



## **ESTUDO REOLÓGICO DE BLENDS DE BIODIESEIS DE MAMONA E SOJA**

Fernanda Mansani da Silva, [fernanda.mansani@gmail.com](mailto:fernanda.mansani@gmail.com)<sup>1</sup>

Fernanda Rocha Morais, [nandha2202@yahoo.com.br](mailto:nandha2202@yahoo.com.br)<sup>1</sup>

Vamberto Barbosa Ferreira Filho, [branco\\_jp@hotmail.com](mailto:branco_jp@hotmail.com)<sup>2</sup>

Carlos Antonio Cabral dos Santos, [carloscabraldos@yahoo.com.br](mailto:carloscabraldos@yahoo.com.br)<sup>2</sup>

Gabriel Francisco da Silva, [gabriel@ufs.br](mailto:gabriel@ufs.br)<sup>1</sup>

Ana Eleonora Almeida Paixão, [aepaixão@gmail.com](mailto:aepaixão@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. "José Aloísio de Campos" Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, São Cristóvão - SE - CEP 49100-000

<sup>2</sup>Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária - João Pessoa - PB - Brasil - CEP - 58059-900

**Resumo:** A pesquisa e o desenvolvimento de novas fontes alternativas de energia tornam-se cada vez mais necessárias como formas de aumentar a oferta energética, e no Brasil há um grande crescimento no cultivo de diferentes oleaginosas, em virtude de sua grande biodiversidade. O uso do Biodiesel vem crescendo aceleradamente no mundo inteiro. Reologia é definida como o estudo da mudança na forma e no fluxo da matéria, abrangendo elasticidade, viscosidade e plasticidade. A relação entre a tensão cisalhante e a taxa de deformação define, de certo modo, o comportamento reológico dos líquidos. Os fluidos viscosos podem ser classificados em função do seu comportamento de fluxo ou reológico. Eles se classificam, fundamentalmente, em Newtonianos e não-Newtonianos. A viscosidade é a medida da resistência interna ao escoamento de um líquido e o controle dessa propriedade do biodiesel é importante para garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento reológico dos blends dos biodieseis de mamona e soja em diferentes temperaturas. Os biodieseis de mamona e soja foram cedidos gentilmente pela Universidade Federal da Paraíba-UFPB e pela unidade de Biodiesel da Petrobrás de Candeias-BA respectivamente. Para o presente trabalho foi realizado um planejamento fatorial 2<sup>2</sup>. Na realização dos experimentos foram utilizadas as seguintes variáveis de entrada com seus limites de variação mínimos e máximos: temperaturas de 30° C e 50° C e concentração do biodiesel de mamona em relação a mistura 25%, e 75%, realizados em triplicata. Os parâmetros reológicos, tais quais, a tensão de cisalhamento e a viscosidade, ambos em função da taxa de deformação, foram analisados utilizando um reometro Haake VT550. O comportamento das misturas dos biodieseis foi obtido através de ajustes em modelos reológicos.

**Palavras-chave:** Misturas de Biodiesel, reologia, mamona, soja, planejamento

### **1. INTRODUÇÃO**

A maior parte da energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Com o esgotamento das fontes de energia, especialmente energia fóssil, sobretudo sua impossibilidade de renovação, há uma motivação para o desenvolvimento de tecnologias que permitam utilizar fontes renováveis de energia (FERRARI, 2005).

O biodiesel é uma alternativa interessante aos combustíveis fósseis, pois seu uso contribui para a diminuição na emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos aromáticos durante o processo de combustão (ABREU, 2004).

Os óleos (ésteres de ácidos graxos) vêm sendo, há algum tempo, alvo de pesquisas no que se refere a sua utilização como combustível. Estes estudos trouxeram para a comunidade científica alguns desafios, dentro os quais está a busca pela redução da viscosidade dos óleos, variável esta muito importante para o bom desempenho de um combustível.

O fato dos óleos apresentarem, de modo geral, uma alta viscosidade, torna o seu uso *in natura*, como combustível, impraticável uma vez que ocorrem os seguintes problemas: Atomização ineficiente do combustível nos bicos injetores; colagem de anéis no bico injetor; degradação do óleo lubrificante pela contaminação deste com o óleo vegetal.

Existem algumas linhas de estudo que vêm sendo desenvolvidas a fim de contornar este gargalo tecnológico sendo que, dentre elas, a mais tradicional está centrada no processo de transesterificação (alcalina, ácida ou enzimática) ou alcoólise.

