diesel. Do ponto 1 ao 2 há uma compressão isentrópica, onde o pistão parte do ponto morto inferior (PMI) e comprime o ar da câmara de combustão até o ponto 2, onde se encontra o ponto morto

superior(PMS). Do ponto 2 ao ponto 3 há Fornecimento de calor a pressão constante (isobárico). Um pouco antes de atingir o PMS, o bico injetor começa o processo de pulverização do diesel no cilindro onde a temperatura chega a valores maiores que 600° C fazendo com que haja a combustão. Com a queima da mistura Ar-combustível o pistão realiza trabalho e uma expansão isentrópica voltando para o PMI (do ponto 3 ao 4). Para completar o ciclo, o pistão realiza o processo de escape, de 4 a 1, onde os gases da combustão são expelidos e é aspirado uma nova quantidade de ar.

2.3 Gases de exaustão

Apesar de sua maior eficiência energética em relação a gasolina e sua maior durabilidade, motores Diesel são responsáveis por expelir gases altamente nocivos ao meio ambiente agravando o efeito estufa e provocando até mesmo câncer de pulmão. Os principais poluentes são; óxido de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarbonetos (C_xH_y) e materiais particulados. (BOUROTTE et al., 2005)

2.4 Tribologia

A tribologia é um ramo da ciência que estuda as questões ligadas à interação de dois ou mais materiais sólidos em movimento relativo entre se e em contato mútuo. A palavra tribos em grego significa atrito. Por sua vez, atrito é definido como uma força de contato que atua na interação de dois corpos, contrária ao movimento, gerada pela rugosidade das superfícies em contato. (BHUSHAN, 2002).

Apesar de ser responsável por pontos positivos, como a locomoção de carros em ruas, de forma geral, o atrito é indesejado para a engenharia. Ele também é o maior responsável por causar desgaste e perda de propriedades mecânicas dos componentes mecânicos, sendo também a principal causa de perdas de energia por dissipação.

Para que essas condições sejam evitadas ou minimizadas é necessário a implementação de um regime de lubrificação. A lubrificação é uma técnica que tem como objetivo controlar o desgaste e reduzir o atrito (STACHOWIAK, 2001), prolongando a vida útil de componentes, condição indispensável em um motor de combustão interna ciclo Otto ou ciclo Diesel

2.5 Lubricidade

A lubricidade é uma propriedade atribuída a um fluido que promove a lubrificação de um componente, prevenindo o desgaste e prolongando a vida útil do equipamento. Em motores de ciclo Diesel, o combustível além de ter a função de fornecer energia também tem função de lubrificar partes internas do motor, como a bomba injetora de combustível. (Possidonio, 2008).

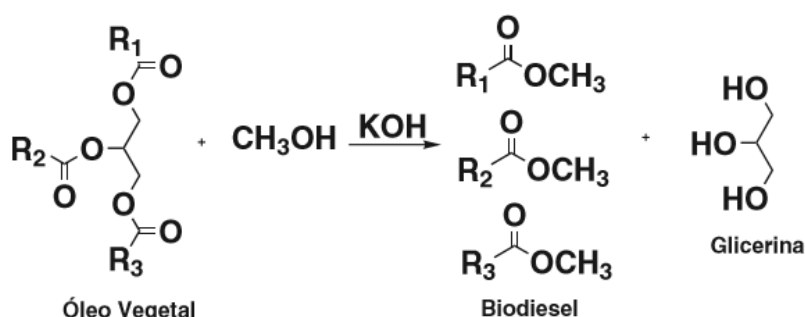
A lubricidade do fluido é determinada pelo resultado da fricção entre um par tribológica, formado por uma esfera e um disco ambos de aço 52100. Uma pequena quantidade de fluido é posta entre o par, sendo este submetido a fricção, ocasionando fissuras na superfície do disco. Essas fissuras são indesejadas para um fluido com boas propriedades de lubrificação, quanto menos ele tiver, melhor será. O desgaste pode ser avaliado pelo microscópio eletrônico de varredura.

Existem 2 normas internacionais que regulam a lubricidade do Diesel, são elas a americana (ASTM D975) e na europeia (EN 590). Segundo a CEN EN 590 (2004), o valor máximo de escara de desgaste especificado é de 460 μm (a 60 $^{\circ}\text{C}$), enquanto que pela norma ASTM D-975 (2010), o máximo valor aceitável é 520 μm (a 60 $^{\circ}\text{C}$).

2.6 Biodiesel

A principal forma de se obter biodiesel é a partir da transesterificação de óleos vegetais com álcoois (metanol e etanol), com a ajuda de catalisadores (Figura 1).

Figure 2 - Transesterificação de óleos vegetais com catalisador básico



Fonte: Souza, 2013.

Para cada 90 m³ de biodiesel produzidos por transesterificação são gerados, aproximadamente, 10 m³ de glicerina, subproduto. Com isso, é preciso dar um destino adequado a toda essa Glicerina residual para agregar valor à cadeia produtiva do biodiesel, tornando-o mais rentável e melhor visto pelos empresários. (SOUZA, 2013)

2.7 Glicerina

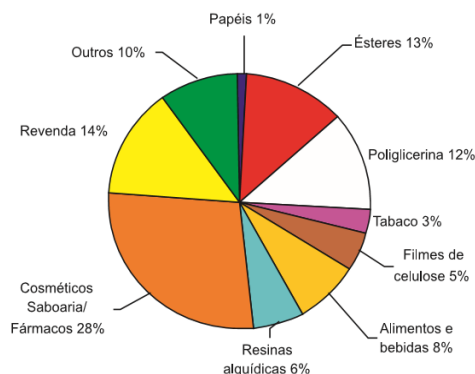
A glicerina também denominada de glicerol (componente químico puro) ou propano-1,2,3 – triol, de massa molar aproximadamente 92 g/mol, é um líquido incolor e inodoro, de densidade 1,2 g/cm³ a 20 °C. Pertence a função orgânica álcool, apresenta-se como uma substância viscosa, de caráter ácido (pKa 14,4) solúvel em água e etanol e insolúvel em solventes orgânicos como benzeno, éter e triclorometano.(BRANDÃO, 2012)

A glicerina proveniente dos processos de transesterificação apresentam um grau de pureza de aproximadamente 70%, porcentagem de glicerol, e os outros 30% são impurezas como sabão, resíduos de metanol ou etanol, hidróxido de sódio, ácidos graxos livres, entre outros. (SOUZA, 2013)

Por causa desse alto grau de impureza, ela tem um baixo valor de mercado podendo ser vendida em média por R\$ 0,60 a R\$ 0,70 o quilo (BOUÇAS, 2007). Para um maior aproveitamento desta, é preciso submetê-la a alguns processos de purificação, tais como: filtração, destilação a vácuo, descoloração e troca de íons para remoção principalmente de K⁺ e Na⁺ utilizados como catalisadores. Estes processos são muito caros, tornando quase inviável a reutilização do glicerol, que muitas vezes é usado como fonte de combustível na própria indústria, na substituição de carvão vegetal ou simplesmente descartado.(BRANDÃO, 2012)

Atualmente, a maior parte dessa Glicerina residual é utilizada na produção de sabão (Figura 2).

