

ESTUDO REOLÓGICO DE ÓLEO VEGETAL, GLICERINA E BIODIESEL PARA CARACTERIZAÇÃO ENTRE OS FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS

Vamberto Barbosa Ferreira Filho, branco_jp@hotmail.com
Carlos Antônio Cabral dos Santos, carloscabraldosantos@yahoo.com.br
Jailton Martins Santana, jailtonmsantana@hotmail.com
Pedro Paulo Cavalcante Neto, ppusco@hotmail.com
Weiber Lima de Souza, weiber.lima@hotmail.com
Rosimeri Barbosa Abreu, rosimeri.abreu@hotmail.com
Felipe Vilar da Silva, felipetaperoa@hotmail.com

¹Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

²Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo na área de reologia de fluidos, para a identificação das propriedades reológicas dos fluidos não-newtonianos para os seguintes fluidos: óleo de soja, glicerina e biodiesel proveniente destes óleo vegetal. As análises foram feitas utilizando o reômetro da Haake modelo VT550 com sensor cilindro coaxiais modelo MVI, juntamente com um banho termostático, para controle de temperatura.

Palavras-chave: Reologia, fluidos não-newtonianos, biodiesel (até 5)

1. INTRODUÇÃO

A reologia é o ramo da física que estuda as propriedades visco-elástico dos materiais, ligadas a mudança na forma e no fluxo do material, entre essas se destacam a viscosidade, plasticidade, elasticidade, escoamento da matéria e entre outras. Podemos então concluir que é a ciência responsável pelos estudos do fluxo e deformações decorrentes deste fluxo, envolvendo a fricção do fluido.

Um fluido não-newtoniano é um fluido cuja viscosidade varia de acordo com o grau de deformação aplicado. Como consequência, fluidos não-newtonianos podem não ter uma viscosidade bem definida. A viscosidade de tais fluidos não é constante. Os fluidos não-newtonianos são bem mais estudados através de várias outras propriedades reológicas que mostram as relações entre os tensores de tensão e de deformação sob diferentes condições de fluência, como a deformação oscilatória ou o fluxo extensional, que são medidos através de diferentes dispositivos ou reômetros. As propriedades reológicas são mais bem estudadas através do uso de equações constitutivas na forma tensorial, que são comuns no campo da mecânica do contínuo.

Nos dias atuais a procura por combustíveis renováveis tem aumentado muito, desta forma o biodiesel surge como alternativa em relação ao petróleo e seus derivados, já que sua produção é mais barata e a emissão de poluentes diminui muito. Através do seu efeito multiplicador o biodiesel representará no mercado uma nova etapa para a agroindústria, por envolver óleos vegetais, álcool, óleo diesel e mais os insumos e subprodutos da produção do éster vegetal.

Foi constatado, porém, que a aplicação direta dos óleos vegetais nos motores é limitada por algumas propriedades físicas dos mesmos principalmente sua alta viscosidade, sua baixa volatilidade e seu caráter poliinsaturado, que implicam em alguns problemas nos motores, bem como em uma combustão incompleta. Assim, visando reduzir a viscosidade dos óleos vegetais, diferentes alternativas têm sido consideradas, tais como diluição, microemulsão com metanol ou etanol, craqueamento catalítico e reação de transesterificação com etanol ou metanol. Entre essas alternativas a transesterificação tem se apresentado como a melhor opção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Princípio de Funcionamento do Viscosímetro rotativo de cilindros coaxiais de taxa de cisalhamento controlada

O cilindro interno – rotor – é movimentado por um motor especial “M”. Este motor possui sua velocidade constante ou tem velocidade programada, enquanto o outro cilindro – copo- é fixo e envolvido por um preciso controle de temperatura das amostras “Schramm et al. (2000)”.

O movimento do cilindro interno força o líquido presente no espaço anular entre os cilindros (*gap*) a fluir. A resistência do líquido cisalhado (entre os limites estacionário e rotacional) resulta em um torque, relacionado à viscosidade, sobre o cilindro interno que contraria o torque produzido pelo motor, de forma a manter a sua velocidade. Um detector de torque – normalmente uma “mola” que se “curva” como resultado do torque aplicado – é colocado entre o motor e a haste do cilindro interno. A deformação da “mola de torque” é diretamente proporcional à medida da viscosidade da amostra. Neste tipo de equipamento, o termo Searle novamente indica que tanto a haste do rotor quanto o detector de torque atuam sobre o mesmo eixo rotacional.