Diante dessa nova realidade, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP estabelece as propriedades a serem usadas para o controle de qualidade do biodiesel, bem como as especificações e os métodos a serem utilizados. Dentre as propriedades especificadas pela ANP, pode-se destacar a viscosidade cinemática, sendo necessário um estudo mais aprofundado dessa propriedade.

A reologia é denominada do *rhe-deformação e logya-ciência*, ou seja, reologia é definida como a ciência que estuda o modo pelo qual a matéria se deforma ou escoou, quando submetida a forças externas (MACHADO, 1996). Conforme TOLEDO (1991) é a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação. A variação contínua da taxa ou grau de deformação em função das forças ou tensões aplicadas caracteriza um escoamento (MACHADO, 1996).

Os fluidos podem ser classificados, reologicamente como newtonianos e não-newtonianos, porém, não existem, naturalmente, fluidos perfeitos, cujos comportamentos se aproximem do newtoniano, como é o caso de líquidos puros, soluções verdadeiras diluídas e poucos sistemas coloidais.

Para os fluidos viscosos Newtonianos, a tensão de cisalhamento é proporcional à taxa de cisalhamento, em que a constante de proporcionalidade é, por definição, viscosidade dinâmica do fluido. Ao contrário dos fluidos newtonianos, os fluidos não-newtonianos não apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento; neste caso, a viscosidade não é única e varia com a magnitude da taxa de cisalhamento. Esses valores de viscosidade são considerados como viscosidade aparente, podendo aumentar ou diminuir, de acordo com as características de cada fluido.

Para uma descrição melhor do comportamento reológico dos fluidos, usam-se os modelos reológicos, que permitem a relação das propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, tais como concentração, temperatura e índice de maturação, cujo conhecimento é indispensável no controle intermediário em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos processos. Visto que, quando se estuda o comportamento dos produtos, tenta-se representá-los pelos modelos para que se permita fazer um estudo comparativo dos resultados obtidos.

O presente trabalho consiste numa investigação do comportamento reológico em misturas de biodiesel, que é um dos fatores importantes dos produtos acabados, uma vez que a reologia é uma propriedade física que estuda viscosidade, plasticidade, elasticidade e o escoamento da matéria, ou seja, constitui-se em um estudo das mudanças na forma e no fluxo de um material, englobando todas estas variantes.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Materiais

- Biodiesel de Mamona
- Biodiesel de Soja

### 2.2. Métodos

O comportamento reológico das amostras foi determinado utilizando um viscosímetro rotacional (Thermohaake, modelo VT550, Paramus, EUA), com geometria de cilindros concêntricos (MV/MV1), disponível no LES – Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba.

O viscosímetro possui um banho termostático que permite o controle da temperatura da amostra durante o ensaio. Foi realizado um planejamento fatorial para as amostras. O equipamento possui um sistema de aquisição de dados que permite obter os valores de tensão de cisalhamento e viscosidade, ambos em função da taxa de deformação através do *software* (Haake Rheowin 3, Paramus, EUA) que ajusta os dados experimentais.

Para determinação das propriedades reológicas, o cilindro interno foi acoplado ao equipamento e a amostra foi adicionada ao cilindro externo, conectado ao equipamento, após a estabilização da temperatura desejada. O cilindro externo foi totalmente preenchido com a amostra da mistura de biodiesel. O volume de amostra utilizado em cada medida foi de 40 mL. As medidas reológicas foram obtidas, com um tempo de estabilização de 3 minutos, com a tomada de 10 pontos para cada curva. Assim, obteve-se o reograma de cada amostra.

Para obtenção dos parâmetros reológicos e para a determinação do seu comportamento foram testados os modelos de: Newton, Bingham, Ostwald de Waele ou Lei da Potência, Hersch-Bulkley e Casson, cujas equações representativas estão explicitadas na tabela abaixo.