Figure 3 - Principais setores industriais de utilização da glicerina



Fonte: MOTA; SILVA; GONÇALVES, 2009

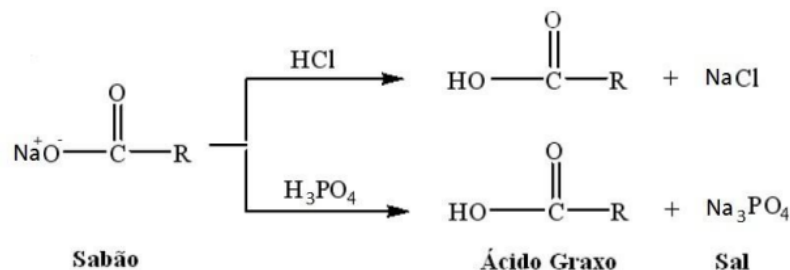
2.8 Purificação da glicerina bruta

2.8.1 Pré-Purificação pelo método de Hidrólise ácida

Por conter muitas impurezas, a utilização da glicerina residual em determinados produtos pode ser prejudicial ao bom funcionamento do mesmo. Em virtude disso, faz-se necessário sua purificação, visando seu melhor aproveitamento. Um dos métodos utilizados para tal, é o método por hidrólise ácida na presença de ácido fosfórico (H_3PO_4).

Na hidrólise, o ácido reage com os sabões presentes na glicerina formando ácidos graxos (Figura 5). À temperatura ambiente a glicerina deposita-se na parte inferior do funil de separação e os ácidos graxos na parte superior, podendo desta forma separar a glicerina.

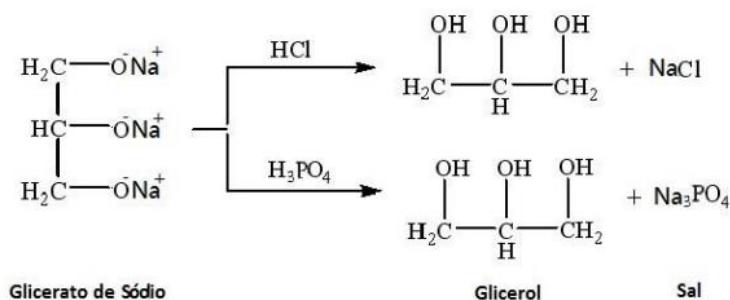
Figure 4 - Hidrólise ácida do sabão



Fonte: Souza, 2013.

Ocorre também a reação do glicerato de sódio presente na glicerina, que reage com o ácido e forma o glicerol e o respectivo sal:

Figure 5 - Hidrólise ácida do glicerato.



Fonte: Souza, 2013.

2.8.2 Purificação da Pré-purificação

Com o intuito de melhorar percentual de glicerina, torna-se necessário uma nova purificação para retirar pequenas impurezas. Na literatura, pode-se encontrar vários métodos de como tornar a glicerina quase que 100% pura. Neste artigo será usado o método por carvão ativado.

O Carvão ativado é um adsorvente microporoso que pode ser obtido de uma variedade de materiais carbonáceos, incluindo madeira, hulha e lignina. A estrutura do carvão ativado é basicamente constituída por uma base gráfica em que os vértices

e as bordas podem acomodar uma série de elementos, como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, que se apresentam como grupos funcionais.(SOUZA, 2011)

A impureza é adsorvida fisicamente pelo carvão e ficam aderidas por forças físicas. A grande capacidade de adsorção do carvão é devido a sua grande área superficial real. O método do carvão ativado é potencialmente aplicável como agente purificante, normalmente utilizado na remoção da coloração e de odores existentes. Para realizar a separação das duas substâncias, foram realizados alguns métodos, como a centrifugação, filtração a vácuo e filtração simples.

Centrifugação: A centrifugação é um processo de separação de misturas feita por um aparelho centrifugador que faz a separação dos componentes via sedimentação dos líquidos imiscíveis de diferentes densidades.

Filtração simples: um papel filtro é colocado em um funil simples de vidro, e logo transfere-se o fluido para o funil. por meio da ação da gravidade, o líquido tende a passar pelos poros do papel, que possui dimensões menores que a do carvão, retendo-o e liberando somente a fase líquida que passe para um recipiente abaixo. Esse processo é um pouco mais lento que os outros, devido a viscosidade do fluido, sendo necessário algumas horas até que todo o fluido fosse filtrado.

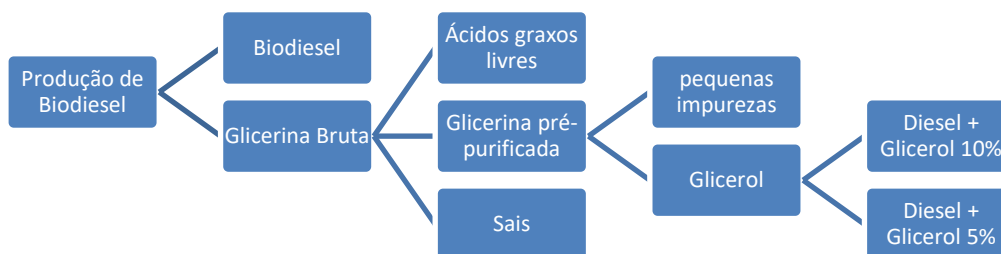
Filtração a vácuo: o que diferencia este da simples é a presença de uma bomba, que cria um vácuo dentro do Becker abaixo do funil, criando uma zona de menor pressão, facilitando a passando do fluido pelo papel filtro.

3 Metodologia

Neste capítulo são apresentadas as metodologias analíticas empregadas, bem como as matérias-primas utilizadas, cita os planejamentos experimentais adotados e relaciona os reagentes e equipamentos necessários ao desenvolvimento experimental.

