

# **ESTUDO REOLÓGICO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES**

## **AUTOMOTIVOS POR MEIO DE REOMETRIA**

Roberto Fernando de Souza Freitas<sup>1</sup> Ana Paula Lelis Rodrigues de Oliveira<sup>1</sup>, Maria Elisa Scarpelli Ribeiro e Silva<sup>1</sup>, Ricardo Geraldo de Sousa<sup>1</sup>, Ana Gabriella de Oliveira Alves<sup>1</sup>, Cynthia D'Avila Carvalho Erbetta<sup>1</sup> e Luiz Fernando Martins Lastres<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Ciência e Tecnologia de Polímeros, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais

<sup>2</sup>Petrobras – Lubrificantes e Produtos Especiais

[freitas@deq.ufmg.br](mailto:freitas@deq.ufmg.br), [anapaulalrodrigues@yahoo.com.br](mailto:anapaulalrodrigues@yahoo.com.br), [elisa@deq.ufmg.br](mailto:elisa@deq.ufmg.br),  
[sousarg@ufmg.br](mailto:sousarg@ufmg.br), [anagabriellaalves@hotmail.com](mailto:anagabriellaalves@hotmail.com), [cynthiaerbetta@hotmail.com](mailto:cynthiaerbetta@hotmail.com),  
[lastres@petrobras.com.br](mailto:lastres@petrobras.com.br)

### **RESUMO**

Neste trabalho, foi feito um estudo reológico de dezoito óleos comerciais, de diferentes marcas e classificações SAE. Os óleos foram submetidos a testes em regime estacionário de tensão, utilizando um reômetro AR-G2. A tensão de cisalhamento foi variada de 0 a 600Pa, à temperatura fixa de 25°C. Foi observado que a viscosidade de todos os óleos lubrificantes diminuiu com o aumento da tensão de cisalhamento. A partir destes testes em regime estacionário, os óleos foram separados em três grupos, de acordo com as suas curvas de viscosidade, com os do Grupo A apresentando as maiores viscosidades, em qualquer tensão aplicada, seguidos dos do Grupo B, e os do Grupo C com as menores viscosidades. Os óleos, classificados no Grupo A, são aqueles com maior grau SAE e com viscosidade cinemática maior que 250cSt. Os resultados obtidos mostram uma correspondência entre o estudo reológico dos óleos por reometria e os testes convencionais usados para classificação dos óleos. Considerando tais resultados, a eficiência, a rapidez e a facilidade do método, pode-se concluir pela vantagem da utilização deste método para testes preliminares na formulação de óleos lubrificantes.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os óleos lubrificantes automotivos são empregados de forma a garantir a redução do atrito entre peças móveis do motor, tendo a função de lubrificar, refrigerar, limpar e manter o motor limpo, proteger contra corrosão, desgaste, auxiliar na vedação da câmara de combustão, além de aumentar sua vida útil. Para que estes óleos desempenhem as suas funções adequadamente, é imprescindível que, ao serem cisalhados, eles apresentem a característica de se manter como um filme uniforme entre as peças do motor impedindo, assim, um contato direto entre as mesmas. A fim de estudar a capacidade de lubrificação destes óleos, torna-se necessário um

estudo das propriedades reológicas dos mesmos, especialmente àquelas relacionadas à sua viscosidade [1-3].

O estudo reológico de qualquer fluido, assim como de óleo lubrificante, descreve o escoamento de um corpo sob a influência de tensões, ou seja, envolve sua deformação e as tensões nela envolvida [4]. A relação entre a tensão e a deformação aplicadas a ele é conhecida como viscosidade e representa a resistência ao fluxo. Essa resistência ao escoamento pode ser expressa pela Lei da Viscosidade de Newton (Equação 1) [5].

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

Em que:  $\eta$  é a viscosidade (Pa.s);  $\dot{\gamma}$  é a taxa de cisalhamento ( $s^{-1}$ );  $\tau$  é a tensão de cisalhamento (N)

A viscosidade, assim como outras propriedades dos óleos lubrificantes comerciais, como ponto de fluidez, densidade e ponto de fulgor refletem, em grande parte, as características do óleo básico utilizado na sua formulação. Os lubrificantes automotivos são classificados, por seu óleo básico, como de origem mineral, sintética ou semissintética, sendo diferenciados principalmente por sua durabilidade descrita por sua viscosidade antes e após o uso. Autores observaram que a viscosidade do óleo sintético antes da utilização é menor que a viscosidade do óleo mineral. Ainda relataram que a viscosidade do óleo sintético diminui 21% após o uso, enquanto a viscosidade do óleo mineral teve diminuição de apenas 9% [6].