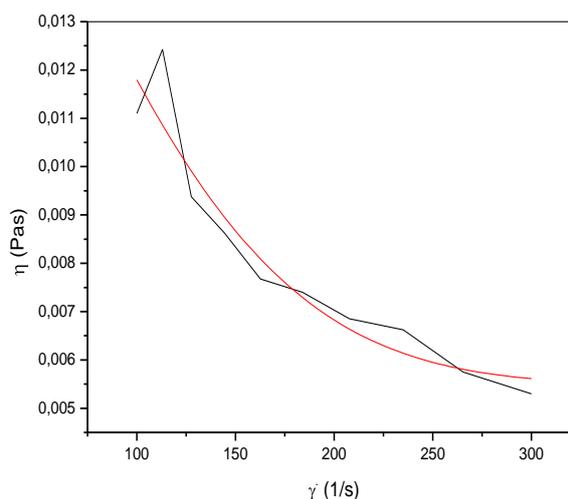
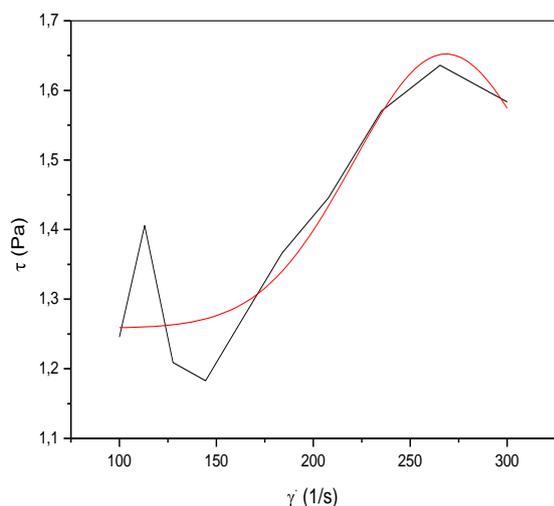
Tabela 1 - Modelos empíricos de comportamento reológico.

Modelo	Forma	Constantes empíricas	Observações
Newton	$\tau = \mu \dot{\gamma}$		$\tau$ - tensão de cisalhamento $\mu$ - viscosidade dinâmica $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação
Lei da Potência ou Ostwald-de-Waele	$\tau = k \dot{\gamma}^n$	k, n	<b>k</b> e <b>n</b> são parâmetros do modelo
Plástico de Bingham	$\tau - \tau_0 = \eta \dot{\gamma}$	$\tau_0, \eta$	$\tau_0$ - tensão inicial do cisalhamento; $\eta$ - viscosidade aparente
Herschel-Bulkley-	$\tau - \tau_0 = \eta \dot{\gamma}^{1/n}$	$\tau_0, \eta, n$	$\tau_0$ - tensão inicial do cisalhamento; $\eta$ - viscosidade aparente <b>n</b> - parâmetro do modelo
Casson	$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5}$	$K_{0C}, K_C$	Fluidos newtonianos com suspensão diluída de partículas

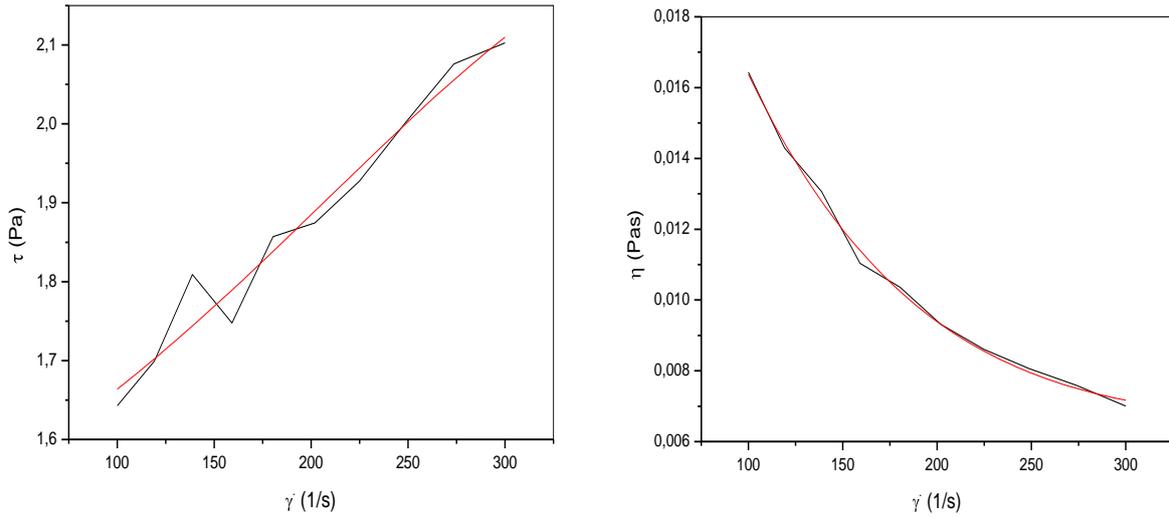
Fonte: GEHRKE ET AL (1995).