Após a produção de biodiesel realizada pela turma de química da Escola de Ciência e tecnologia do Rio Grande do Norte a partir da reação de transesterificação do óleo de soja com o etanol, resultando em duas fases, o biodiesel, menos denso e a glicerina. Para fazer a separação destas, utilizou um funil de separação.

Figure 6 - Fluxograma



3.1 Pré-purificação

Tendo em mãos a glicerina bruta (700 ml tendo como massa 572g), faz-se necessário realizar agora a pré-purificação. Esse processo é necessário para eliminar impurezas presente na glicerina bruta que diminuem seu rendimento. Foi separado uma amostra da glicerina bruta (156g) para que se faça a análise e posteriormente possa-se comparar os resultados, o resto dela (416g) foi destinada a pré-purificação. Para isso, utilizou o método da hidrólise ácida utilizando o ácido fosfórico.

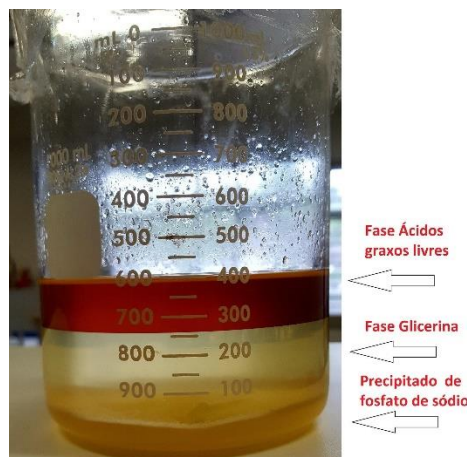
Figure 7 - Separação da glicerina bruta e do biodiesel



Para realizar o experimento, utilizou-se um béquer de 1 L, adicionando-se 416 g de glicerina bruta e 41,6 mL de ácido fosfórico 85% (razão molar glicerina bruta/ácido

fosfórico 3:2). Em seguida agitou-se a mistura com a ajuda de um bastão de vidro por 30 minutos, mantendo-se a temperatura próxima de 55° C.

Figure 8 - Glicerina pré-purificação



Após este processo, foi necessário fazer a separação das três fases. A fase sólida, fosfato de sódio, permaneceu rígida ao fundo do becker, já as outras duas, precisou-se colocar em um balão volumétrico, onde a parte menos densa, glicerina, ficou na parte inferior, sendo possível a separação. Para garantir que alguns resíduos fossem eliminados, foi realizado os processos de secagem na estufa acima de 100°C e uma filtração a vácuo para retirar algumas partículas suspensas. Com isso, chegou-se ao seguinte resultado como podemos ver na figura 8.

Figure 9 - Glicerina pré-purificada



3.2 Purificação da pré-purificação

Para iniciar a purificação, é necessário aquecê-lo a uma temperatura acima de 100° C, para que toda água existente nele evapore. Para isso, foi usado uma estufa

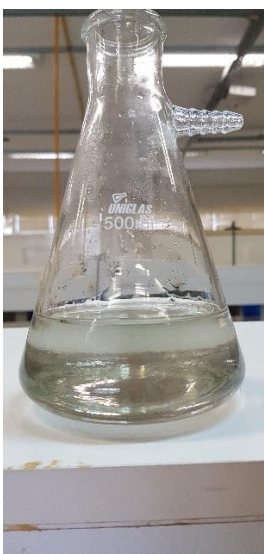
a uma temperatura de 118°C por um período de 30 minutos, o que garante a evaporação da água.

A glicerina pré-purificada também precisa estar preparada para receber o carvão. Colocada em um misturador com controle de temperatura, esperou-se até que a mesma alcançasse a temperatura de 80° C. Após isso, adicionou-se o carvão ativado a uma proporção de 3% da massa de glicerina a ser purificada e manteve a mistura em rotação e aquecimento pelo período de 1 hora.

Utilizou-se a centrífuga do Lab. Química da UFRN, onde 8 amostras ficaram dispostas de forma a manter o equipamento balanceado.

Para finalizar o processo de separação do carvão do glicerol, foi utilizado o método de filtração a vácuo, sendo necessário a presença de 3 papaias filtro para garantir que toda as partículas de carvão fossem retiradas. O resultado desse processo é mostrado na figura 9.

Figure 10 - Glicerina Purificada



3.3 Estudo Reológico da glicerina

3.3.2 Viscosidade

Com a ajuda do viscosímetro rotativo Brookfield do Laboratório de Mecânica dos fluidos da UFRN, foi calculada a viscosidade das 3 amostras e a taxa de cisalhamento. A viscosidade é uma função da temperatura, quanto maior a temperatura, menor a viscosidade. No laboratório, por está fechado e com o ar condicionado desligado, apresentava uma temperatura ambiente de 30°C, logo, a análise feita é baseada pra essa faixa de temperatura.

3.3.3 Densidade

Para determinar a densidade das amostras, foi necessário determinar o volume do frasco onde seria colocado as glicerinas, para isso, foi usada água destilada, pois conhecemos sua densidade. Para uma temperatura ambiente de 25°C da do laboratório, a densidade da água é 0,997 g/ml. Utilizando a fórmula abaixo podemos calcular o volume de cada becker.

$$V = (M(a) - M(b)) / D(a)$$

onde;

M(a) = massa do becker com água(g);

M(b) = massa do becker (g);

D(a) = densidade da água (g/ml).

Usando a mesma fórmula acima, trocando apenas a massa da água pela massa de cada glicerina e deixando a densidade como incógnita, pode-se determinar a densidade de cada amostra.

3.4 Formulação do combustível Diesel-Glicerina

Para avaliar o impacto da glicerina no óleo diesel, foram separadas 4 amostras do derivado de petróleo com diferentes concentrações de glicerina purificada.

Tabela 1 - Amostra dos combustíveis e suas concentrações de glicerina

Número da amostra	Concentração de Glicerina
Amostra 1	10%
Amostra 2	5%
Amostra 3	Diesel s10
Amostra 4	Glicerina purificada

3.5 Análise Tribológica

Para avaliar a lubricidade das amostras de diferentes concentrações dos combustíveis formulados e comparar seus resultados foi necessário a utilização do ensaio na Sonda de movimento alternado sob alta frequência (HFRR) presente no laboratório do GET- Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural da UFRN, seguindo normas pré-estabelecidas pela norma ASTM D 6079-04 que regula a lubrificação do óleo Diesel.