2.2 Análise Reológica

O comportamento reológico das amostras foi avaliado em um viscosímetro de rotação (absoluto) VT550 acoplado junto a um banho termostático Precilabo modelo ECV, ambos da Haake. As análises dos fluidos foram feitas utilizando-se um sensor do tipo cilindros coaxiais, modelo MV 1. As tensões e viscosidades das amostras foram medidas no intervalo de taxa de cisalhamento 100 – 300 s⁻¹, a 30°C. As análises foram feitas em triplicata para obtenção de uma maior exatidão da tensão e viscosidade.

O biodiesel e a glicerina ensaiados neste trabalho foram produzidos no Laboratório de Energia Solar/Instituto de Energia Solar, localizado dentro da Universidade Federal da Paraíba.

2.3. Fluidos não-newtonianos

Os modelos de fluidos não-newtonianos utilizados neste experimento foram os seguintes:

Modelo de Bingham ou plástico ideal

Teoricamente, o modelo de Bingham requer a aplicação de uma tensão mínima, τ_0 , denominada de limite de escoamento, para que haja alguma deformação cisalhante. Quando submetidos a uma tensão menor do que τ_0 , os fluidos binghamianos, teoricamente, comportam-se como sólidos. A equação matemática que define o fluido Bingham é expressa por:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_0 + \eta \dot{\gamma} & \text{para } \tau > \tau_0 \\ \dot{\gamma} &= 0 & \text{para } \tau < \tau_0 \end{aligned} \quad \text{eq. 1)}$$

Onde η e τ_0 , são denominados de viscosidade plástica e limite de escoamento, respectivamente, são os parâmetros reológicos deste tipo de fluido. As figuras A e B mostram a curva de fluxo e a curva de viscosidade do modelo de Bingham, respectivamente.

Modelo de Ostwald de Waale

O modelo de Ostwald de Waale ou fluido de potencia é definido pela expressão 2 (abaixo). Esta não se aplica para todo e qualquer fluido, nem a todo intervalo de taxa de cisalhamento. Entretanto, existe um número razoável de fluidos não-Newtonianos que apresentam comportamento de potência, num largo intervalo de velocidades cisalhantes.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad \text{eq. 2)}$$

Os parâmetros reológicos do fluido de potência são o índice de consistência, K, e o índice de comportamento ou de fluxo, n. Enquanto n é uma grandeza adimensional, K tem sua unidade sendo Pa.sⁿ (sistema internacional – SI).

As equações matemáticas são alinhadas à esquerda com recuo de 0,6 cm. Elas são referidas por Eq. (1) no meio da frase, ou por Equação (1) quando usada no início de uma sentença. Os números das equações são numerais arábicos colocados entre parênteses, e alinhados à direita, como mostrado na Eq. (1).

Modelo de Herschell-Buckley

Também conhecido como fluido de potência com limite de escoamento ou fluido de potencia modificado, este tem três parâmetros reológicos. A equação que o define é:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_0 + K \dot{\gamma}^n & \text{para } \tau > \tau_0 \\ \dot{\gamma} &= 0 & \text{para } \tau < \tau_0 \end{aligned} \quad \text{eq. 3)}$$

Este tipo de fluido é uma extensão do fluido de Ostwald, ao qual se adiciona um novo parâmetro, τ_0 , denominado de limite de escoamento real.

O modelo de Herschell-Buckley é mais completo do que os anteriores, uma vez que a sua equação engloba três parâmetros, além do que, os modelos comentados anteriormente (Newton, Bingham e Ostwald) podem ser analisados como casos particulares deste.

Plasticidade, em reologia, é um termo bastante empregado para definir o comportamento de fluidos pseudoplásticos com limite de escoamento, que obviamente, coincide com a definição da eq. 3.

Fluido plástico, portanto, sob o aspecto reológico, pode ser classificado como líquido ou sólido. Em geral, são dispersões que em repouso pode formar uma rede estruturada interpartículas ou intermoléculas, devido a forças de atração polares e/ou forças de van der Waals “Machado et al. (2002)”. Estas forças restringem a mudança posicional de um elemento de volume e confere ao sistema uma estrutura semi-sólida de alta viscosidade.