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES:

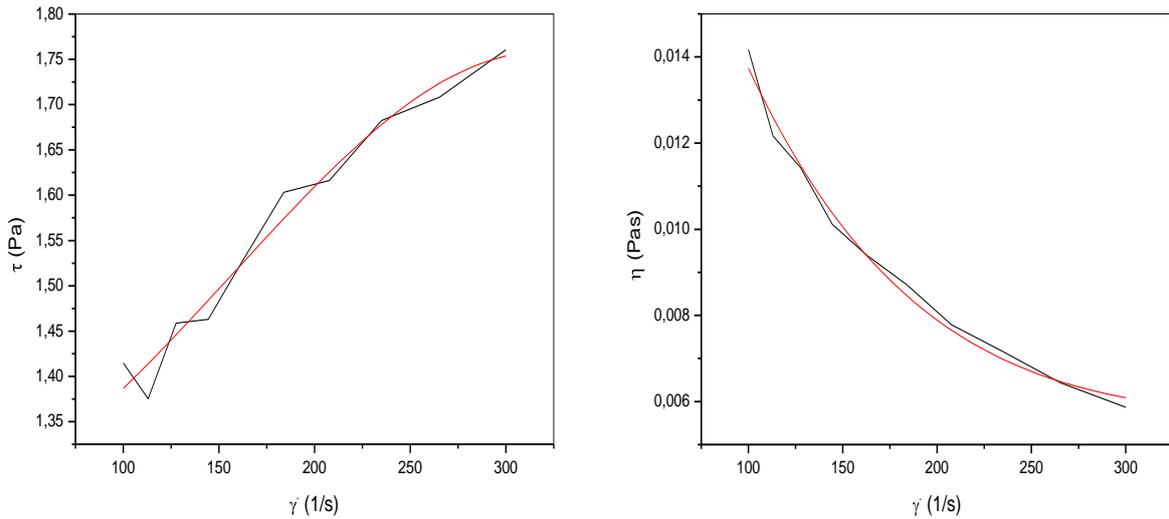
Após a realização do planejamento para o preparo dos *blends*, utilizou-se um viscosímetro rotacional para a determinação dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação e da viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de Mamona e Soja. Através desses valores, obteve-se o reograma de cada amostra, gerando as Figuras 1 (a) e (b), 2 (a) e (b), 3 (a) e (b), 4 (a) e (b), 5 (a) e (b), 6 (a) e (b), 7 (a) e (b), 8 (a) e (b) e 9 (a) e (b). Vale ressaltar que os ensaios foram realizados em triplicata.



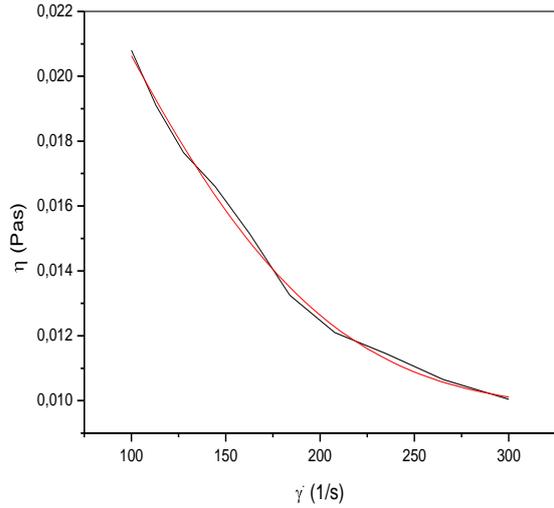
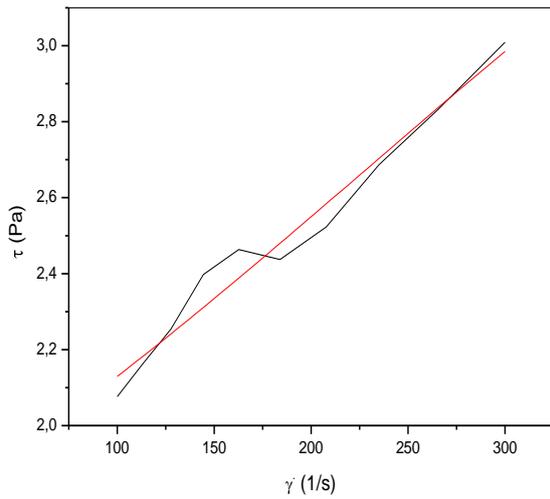
Figuras 1 (a) e (b). Reogramas obtidos a partir dos valores de : (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 50% de Mamona e 50% de Soja a 26°C.