Entretanto, o estudo da viscosidade de óleos lubrificantes não deve ficar restrito apenas à sua durabilidade, mas também deve se ater à sua capacidade de lubrificação durante o funcionamento do motor. Essa preocupação é retratada por vários autores [7-10] e está relacionada ao afinamento do óleo lubrificante sob o aumento da temperatura. À medida que o óleo é aquecido, as moléculas ganham energia e se movem rápida e aleatoriamente permanecendo bastante espaçadas, diminuindo assim a resistência ao movimento [11].

Devido às diferentes temperaturas e às extremas taxas de cisalhamento a que os lubrificantes são submetidos em consequência do desenvolvimento de novas tecnologias, os lubrificantes são fabricados em diversos tipos sendo cada vez mais adequados às condições de utilização. Visando distinguir os diversos óleos existentes no mercado, a Sociedade dos Engenheiros Automotivos (*Society of Automotive Engineers*) desenvolveu uma classificação dos óleos em vários “graus SAE” que leva em consideração a viscosidade do óleo quando submetido a diferentes temperaturas. Quanto maior o grau SAE, maior a viscosidade do óleo a temperaturas elevadas. Já os de menor grau suportam baixas temperaturas sem se solidificar ou prejudicar o seu bombeamento.

Com o objetivo de classificar os óleos lubrificantes, são utilizadas algumas metodologias convencionais de modo a determinar suas viscosidades sob diferentes condições de funcionamento do motor (Viscosidade aparente por viscosímetro rotativo – MRV e viscosidade cinemática por viscosímetro capilar). Porém, para uma caracterização reológica completa dos materiais, estes devem ser submetidos tanto a ensaios em regime estacionário quanto em regime oscilatório de tensão, já que cada teste fornece um tipo de informação específica sobre o escoamento do material [12].

Os ensaios oscilatórios são realizados em regime transiente a uma frequência de oscilação  $\omega$ . As componentes elástica e viscosa do fluido, ou seja, as tendências em armazenar energia ou dissipá-la no escoamento são obtidas separadamente pela defasagem entre as senóides da deformação e de tensão [12]. O ângulo de defasagem entre essas duas forças é definido pelo ângulo de fase,  $\tan \delta$ , e estipula o quanto a tensão está atrasada com relação à taxa de cisalhamento. Quanto menor o valor de  $\tan \delta$ , mais elástico é o material. Dessas relações entre tensão e deformação em regime oscilatório é que pode ser obtido o módulo complexo ( $G^*$ ) (Eq. 2).

$$G^* = \frac{\tau(t)}{\gamma(t)} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} e^{i\delta} = \left[ \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta \right] + i \left[ \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta \right] \quad (2)$$

Em que:  $G^*$  é chamado de módulo complexo de cisalhamento

Sendo o primeiro termo da equação 2 associado ao módulo elástico ou módulo de armazenamento ( $G'$ ), que representa a componente em fase à deformação em cada ciclo. Da mesma forma, o segundo termo da equação 2 é chamado módulo viscoso ou de perda ( $G''$ ) que é associado à componente fora de fase à deformação de cada ciclo.

Diante da importância do entendimento sobre o comportamento reológico dos óleos lubrificantes por meio de reometria, objetivou-se com esse trabalho realizar um estudo reológico amplo de óleos lubrificantes comerciais de diferentes marcas e classificações SAE. Para isso, métodos reométricos em regimes estacionário e oscilatório foram utilizados como técnicas alternativas para o estudo reológico destes fluidos, a fim de complementar os testes tradicionalmente realizados para classificação de óleos lubrificantes automotivos. Os ensaios em regime estacionário foram realizados com variação de tensão de cisalhamento, à temperatura constante e com variação de temperatura, à tensão constante. Já os ensaios em regime oscilatório foram realizados com variação de tensão de cisalhamento em duas diferentes temperaturas. Além das curvas de viscosidade com variação de tensão e de temperatura, foram obtidos o ângulo de fase e os módulos de perda e de armazenamento.

No presente artigo, é reportado o estudo reológico, por meio de testes em regime estacionário de tensão, à temperatura constante, de dezoito óleos comerciais, de diferentes marcas e classificações SAE. Os resultados obtidos, expressos por curvas de Tensão de cisalhamento *versus* Viscosidade, são analisados e discutidos, comparando-se com os métodos convencionais utilizados para a classificação dos óleos comerciais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

Os óleos lubrificantes, utilizados para execução do trabalho, foram adquiridos na empresa Jair Óleos Ltda, em Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil. Parte da caracterização física de cada óleo testado, fornecida pelo fabricante, está listada na Tabela 1.