A lubricidade do fluido é determinada pelo resultado da fricção entre um par tribologica, formado por uma esfera e um disco ambos de aço 52100. Uma pequena quantidade de fluido é posta entre o par, sendo este submetido a fricção, ocasionando fissuras na superfície do disco. Essas fissuras são indesejadas para um fluido com boas propriedades de lubrificação, quanto menos ele tiver, melhor será. O desgaste pode ser avaliado pelo microscópio eletrônico de varredura.

Para a realização dessas análises é necessário seguir um passo a passo determinado pela norma.

Tabela 2 - Condições experimentais

Grandezas	Valores
Temperatura (°C)	60 ± 2
Volume do combustivel (mL)	2 ± 0,2
Comprimento da oscilação (mm)	1 ± 0,02
Frequência da oscilação (Hz)	50 ± 1
Carga aplicada (N)	1,96 ± 0,01
Duração do ensaio (min)	75 ± 0,1
Número de ciclos	225000
Distância de deslizamento	450

4 Resultados e Discussões

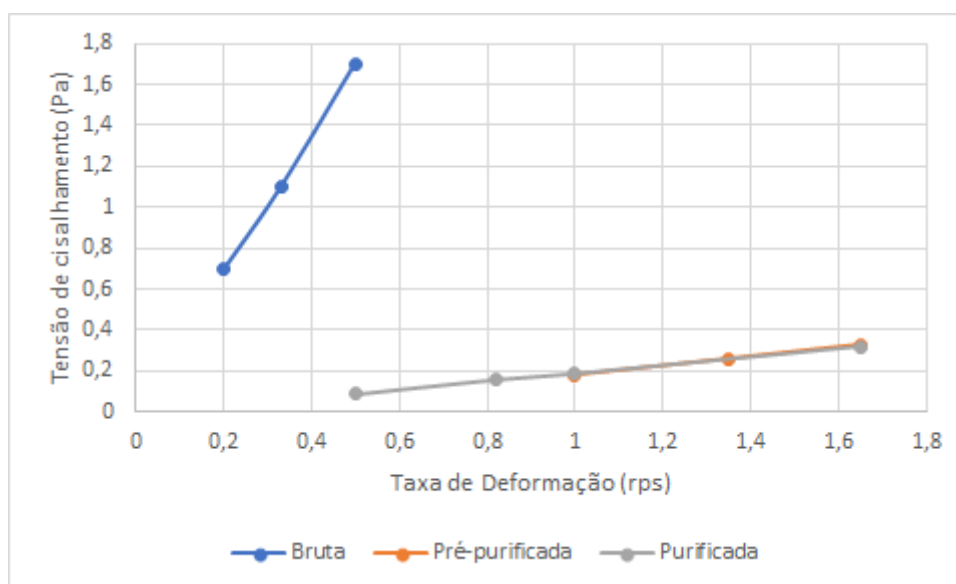
A fim de comparar as etapas até a purificação final da glicerina, amostras de cada passo foram retiradas para análise (Glicerina bruta, pré-purificada e purificada).

Como objetivo final do uso dessa glicerina é o uso como agente lubrificante de óleo Diesel, a caracterização da glicerina neste estudo visa a determinar as propriedades mais importantes um óleo lubrificante.

4.1 Análise da Viscosidade da glicerina

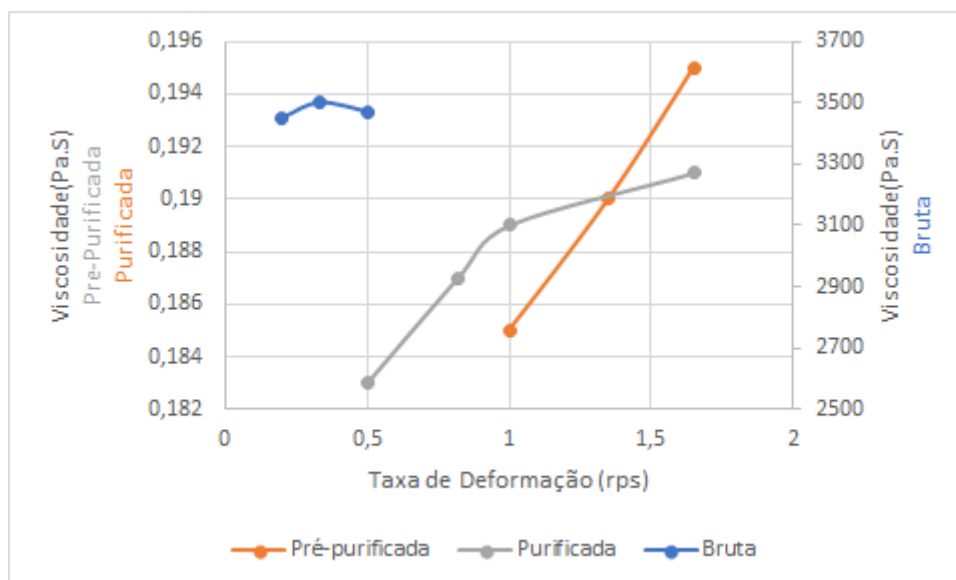
A fim de analisar o resultado do processo de purificação da glicerina, plotou-se os gráficos das Figuras 10 e 11, que mostra o comportamento da tensão de cisalhamento e viscosidade em função da taxa de cisalhamento para as três fases da glicerina.

Figure 11 - Tensão de cisalhamento x Taxa de deformação



A glicerina bruta apresenta um grande nível de tensão de cisalhamento, se comparado as duas amostras purificadas. Esse comportamento é indesejado na maioria dos processos industriais, mostrando a necessidade da purificação. Já para as amostras purificadas, o comportamento é quase igual, já que o último processo de purificação, utilizando carvão ativado, tem como finalidade apenas a retirada de pequenas impurezas e odores, não influenciando no comportamento físico da mesma.

Figure 12 - Viscosidade x Taxa de cisalhamento



A figura 12 explica melhor o porque da tensão d cisalhamento da glicerina bruta ser tão elevado, comparado as demais amostras. A glicerina bruta apresenta uma viscosidade muito superior as outras, sendo necessário até a criação de uma nova escala para a comparação (os valores para a glicerina bruta estão a direita). Novamente, as amostras purificadas apresentam compartamento similar, mesmo em uma escala tão pequena como a escala a esquerda.