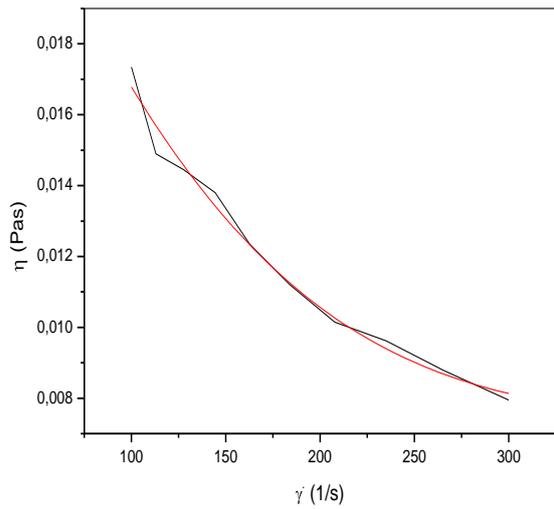
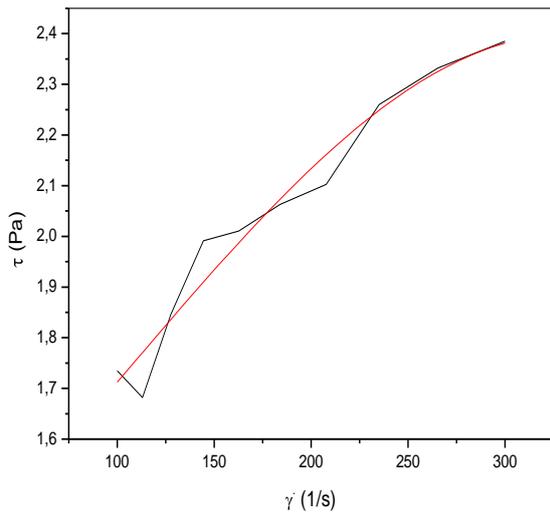
**Figuras 2 (a) e (b). Reogramas obtidos a partir dos valores de : (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieséis de 25% de Mamona e 75% de Soja a 30°C.**



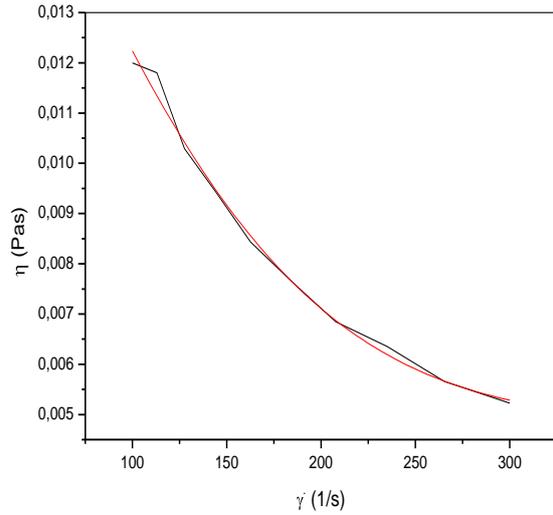
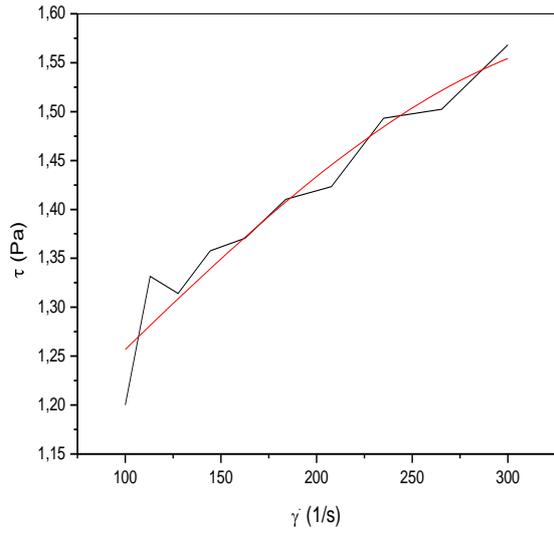
**Figuras 3 (a) e (b). Reogramas obtidos a partir dos valores de : (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieséis de 25% de Mamona e 75% de Soja a 50°C.**