Quando a força externa aplicada sobre o sistema é menor que a força equivalente que forma a rede, então ocorre apenas uma deformação elástica no sistema. Somente quando a força externa for maior do que a força da rede é que esta se desfaz e provoca uma mudança de posição irreversível num elemento de volume. A tensão que ultrapassa este ponto é denominada de “limite de escoamento real”.

Modelo de Casson

Empregado para comparação dos resultados das análises reológicas com os de modelos mais usuais, como o de Bingham e de Potência. Este modelo é definido através da seguinte equação:

$$\tau = \sqrt[n]{\tau_0^n + (\dot{\gamma}\eta_p)^n} \quad \text{para } \tau > \tau_0 \quad \text{eq. 6)}$$

$$\dot{\gamma} = 0 \quad \text{para } \tau < \tau_0$$

Onde η_p é a viscosidade limite para altas taxas de cisalhamento e τ_0 é o limite de escoamento.

A utilização deste método pode conduzir a estimativa da viscosidade de certo fluido escoando a alta taxa de cisalhamento, maior do que 1000s⁻¹, por exemplo, uma vez que é mais difícil, do ponto de vista prática, fazer determinações laboratoriais nesta condição.

Portando, considerando a definição de viscosidade aparente e a equação 6.) podemos chegar à expressão:

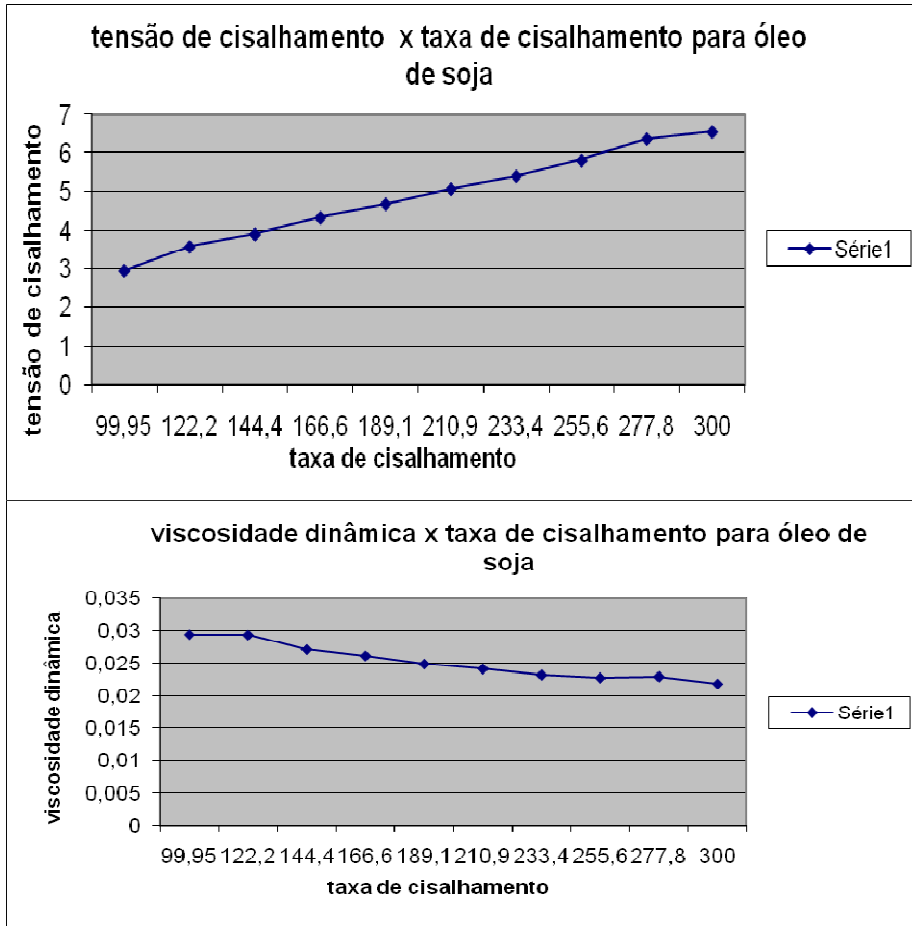
$$\eta = \sqrt[n]{(\tau_0 / \dot{\gamma})^n + \eta_p^n}$$

2.4. Tabelas e Gráficos

Óleo de soja

Parâmetro Fluido	τ_0 (Pa)	η	η_p	K(Pa.s ⁿ)	n	s	r
Newton	-----	0,02374	-----	-----	-----	1,295	0,9314
Bingham	1,308	-----	0,0178	-----	-----	0,3	0,9967
Ostwald de Waele	-----	-----	-----	0,1132	0,71403	0,2793	0,9971
Herschel-Bulkley	0,2769	-----	-----	0,09471	0,7880	0,2678	0,9974
Casson	0,3808	-----	0,01280	-----	0,5	0,2793	0,99713