Com base nos dados obtidos dos gráficos, constatou-se que as amostras dos fluidos em questão apresentam um caráter newtoniano, ou seja, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação..

4.2 Densidade

Usando a mesma fórmula apresentadas no tópico 3.3.3 deste artigo, trocando apenas a massa da água pela massa de cada glicerina e deixando a densidade como incógnita, pode-se determinar a densidade de cada amostra.

Tabela 3 - Análise das densidades das amostras de glicerina

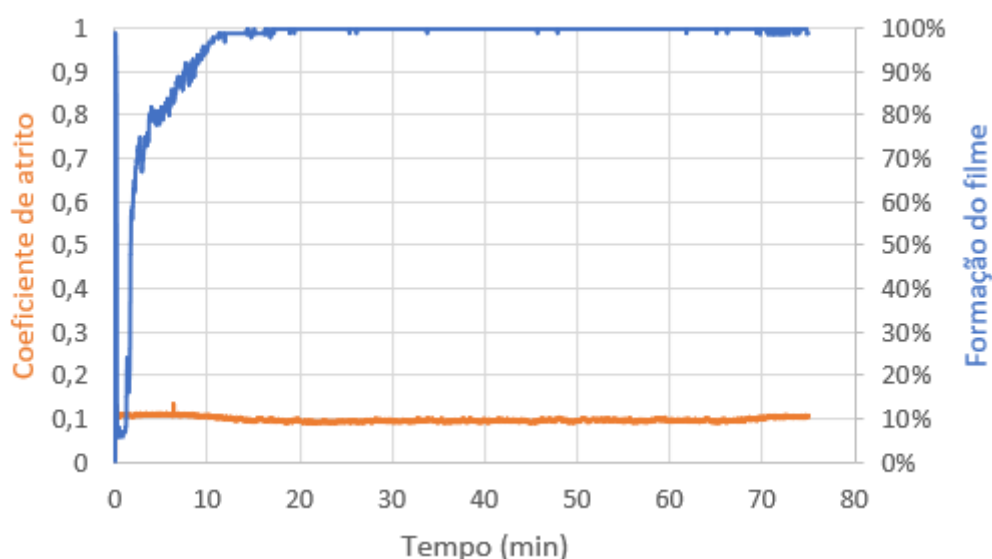
Glicerina	Densidade (g/ml)
Bruta	1,109
Pré-purificada	1,298
Purificada	1,322

Ao comparar os valores, percebe-se que ao purificar a glicerina, sua densidade aumenta. Os resultados estão de acordo com a literatura, visto que para uma temperatura de 25°, a densidade da glicerina é de 1,26 g/ml.

4.3 Formação de filme e coeficiente de atrito Diesel-Glicerina

A partir da análise no HFRR, foi possível avaliar a lubricidade e a influência da glicerina sobre o Diesel S10. Com os dados gerados foi possível a elaboração de gráficos demonstrando a formação de filme, coeficiente de atrito e análise do tamanho das ascaras geradas.

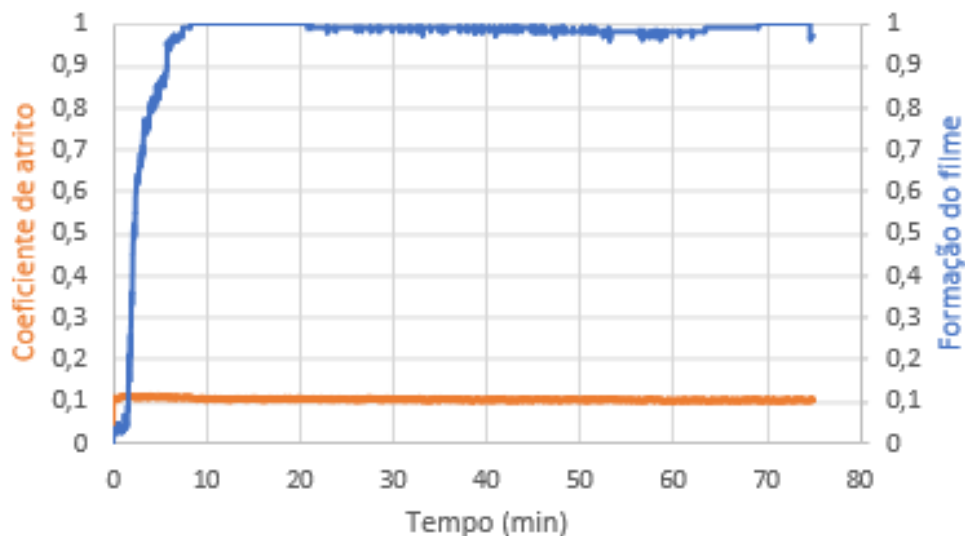
Figure 13 - Coeficiente de Atrito e formação de Filme Diesel S10



De acordo com a Figura 13, a formação do filme lubrificante acontece de forma acelerada nos primeiros segundos, chegando a sua total formação (100%) em aproximadamente 1000 segundos, mantendo-se constante no decorrer do ensaio.

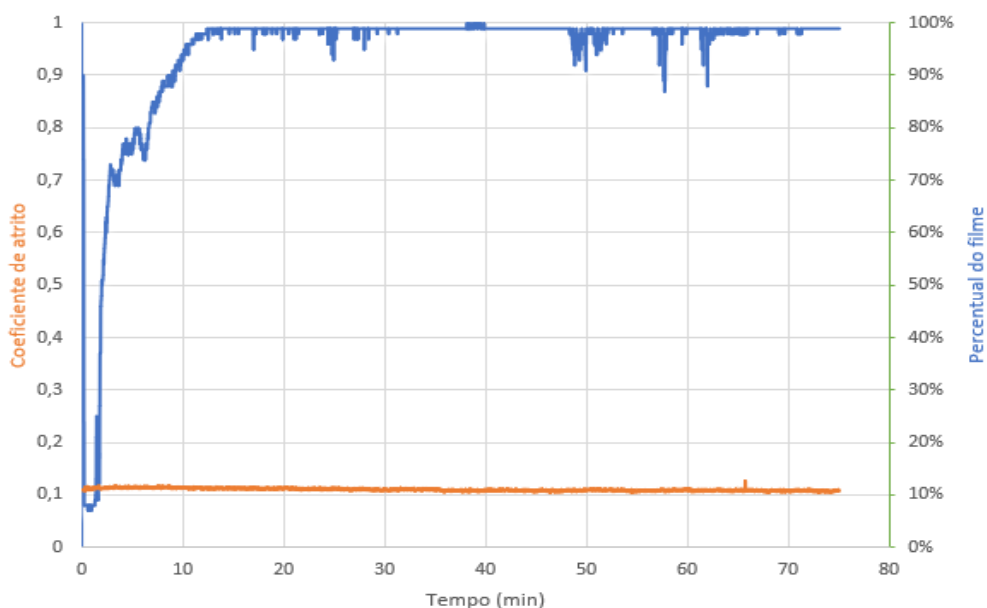
Além da formação rápida do filme, o Diesel S10 também apresenta um baixo coeficiente de atrito no valor de 0,1, demonstrando que este possui boa característica lubrificante.