**Tabela 1:** Descrição e caracterização dos óleos comerciais testados: Óleo (1 a 18) com respectivo grau SAE, ponto de fulgor (P fulgor), ponto de fluidez (P fluidez), viscosidade cinemática a 100°C ( $\nu_c$  100°C), viscosidade cinemática a 40°C ( $\nu_c$  40°C) e índice de viscosidade (IV).

Óleo com Grau SAE	P fulgor (°C)	P fluidez (°C)	$\nu_c$ 40°C	$\nu_c$ 100°C	IV
1 - 25W50	240	-24	179	18,8	118
2 - 5W40	224	-30	90,10	14,61	170
3 - 15W40	234	-24	110	14,7	130
4 - 20W50	240	-24	183,7	20,80	134
5 - 5W40	*	*	85,00	14,30	178
6 - 10W40	*	*	100,5	14,5	157
7 - 25W60	*	*	281,8	23	101
8 - 10W40	220	-30	98,00	14,93	160
9 - 25W50	230	-12	216	19,96	105
10 - 15W40	224	-33	104	14	139
11 - 25W60	228	-3	250,0	23,4	116
12 - 15W50	220	-27	139,3	18,72	152
13 - 15W40	210	-18	*	18,5	130
14 - 15W50	220	*	*	18	115
15 - 20W50	220	*	*	17-20	130
16 - 10W40	225	-36	90	13,5	151
17 - 10W40	232	-33	93,8	14,2	157
18 - 5W30	232	-33	67,8	10,7	158

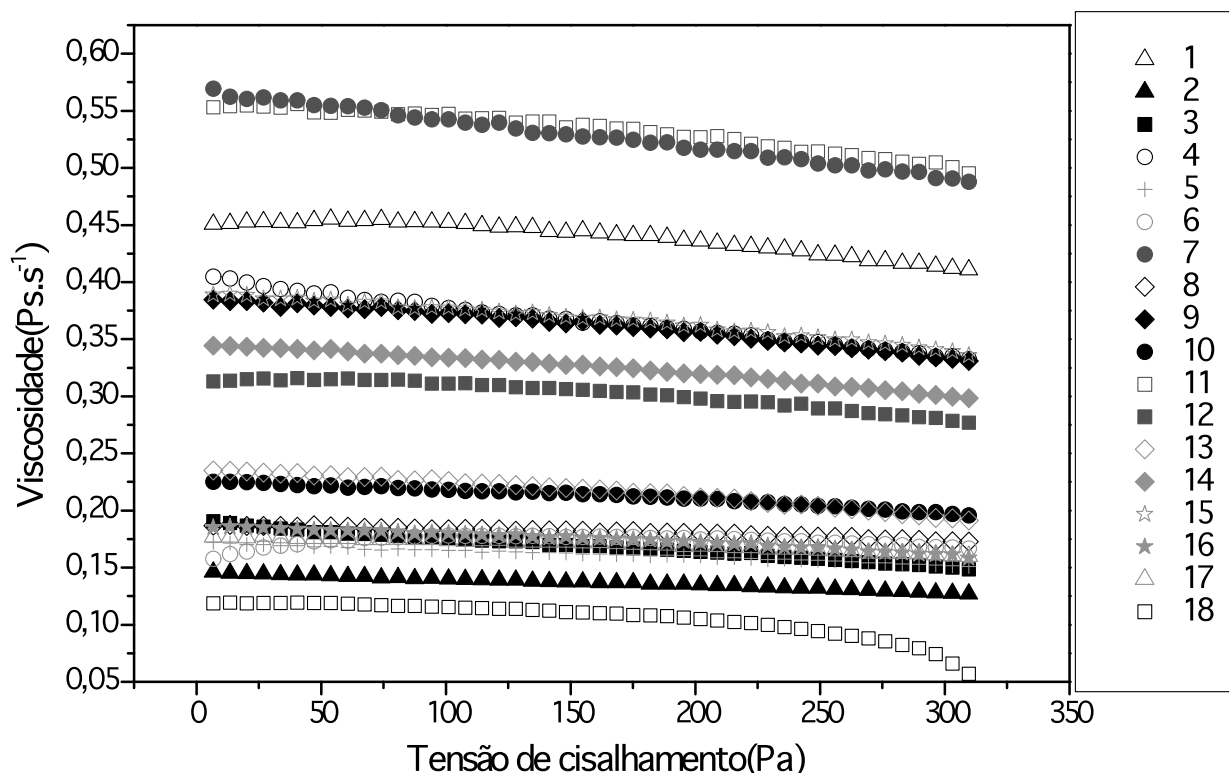
\* Valores não informados pelo fabricante.