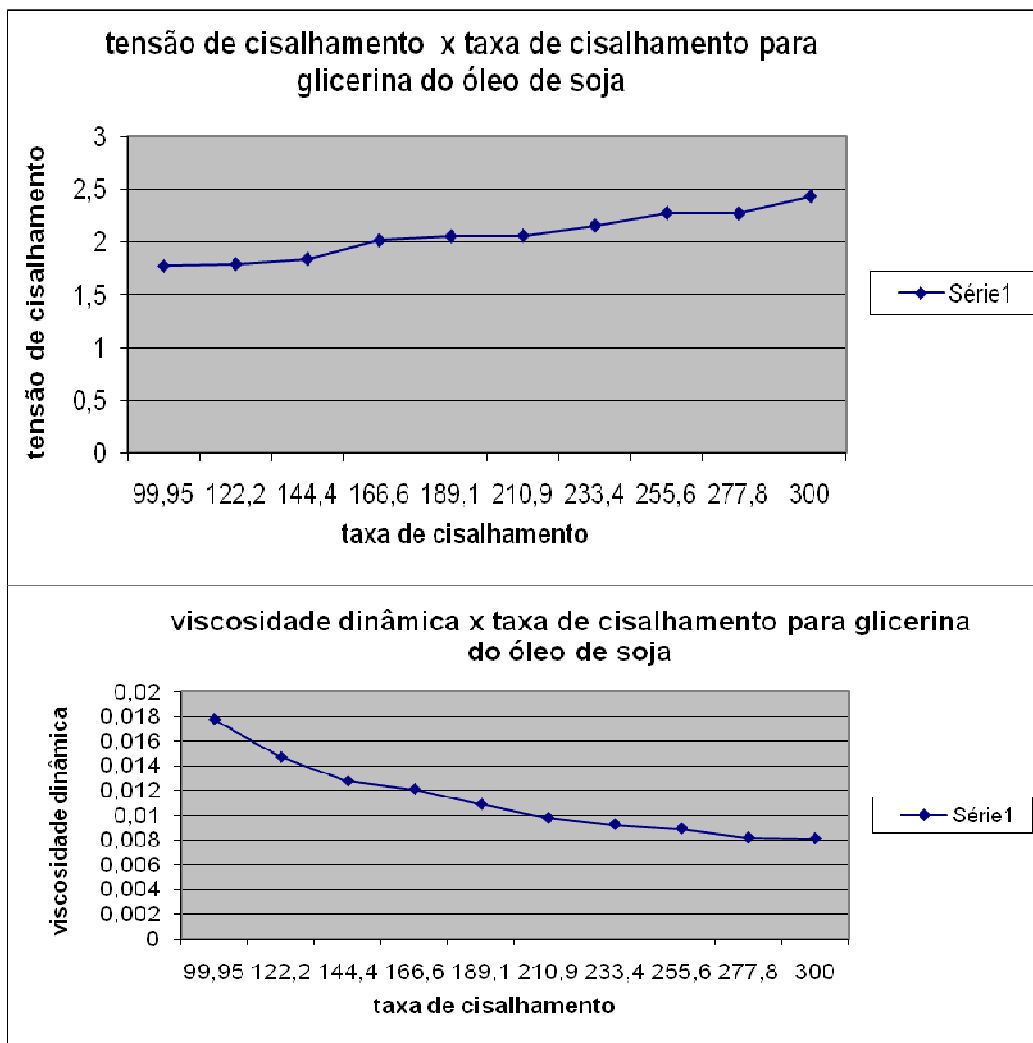
tensão 1	tensão 2	tensão 3	Média	taxa	visc. 1	visc.2	visc. 3	Média
3,088	2,891	2,825	2,93466667	99,95	0,03089	0,02892	0,02827	0,02936
3,811	3,364	3,561	3,57866667	122,2	0,03119	0,02754	0,02915	0,02929333
4,336	3,64	3,745	3,907	144,4	0,03003	0,02521	0,02593	0,02705667
4,691	4,008	4,323	4,34066667	166,6	0,02815	0,02405	0,02594	0,02604667
5,125	4,297	4,652	4,69133333	189,1	0,0271	0,02272	0,0246	0,02480667
5,506	4,73	4,993	5,07633333	210,9	0,02611	0,02243	0,02368	0,02407333
5,847	4,993	5,387	5,409	233,4	0,02506	0,0214	0,02309	0,02318333
6,347	5,427	5,676	5,81666667	255,6	0,02483	0,02123	0,02221	0,02275667
6,964	5,847	6,307	6,37266667	277,8	0,02507	0,02105	0,0227	0,02294
7,135	6,031	6,504	6,55666667	300	0,02378	0,0201	0,02168	0,02185333