Figure 14- Coeficiente de Atrito e formação de filme do diesel aditivado com glicerina 10%



Com a adição da glicerina purificada em 10% é possível perceber uma melhora na velocidade da formação por completo do filme, que acontece antes dos 10 minutos. O coeficiente de atrito obteve uma média de 0,110.

Figure 15 - Coeficiente de Atrito e formação de filme do diesel aditivado com glicerina 5 %



Pode-se perceber pela Figura 15 que apesar do tempo maior para a formação do filme e uma pequena instabilidade no começo, o valor de 100% foi alcançado após

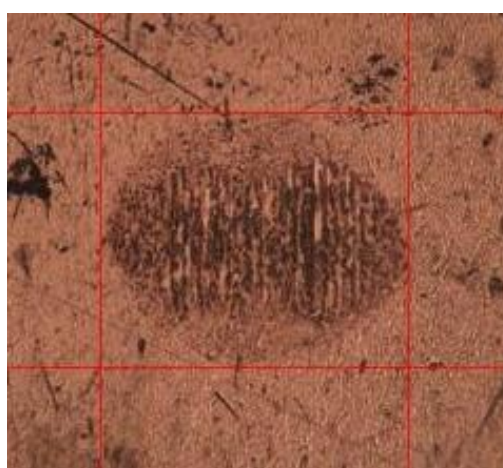
os 10 minutos. O valor do coeficiente de atrito ficou um pouco menor que a Amotra 1, ficando com uma média de 0,108, mas ainda dentro dos padrões exigidos pela ANP. Isso pode ser explicado pela maior viscosidade da Amostra 1 pela maior concentrações de glicerina.

4.4 Análise das escaras na superfície da esfera metálica

As escaras são as fissuras causadas pelo atrito entre o disco e a esfera são chamadas de escaras. Elas determinam quando o fluido é bom lubrificante ou não, quanto menor o tamanho das escaras, menor o desgasta e melhor é o fluido lubrificante.

Analisando a Figura 16 mostra o resultado do desgaste sofrido pela esfera na presença do Diesel S10.

Figure 16 - Escara para Diesel S10

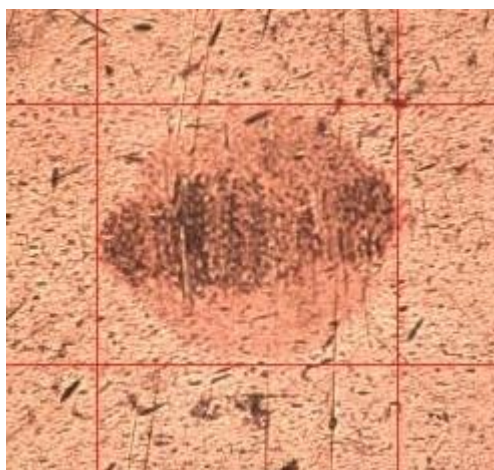


X: 224um Y: 193um Avg: 209um

Obtem-se os valores de 224um na direção X e 193 um tendo um valor médio de 209 um, dentro dos valores estabelecido pelas normas internacionais e pela PETROBRAS.

Ja a Figura 17 apresenta os valores para as escaras na presença da amostra 1.

Figure 17- Escara do diesel aditivado com glicerina 10%

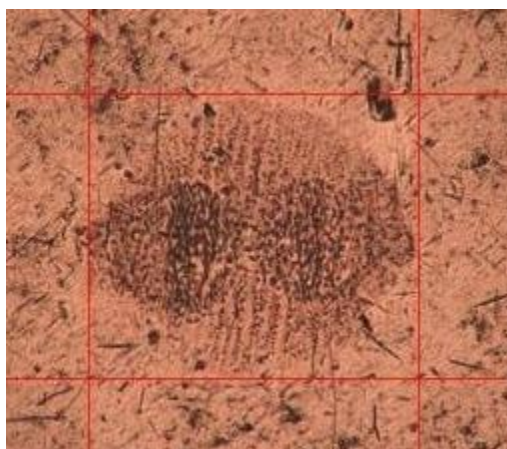


X: 199um Y: 165um Avg: 182um

A média para o tamanho das escaras na presença da 10% glicerina foi menor do que a do Diesel puro, o que representa um menor desgaste e uma melhor eficiência na lubrificação. Destaca-se também a diferença entre o nível do desgaste das duas amostras. Para o Diesel puro, o desgaste é feito de forma constante e intensa durante toda a zona afetada, ao adicionar a glicerina, boa parte do desgaste é feito de forma superficial.

Já a Figura 18 representa valores para escaras da amostra 2 que contém 5% de glicerina purificada.

Figure 18 - Escara do diesel aditivado com glicerina 5%



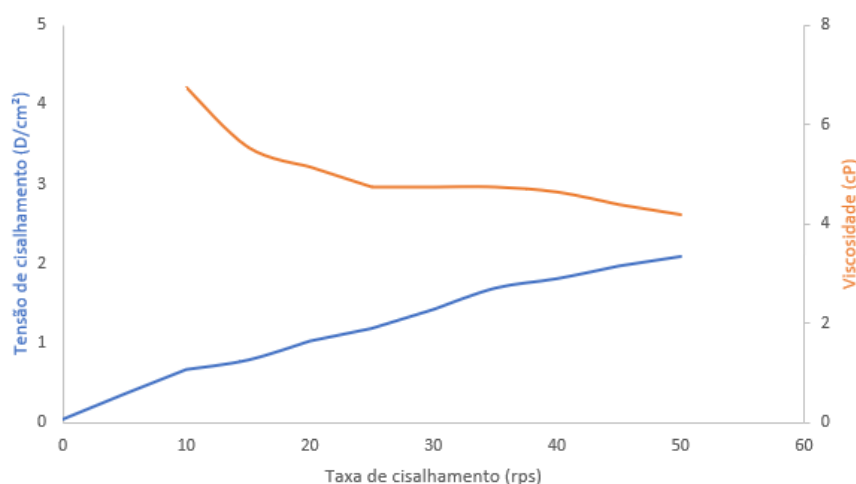
X: 203um Y: 177um Avg: 190um

Os valores para X e Y das escaras são intermediários se comparado com as outras duas análises, isso comprova que o percentual de glicerina adicionado resulta numa melhora nas condições de lubrificação.