## 2.2. Métodos

Os óleos descritos na Tabela 1 foram submetidos aos ensaios reológicos em regime estacionário, com variação linear da tensão de cisalhamento, entre 0 e 600Pa, à temperatura de 25°C, utilizando-se um reômetro AR-G2 com sistema de medida de cilindros concêntricos de copo duplo. Em todos os ensaios, foram utilizados 10mL de lubrificante mantendo-se o tempo de equilíbrio de 1 min.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 representa o comportamento da viscosidade em relação ao incremento da tensão de cisalhamento dos dezoito óleos lubrificantes comerciais escolhidos para estudo, à temperatura de 25°C.



**Figura 1:** Variação da viscosidade dos óleos lubrificantes comerciais em relação à tensão de cisalhamento, a 25°C.

Observa-se, na Figura 1, que todos os óleos lubrificantes comerciais estudados tiveram sua viscosidade diminuída com o aumento da tensão de cisalhamento aplicada. Essa tendência era esperada, pois quando os fluidos entram em zonas de elevados gradientes de velocidade, a primeira reação às forças aplicadas é deformar e, conseqüentemente, diminuir a viscosidade (Equação 1) [11].

Nota-se, na Figura 1, que os óleos analisados podem ser divididos em 3 (três) grupos de acordo com o comportamento da viscosidade de cada um dos óleos lubrificantes comerciais. Essa organização dos óleos em grupos, a partir dos ensaios em regime estacionário, com variação de tensão, à temperatura constante, é consistente com a classificação SAE dos óleos.

O Grupo A é constituído pelos óleos 7 - 25W60 e 11 - 25W60 e esses são os lubrificantes que apresentam maior grau SAE (25W60). De acordo com a Figura 1, esses são os óleos que apresentaram maiores viscosidades dentre os óleos analisados, independentemente da tensão aplicada. Em concordância com a Tabela 1, observa-se ainda que os óleos constituintes do Grupo A (viscosidade e grau SAE elevado) são os únicos lubrificantes estudados que apresentam viscosidade cinemática acima de 250cSt a 40°C, validando a compatibilidade entre os testes reológicos convencionais e o teste reométrico em estado estacionário com variação de tensão.

O Grupo B é composto pelos óleos 1 - 25W50, 4 - 20W50, 9 - 25W50, 12 - 15W50, 14 - 15W50 e 15 - 20W50 (Figura 1). Os óleos comerciais deste grupo apresentam curvas de viscosidade intermediárias em relação aos óleos analisados. Essa observação reflete a

consistência com a classificação SAE dos mesmos (que é de SAE 50 para elevadas temperaturas), por ser uma classificação entre SAE 60 e 40. Observa-se, ainda, pela análise da Tabela 1, que a viscosidade cinemática a 40°C dos mesmos apontam valores entre 139,3 e 216cSt, valores intermediários em comparação aos outros óleos testados, mostrando compatibilidade entre os métodos aplicados para análise.

No Grupo B também é relevante ressaltar que o lubrificante 1 - 25W50 apresentou curva de viscosidade relativamente superior em relação aos demais óleos do grupo, pois este lubrificante se diferencia dos demais pelo seu grau W mais elevado (25W). Da mesma forma que os lubrificantes com curvas de viscosidade inferiores deste grupo foram o 12 - 15W50 e o 14 - 15W50 que, por sua vez, são os óleos com grau W menores (15W) mostrando, mais uma vez, a similaridade entre as metodologias reométrica e convencionais.

De acordo com a Figura 1, no Grupo C estão contidos os demais óleos: 2 - 5W40, 3 - 15W40, 5 - 5W40, 6 - 10W40, 8 - 10W40, 11 - 15W40, 13 - 15W40, 16 - 10W40, 17 - 10W40 e 18 - 5W30. Observa-se que estes lubrificantes são os de menor grau SAE e, consequentemente, apresentaram curvas de viscosidade inferiores em comparação aos demais óleos estudados. Além disso, a viscosidade cinemática a 40°C destes óleos são inferiores em comparação aos outros óleos (Tabela 1), o que demonstra, novamente, a compatibilidade entre o ensaio reométrico em regime em estado estacionário e os testes típicos para classificação de lubrificantes comerciais.