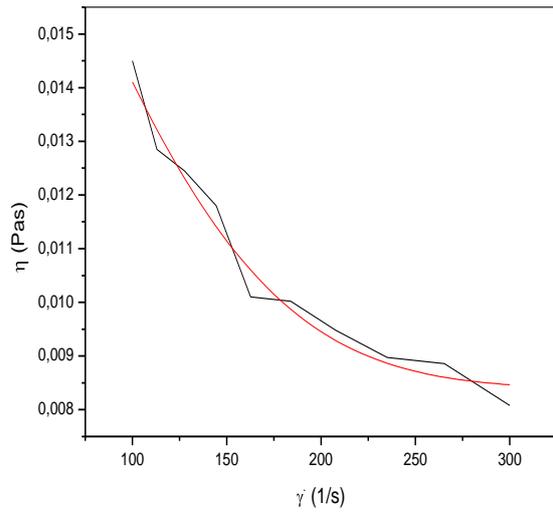
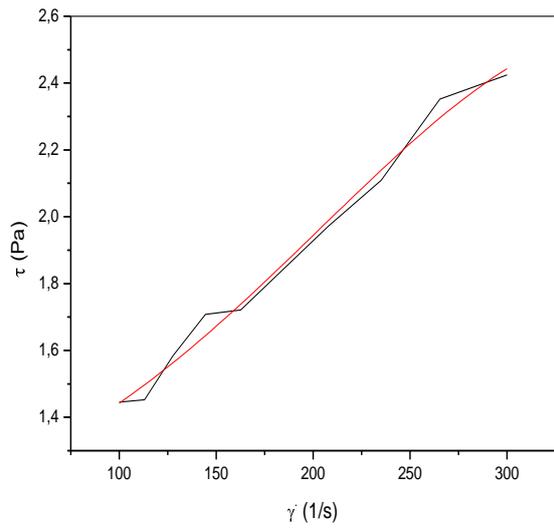
Figuras 4 (a) e (b). Reogramas obtidos a partir dos valores de : (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 75% de Mamona e 25% de Soja a 30°C.



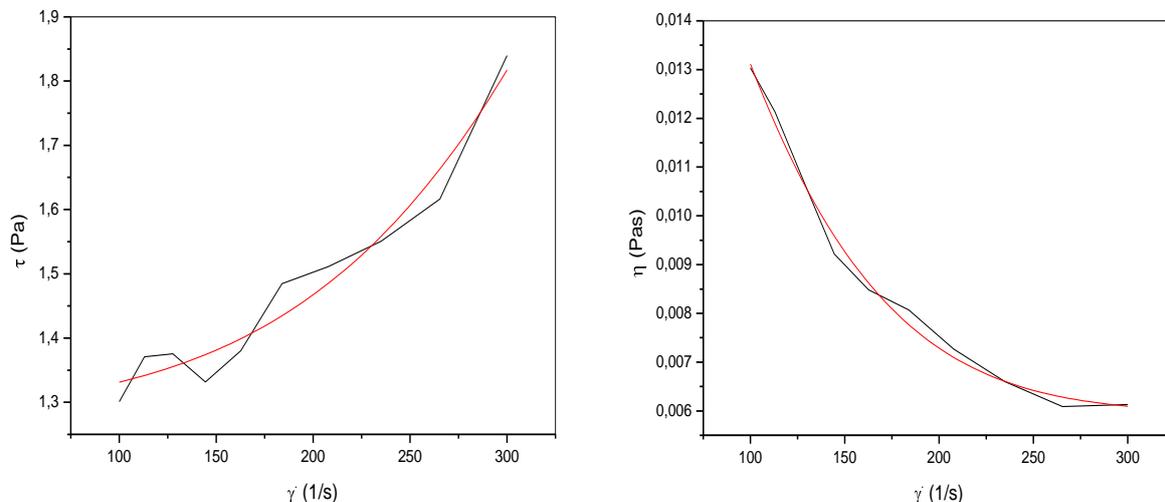
Figuras 5 (a) e (b). Reogramas obtidos a partir dos valores de : (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 75% de Mamona e 25% de Soja a 50°C.