4.5 Reologia das formulações

Afim de determinar a viscosidade e tensão de cisalhamento, foi feito um estudo reológico nas amostras a temperatura de 25°C. Essa análise é fundamental para prever como se comportará o fluido dentro da câmara de combustão do motor, tendo seu efeito direto na queima do combustível. A figura 19 mostra o gráfico da Tensão de cisalhamento e viscosidade em função da taxa de cisalhamento para o óleo Diesel S10 a temperatura de 25°C.

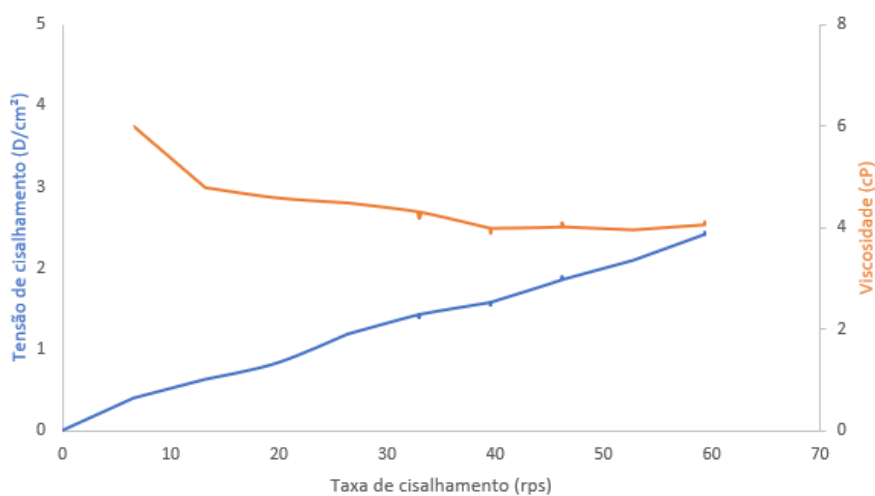
Figure 19 - Gráfico da tensão de cisalhamento e viscosidade pela Taxa de cisalhamento para óleo diesel s10



Percebe-se um comportamento linear da função de tensão de cisalhamento, demonstrando proporcionalidade entre ela e a taxa de cisalhamento. Já para a viscosidade, uma função exponencial decrescente é melhor representada. Para a faixa de amostra, esse valor tende a 4 cP, mas aumentando esse intervalo, pode-se diminuir ainda mais.

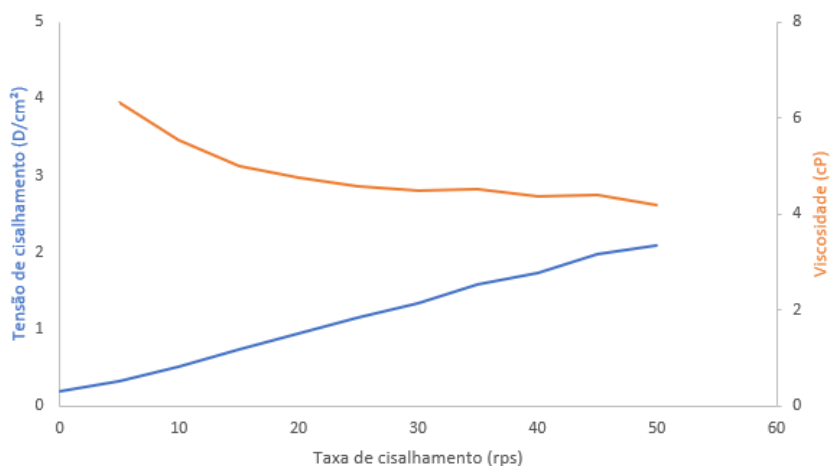
A figura 20 mostra o gráfico de tensão de cisalhamento e viscosidade em função da taxa de cisalhamento para a amostra 1, que foram aditivadas com 10% de glicerina, na temperatura de 25°C.

Figure 20 - Gráfico da tensão de cisalhamento e viscosidade pela Taxa de cisalhamento para óleo diesel s10 aditivada com solução de glicerina 10% a 25 °C



A figura 21 mostra o gráfico de tensão de cisalhamento e viscosidade em função da taxa de cisalhamento para a amostra 2, que foram aditivadas com 5% de glicerina, na temperatura de 25°C.

Figure 21 Gráfico da tensão de cisalhamento e viscosidade pela Taxa de cisalhamento para óleo diesel s10 aditivada com solução de glicerina 5% a 25°C



Comparando os gráficos das 3 amostras diferentes, pode-se perceber a semelhança entre elas, tanto para a tensão de cisalhamento como também para a viscosidade aparente. Essa semelhança garante que as amostras aditivadas terão desempenho parecido com a do diesel puro, não provocando assim, falhas na pulverização do combustível dentro dos cilindros. Essa falha gera problemas na formação da mistura ar-combustível, resultando problemas na queima do mesmo.

5 Conclusões

- Com a etapa de purificação da glicerina residual pode-se concluir que:

Tomando como base os dados obtidos da purificação da glicerina, pode-se concluir que o processo de purificação teve êxito, visto que ela melhorou consideravelmente a taxa de cisalhamento e a viscosidade, características fundamentais para a aplicação da glicerina como agente lubrificante em óleo Diesel, diminuindo o atrito fluido e desgaste.

- Com as etapas do estudo tribológico das formulações pode-se concluir que:

As melhoras podem ser percebidas pela comparação das amostras contendo baixos teores de glicerina purificada com o óleo Diesel. Os resultados mostraram-se satisfatórios, uma vez que a melhora do índice de lubricidade, tendo como base a diminuição do tamanho das escaras, está ligada diretamente ao aumento do percentual de glicerina. Para a amostra 1, houve uma diminuição de quase 10% nas escaras se comparada a amostra 2.

Os valores de coeficiente de atrito mantiveram-se quase que constantes, tendo a amostra de 10% um valor um pouco maior, visto que um maior percentual de glicerina provoca um aumento na viscosidade do Diesel, gerando uma resistência maior.