Por fim, destaca-se, na Figura 1, que o óleo 18 - 5W30 apresenta a curva de viscosidade mais baixa, assim como a menor viscosidade cinemática a 40°C, dentre os óleos analisados (67,8cSt). Esse fato está relacionado à sua classificação SAE (5W30) que lhe confere o menor grau e consequentemente menor viscosidade cinemática entre os óleos analisados. Raciocínio análogo pode ser realizado ao observar os óleos 3 - 15W40 e 13 - 15W40, uma vez que apresentam as viscosidades cinemáticas a 40°C mais elevadas deste grupo e, consequentemente, maior grau SAE segundo a classificação da Sociedade de Engenheiros Automotivos.

#### 4. CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que o ensaio reométrico em estado estacionário com variação de tensão pode auxiliar na classificação dos óleos lubrificantes, uma vez que, a partir das diferenças entre as curvas de viscosidade, os óleos podem ser distinguidos e agrupados da mesma forma que a classificação SAE. Além da eficiência quanto à classificação dos lubrificantes por esse teste, o ensaio reométrico é de fácil execução e acima de tudo proporciona rápidas respostas em comparação aos testes por MRV utilizados no estudo do comportamento reológico dos óleos para classificação SAE, podendo assim ser utilizado como teste preliminar e auxiliar na formulação de lubrificantes.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] CARRETEIRO, Ronald Pinto; MOURA, Carlos Roberto dos Santos. **Lubrificantes e Lubrificação**. Makron books do Brasil Editora Ltda. p. 443, 2006.
- [2] SOUZA, Maria Silvia Martins. Métodos analíticos para lubrificantes e isolantes. **Química e Derivados**. v. 382, p. 20-28, 2000.

- [3] VASCONCELOS, Arsênio; GUIMARÃES, Bruna; ARANTES, Paola; SILVA, Paulo. Henrique; COSTA, Orlene Silva. Estudo Reológico Comparativo entre Óleos Lubrificantes Automotivos Sintéticos E Minerais. **Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação**, Universidade Estadual de Goiás. p.1-9, 2010
- [4] SCHRAMM, Gebhard. **A Practical Approach to Rheology and Rheometry**. 2<sup>nd</sup> ed., Gebrueder Haake GmbH, Karlsruhe, Federal Republic of Germany. p. 290, 2006.
- [5] BRETAS, Rosário Elida Suman; D'AVILA, Marcos Akira. **Reologia de polímeros fundidos**. São Carlos: Ed. UFSCar. p. 257, 2010.
- [6] AZEVEDO Joyce Batista; FONSECA, Viviane Muniz; LOPES Eddy Hebert Oliveira; CARVALHO, Laura Hecker. Caracterização da Degradação de Óleos Lubrificantes Minerais em Diferentes Quilometragens de Uso. **17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. p. 8521-8532, 2006.
- [7] JUKIĆ, Ante; KRAGULJAC, Kornelije; JERBIĆ, Ivana Šoljić; VIDOVIĆ, Elvira; BARIŠIĆ, Ankica. Viscosity and Rheological Properties of Mineral Lubricating Oils Containing Dispersive Polymethacrylate Additives. **Goriva i maziva**. v. 49, p. 229-249, 2010.
- [8] MIHALJUŠ-SKLEPIC, Višnja; PODOBNIK, Marijan; BAMBIC, Josip. Engine Oil viscosity index improver behavior at extend shear stability test. **Goriva i maziva**. v. 47, p. 107-128, 2008.
- [9] AKHMEDOV, Aladdin Islam; GASANOVA, E. I.; GAMIDOVA, D. SH.; ISAKOV, E. I. Viscosity Additives to Lubricating Oils, Based on Alkyl Methacrylates and Allyl Monomers. **Russian Journal of Applied Chemistry**. v. 80. p1441-1442, 2007
- [10] JUKIC, Ante; TOMASEK, Ljubica; JANOVIC Zvonimir. Polyolefin and Poly(alkyl methacrylate) Mixed Additives as Mineral Lubricating Oil Rheology Modifiers. **Lubrication Science**. v. 17. p. 432-439, 2005.
- [11] TEIXEIRA, Sylvia Correa dos Santos. **Estudo comparativo de polímeros como melhoradores de índice de viscosidade**. Dissertação de Mestrado Instituto de Macromoléculas da UFRJ, 1994.
- [12] ACQUARONE, Valéria Matos. **Caracterização reológica de soluções de CMC: Viscoelasticidade e influência de características da molécula**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, p.110, 1997.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras, à FAPEMIG, à CAPES e ao CNPq.