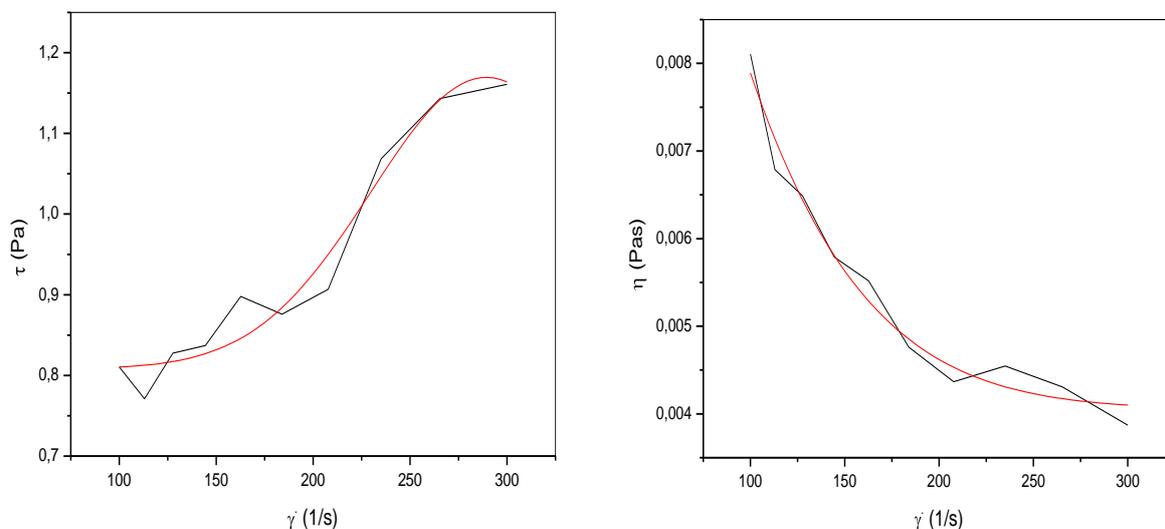
Figuras 6 (a) e (b). Reogramas obtidos a partir dos valores de : (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 15% de Mamona e 85% de Soja a 40°C.



**Figuras 7 (a) e (b).** Reogramas obtidos a partir dos valores de: (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 85% de Mamona e 15% de Soja a 40°C.



**Figuras 8 (a) e (b).** Reogramas obtidos a partir dos valores de: (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 50% de Mamona e 50% de Soja a 40°C.



**Figuras 9 (a) e (b).** Reogramas obtidos a partir dos valores de: (a) tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, e (b) viscosidade dinâmica em função da taxa de deformação, na Mistura de Biodieseis de 50% de Mamona e 50% de Soja a 54°C.

Os reogramas mostram que as amostras apresentaram uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação e entre a viscosidade e a taxa de deformação, caracterizando seu comportamento como não newtoniano.

Através do *software* que ajusta os dados experimentais, foram testados os modelos: Newton, Bingham, Ostwald de Waele ou Lei da Potência, Herschel-Bulkley e Casson, adotando o modelo de Newton como ideal. Foram então obtidos os coeficientes de correlação para cada modelo, conforme mostrado a seguir Tabela (2).

Através do coeficiente de correlação observa-se que o que melhor se ajusta em todos os ensaios é o modelo de **Herschel-Bulkley**, mostrando que não houve mudança no comportamento reológico ao variar a temperatura e a concentração em nenhum dos ensaios.

**Tabela 2. Valores dos coeficientes de correlação  $r$  dos modelos de Newton, Bingham, Ostwald de Waele, Herschel-Bulkley e Casson nos ensaios da mistura de Biodieseis Mamona e Soja.**

Ensaio	Temp. (°C)	Conc. (%)	$r$				
			Newton	Bingham	Ostwald de Waele	Herschel- Bulkley	Casson
1	30	25	-2,922	0,9939	0,9928	<b>0,9941</b>	0,9934
2	50	25	-2,494	0,9802	0,979	<b>0,9805</b>	0,9797
3	30	75	-1,788	0,9914	0,9901	<b>0,9915</b>	0,991
4	50	75	-1,127	0,9899	<b>0,9913</b>	<b>0,9913</b>	0,991
5	40	50	-2,099	0,9918	0,9901	<b>0,9931</b>	0,9911
8	26	50	-1,498	<b>0,9573</b>	0,9569	<b>0,9573</b>	<b>0,9573</b>
9	40	85	0,5983	0,9884	0,9824	<b>0,9891</b>	0,9862
10	54	50	-1,786	0,9656	0,9649	<b>0,9658</b>	0,9653
11	40	15	-3,528	0,9865	<b>0,987</b>	<b>0,987</b>	0,9868

Concluiu-se assim que a Mistura de Biodieseis de Mamona e Soja nas concentrações e temperaturas estudadas, é um fluido Não-Newtoniano, independente do tempo, com tensão de cisalhamento inicial.