Glicerina do Óleo de soja

Parâmetro Fluido	τ_0 (Pa)	η	η_p	K(Pa.s^n)	n	s	r
Newton	-----	0,009673	-----	-----	-----	1,3865	-1,923
Bingham	1,42	-----	0,003231	-----	-----	0,21	0,9283
Ostwald de Waele	-----	-----	-----	0,4676	0,18586	0,231	0,9206
Herschel-Bulkley	1,504	-----	-----	0,002169	1,1484	0,2073	0,9291
Casson	1,0131	-----	0,0010159	-----	0,5	0,21776	0,9258

tensão 1	tensão 2	tensão 3	Média	visc. 1	visc. 2	visc. 3	Média	taxa
1,511	1,8	2,01	1,77366667	0,01512	0,01801	0,02011	0,01774667	99,95
1,511	1,879	1,984	1,79133333	0,01237	0,01538	0,01624	0,01466333	122,2
1,577	1,84	2,102	1,83966667	0,01092	0,01274	0,01456	0,01274	144,4
1,761	2,037	2,247	2,015	0,01057	0,01222	0,01348	0,01209	166,6
1,695	2,168	2,299	2,054	0,008964	0,01147	0,01216	0,01086467	189,1
1,643	2,168	2,365	2,05866667	0,007789	0,01028	0,01122	0,009763	210,9
1,748	2,352	2,365	2,155	0,007489	0,01008	0,01014	0,00923633	233,4
1,774	2,418	2,628	2,27333333	0,006941	0,00946	0,01028	0,00889367	255,6
1,708	2,378	2,72	2,26866667	0,006149	0,008561	0,009791	0,008167	277,8
1,971	2,694	2,628	2,431	0,006569	0,008978	0,008759	0,008102	300

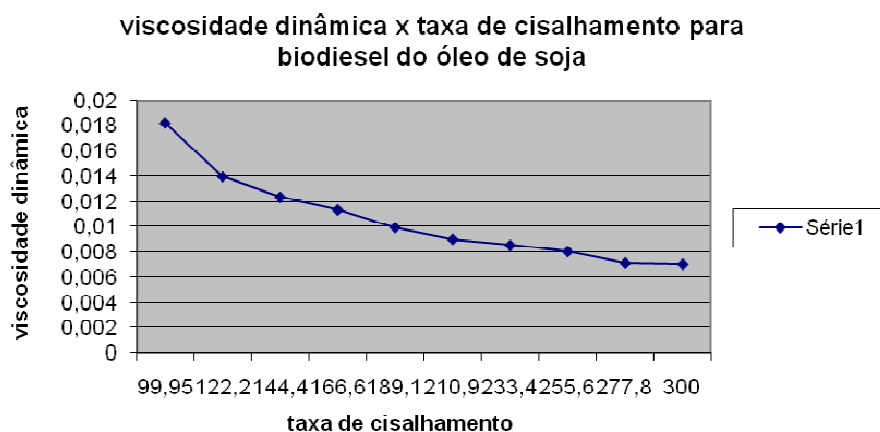
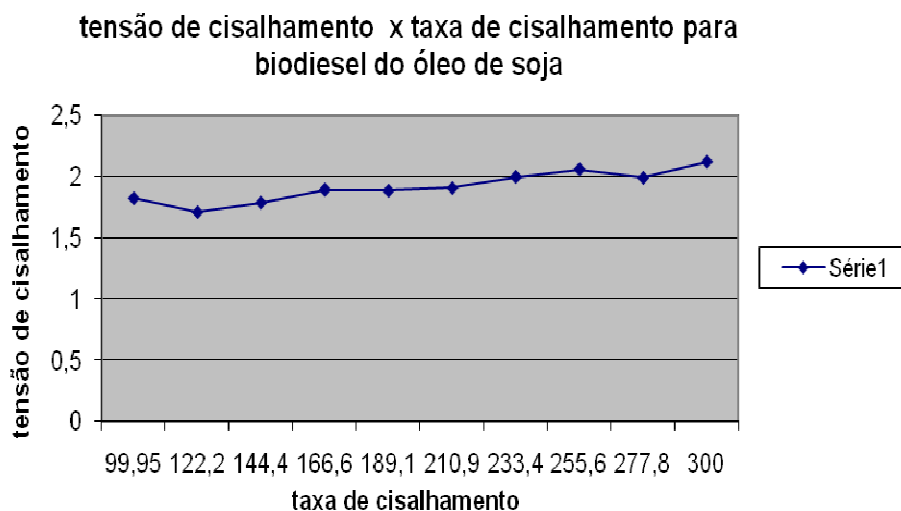