- Com as etapas do estudo reológico das formulações pode-se concluir que:

Não houve grandes variações para os valores da viscosidade nem da tensão de cisalhamento

6 Referências

ALOUICHE, Ricardo. **MAN muda caminhões e avança nos extrapesados.** Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/11669/MAN%20muda%20caminhões%20e%20avança%20nos%20extrapesados>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

BOUROTTE, C.; FORTI, M.-C.; TANIGUCHI, S.; BÍCEGO, M. C.; LOTUFO, P. A. A wintertime study of PAHs in fine and coarse aerosols in São Paulo city, Brazil. *Atmospheric Environment*. Issue 21, v.39, p.3799-3811, 2005.

BOUÇAS, C. **Glicerina de biodiesel inunda mercado no país e derruba preços.** Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/glicerina-biodiesel-inunda-mercado-pais-derruba-precos-02-05-07.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

BRANDÃO, L. V. **GOMA XANTANA OBTIDA POR FERMENTAÇÃO DA GLICERINA BRUTA RESIDUAL DO BIODIESEL: PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO PARA FLUIDO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO.** 2012. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012

CARRETEIRO, Ronald Pinto. **Lubrificantes e lubrificação.** Makron Books: São Paulo, 493 p., 1998.

CLAVERY, Elisa. **Mistura obrigatória de biodiesel no diesel comum passa para 10% nesta quinta.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/mistura-obrigatoria-de-biodiesel-no-diesel-comum-passa-para-10-nesta-quinta.ghtml>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

COSTENARO, Hellen Sonego. **Hidrólise ácida e retirada de sais da glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel.** 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DIAS, Diogo Lopes. **"Óleo diesel"; *Brasil Escola*.** Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/oleo-diesel.htm>>. Acesso em 15 de abril de 2019

FILHO, A. P. (Org.). **Manual de fluidos**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2011.

Governo do Brasil (Ed.). **ANP aprova abastecimento com Diesel de baixo teor de enxofre a partir de janeiro de 2012**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/infraestrutura/2011/12/anp-aprova-abastecimento-com-diesel-de-baixo-teor-de-enxofre-a-partir-de-janeiro-de-2012>>. Acesso em: 05 set. 2018.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa da. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 6, p.1596-1608, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000600044>.

MARBUN, B. T. H. et al. **Innovation of Purified Glycerol Palm Oil in Drilling Fluid System**. American Journal Of Oil And Chemical Technologies;. Bandung, p. 2326-6589. dez. 2013. Disponível em: <<http://petrotexlibrary.com/wp-content/uploads/2014/01/volume-1.-issuhue-10.-1-15.-.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

MATSUBARA, Vitor. **Há problema em abastecer um carro a diesel moderno com S-500?** Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/ha-problema-em-abastecer-um-carro-a-diesel-moderno-com-s-500/>>. Acesso em: 05 set. 2018.

MOTA, Claudio J. A.; SILVA, Carolina X. A. da; GONÇALVES, Valter L. C.. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 3, p.639-648, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000300008>.

OSÓRIO, Sueli. **Por que não temos automóveis movidos a diesel no Brasil?** Disponível em: <<https://www.noticiasautomotivas.com.br/por-que-nao-temos-automoveis-movidos-a-diesel-no-brasil/>>. Acesso em: 31 out. 2018.

Petrobras (Ed.). **Manual técnico diesel s10**. Disponível em: <http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual_tecnico_diesels-10_assistencia_tecnica_petrobras.pdf>. Acesso em: 15 out. 2018.

POSSIDONIO, E. R. **Otimização das condições de síntese de biodiesel de óleo de soja, visando atender normas de qualidade da ANP.** Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 33f., 2008

REIS, Pedro. **Saiba tudo sobre as normas do sistema Euro 5.** Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/saiba-tudo-sobre-as-normas-do-sistema-euro-5/>>. Acesso em: 02 ago. 2018

Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo (Ed.). **O que é o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)?** Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-que-e-o-programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

STACHOWIAK, Gwidon W.; Batchelor, Andrew W. **Engineering Tribology.** 2.ed. Butterworth-Heinemann: Boston, 744 p., 2001.

SOUZA, Fernanda Joppert Carvalho de. **PURIFICAÇÃO DA GLICERINA OBTIDA COMO COPRODUTO NA PRODUÇÃO DE BODIESEL COM ÓLEO DE SOJA REFINADO.** 2013. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Química Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

UCHÔA, Igor Micael Alves. **Combustíveis base diesel microemulsionados com glicerina:** formulação e avaliação de desempenho. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Natal, 25 de junho de 2019.

Ao(s) **vinte e cinco** dia(s) do mês de **junho** do ano de **dois mil e dezanove**, às **quinze horas**, na **Escola de Ciências e Tecnologia - Sala 4 (1o andar)**, neste Campus Universitário, instalou-se a banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) **ALLYSSON MASTRÂNGELO TEIXEIRA ARAUJO DE FREITAS**, matrícula **20170008555**, do curso de Engenharia Mecânica. A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros: **TATIANA DE CAMPOS BICUDO**, orientador; **DANIEL MOUSINHO LAGO**, examinador externo; **KEVERSON GOMES DE OLIVEIRA**, examinador externo. Deu-se início à abertura dos trabalhos pelo **TATIANA DE CAMPOS BICUDO**, que após apresentar os membros da banca examinadora, solicitou a (o) candidato (a) que iniciasse a apresentação do trabalho de conclusão de curso, intitulado "**GLICERINA RESIDUAL COMO AGENTE LUBRIFICANTE EM ÓLEO DIESEL S10**", marcando um tempo de trinta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, **TATIANA DE CAMPOS BICUDO**, orientador, passou a palavra aos examinadores para argüirem o(a) candidato(a); após o que fez suas considerações sobre o trabalho em julgamento; tendo sido APROVADO, o(a) candidato(a), conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A versão final do trabalho deverá ser entregue à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, no prazo de 10 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o que rege o Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da UFRN, o(a) candidato(a) não será o aprovado(a) se não cumprir as exigências acima.

Tatiana de Campos Bicudo

TATIANA DE CAMPOS BICUDO

Orientador

Daniel Mousinho Lago

DANIEL MOUSINHO LAGO

Examinador externo

Keverson Gomes de Oliveira

KEVERSON GOMES DE OLIVEIRA

Examinador externo