### 3. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Tecnologias Alternativas - LTA;

Ao Laboratório de Energia Solar – LES;

À Fundação de Apoio à Pesquisa e à inovação Tecnológica do Estado de Sergipe – FAPITEC.

### 4. REFERÊNCIAS

- Abreu, F. R.; Lima, D. G.; Hamú, E. H.; Wolf, C.; Suarez, P. A. Z. *Utilization Of Metal Complexes As Catalysts In The Transesterification Of Brazilian Vegetable Oils With Different Alcohols*, *Journal Of Molecular Catalysis*, 29: 209, 2004.
- Ferrari, R. A.; Oliveira, V. S.; Scabio, A. *Biodiesel De Soja – Taxa De Conversão Em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-Química E Consumo Em Gerador De Energia*. *Química Nova*, Vol. 28, No. 1, 2005.
- Gehrke, T.; Gaspareto, C. A., *Reologia*, Campinas : Unicamp, (Apostila), P.20., 1995
- Machado, J. C. V., *Reologia, Viscosidade E Escoamento*, Petrobras, Serec/Cennor, Rio De Janeiro, 1996. 89p.
- Toledo, R. T. *Fundamentals Of Food Processing Engineering*. Chapman & Hall Food Science Book. 2º Ed, 1991. 602 P.

### 5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos neste trabalho.

## RHEOLOGICAL STUDY ON CASTOR AND SOYBEAN BIODIESEL BLENDS

Fernanda Mansani da Silva, [fernanda.mansani@gmail.com](mailto:fernanda.mansani@gmail.com)<sup>1</sup>  
Fernanda Rocha Morais, [fernandamoraisufs@yahoo.com.br](mailto:fernandamoraisufs@yahoo.com.br)<sup>1</sup>  
Vamberto Barbosa Ferreira, [branco\\_jp@hotmail.com](mailto:branco_jp@hotmail.com)<sup>2</sup>  
Carlos Antonio Cabral dos Santos,<sup>2</sup>  
Gabriel Francisco da Silva, [gabriel@ufs.br](mailto:gabriel@ufs.br)<sup>1</sup>  
Ana Eleonora Almeida Paixão, [aepaixão@gmail.com](mailto:aepaixão@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe, endereço para correspondência, Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze, São Cristóvão-SE CEP:49100-000, Fone(79) 2105-6600- Fax(79) 2105-6474,

<sup>2</sup>Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, João Pessoa – PB, Brasil, CEP - 58059-900

**Abstract:** Research and development of new alternative energy sources have been becoming more necessary to increase the energy offer. In Brazil, there has been an increase in cultivation of different oil plants, due to its biodiversity. Biodiesel use has been increasing worldwide. Rheology is defined as a study in shape change and flow of matter, including elasticity, viscosity and plasticity. The relation between the shear stress and the shear rate define the rheological behavior of the liquids. The viscous fluids can be classified according their rheological or flow behavior. They are classified, fundamentally, into Newtonians and Non-Newtonians. Viscosity is the measurement of the fluid's internal resistance to flow and control this property in biodiesel is important to assure a correct performance of injection systems and fuel pumps. The objective of this work was to analyze the rheological behavior of blends of castor and soybean biodiesel at different temperatures. Castor and soybean biodiesel were kindly given by Universidade Federal da Paraíba – UFPB and by the Unidade de Biodiesel da Petrobras in Candeias – BA, respectively. A factorial planning 2<sup>2</sup> was carried out in this work. In experimental measurement, the following input variables - with their minimum and maximum limits of variation - were used: temperatures between 30°C and 50°C and 25%, and 75% of castor biodiesel concentration in the mixture, carried out in triplicate. The rheological parameters, such as shear stress and viscosity, both as function of deformation rate, were analyzed using a rheometer Haake VT550. Biodiesel blends behavior were obtained by adjust in rheological models.

**Key-words:** Biodiesel of Blends, rheological, castor, soybean.