Biodiesel do Óleo de Soja

Parâmetro Fluido	τ_0 (Pa)	η	η_p	K(Pa.s^n)	n	s	r
Newton	-----	0,008853	-----	-----	-----	1,5324	-3,611
Bingham	1,571	-----	0,001728	-----	-----	0,2506	0,8105
Ostwald de Waele	-----	-----	-----	0,8125	0,1657	0,2631	0,7944
Herschel-Bulkley	1,5023	-----	-----	0,03965	1,3537	0,2397	0,8247
Casson	1,3126	-----	0,0003044	-----	0,5	0,2557	0,8046

tensão 1	tensão 2	tensão 3	Média	visc. 1	visc. 2	visc. 3	média
1,84	1,774	1,853	1,82233333	0,01841	0,01775	0,01854	0,01823333
1,643	1,708	1,774	1,70833333	0,01344	0,01398	0,01452	0,01398
1,734	1,853	1,774	1,787	0,01201	0,01283	0,01228	0,01237333
1,8	1,905	1,971	1,892	0,0108	0,01143	0,01183	0,01135333
1,826	1,853	1,971	1,88333333	0,009659	0,009797	0,01042	0,0095867
1,905	1,84	1,971	1,90533333	0,009035	0,008724	0,009347	0,00903533
1,997	1,905	2,089	1,997	0,008559	0,008165	0,008953	0,008559
1,971	1,971	2,234	2,05866667	0,007712	0,007712	0,00874	0,00805467

1,905	2,089	1,971	1,98833333	0,006858	0,00752	0,007095	0,00715767
2,234	1,905	2,221	2,12	0,007445	0,00635	0,007401	0,00706533



Pelos coeficientes de correlação r - regressão e s - desvio padrão temos que os fluidos estudados acima se aproximam mais do modelo Herschel-Bulkley para fluidos não-newtonianos, ou seja, um fluido que requer a aplicação de uma tensão de cisalhamento inicial superior a um certo valor para que haja deformação, consequência de uma estrutura interna que impede a movimentação.

3. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa, ao LES/IES em especial ao professor Cabral.

4. REFERÊNCIAS

Machado, J.C., 2002, "Reologia e Escoamento de fluidos – Ênfase na Indústria do Petróleo", Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.

Schramm, G.,2000, "A Practical Approach to Rheology and Rheometry", Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe, Federal Republic of Germany.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

RHEOLOGICAL STUDY OF VEGETABLE OIL, GLYCERIN AND BIODIESEL FOR CHARACTERIZATION BETWEEN FLUIDS NON-NEWTONIAN

Vamberto Barbosa Ferreira Filho, branco_jp@hotmail.com
Carlos Antônio Cabral dos Santos, carloscabralsantos@yahoo.com.br
Jailton Martins Santana, jailtonmsantana@hotmail.com
Pedro Paulo Cavalcante Neto, ppusco@hotmail.com
Weiber Lima de Souza, weiber.lima@hotmail.com
Rosimeri Barbosa Abreu, rosimeri.abreu@hotmail.com

¹Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB
²Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB
Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB
Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB
Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB
Universidade Federal da Paraíba, Jardim Cidade Universitária, João Pessoa-PB

Abstract. *This paper presents a study in the rheology of fluids, for identification of rheological properties of fluid non-Newtonian for the following fluids: soybean oil, glycerin and biodiesel from this oil. Analyses were performed using the Haake Model VT550 rheometer with coaxial cylinder sensor model MVI, along with a thermostatic bath for temperature control.*

Keywords: *Rheology, non-Newtonian fluids, biodiesel*