

## A VISCOSIDADE DE ÓLEOS PESADOS COM DILUENTES

Krishnaswamy Rajagopal <sup>1</sup>, A.A. Robaina <sup>2</sup>, G.F.Moraes <sup>2</sup>, V.S.L.A. Correia <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Propriedades do Petróleo, LATCA, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia, Sala I-122, CP 68542 Cidade Universitária - CEP: 21941-909, Brasil, e-mail: raja@eq.ufrj.br.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro

No Brasil, aproximadamente 30% das reservas provadas de petróleo é de óleo pesado – de elevada viscosidade (100 a 10000 vezes a viscosidade da água nas condições de superfície) e densidade abaixo de 20° API –, em sua maior parte situada em campos marítimos localizados em águas profundas. Historicamente, esta parcela vem se ampliando com as novas descobertas e poderá duplicar, em médio prazo, com a implantação de novos projetos de produção. As maiores dificuldades na recuperação, processamento e transporte de óleos pesados se referem à sua alta viscosidade (de 10 a 100 cP nas condições do reservatório). Os óleos pesados também geram mais resíduos semi-sólidos durante destilação nas refinarias. As tecnologias convencionais de recuperação e transporte dos óleos pesados e dos resíduos da destilação incluem diluição com solventes. Este estudo visa procurar uma relação que possa quantificar a diluição e a diminuição da viscosidade, assim como obter a melhor correlação entre a viscosidade de uma mistura e sua concentração, utilizando modelo de Walther para correlacionar viscosidade como função temperatura. Neste trabalho, foi medida a viscosidade cinemática de soluções de um resíduo atmosférico de óleo pesado em tolueno em diferentes concentrações, a quatro temperaturas diferentes. Posteriormente, foi realizada uma análise ajustando-se equações de modelos já propostos na literatura aos dados experimentais, o que nos levou a conclusão de que Krieger é o melhor modelo que descreve nosso experimento, além de abranger as características das nossas misturas. Esses resultados podem ser aplicados em projetos nos quais fosse necessário saber como e quanto se pode diluir um óleo pesado de forma a diminuir sua viscosidade, por exemplo, extração, blending e transporte.

1. Óleo pesado, 2. Resíduos de petróleo 3. Modelos de Viscosidade 4 Redução da Viscosidade, 5. Diluição com solventes

### 1. INTRODUÇÃO

A escassez dos petróleos leves é uma realidade que está vinda à tona em nossos dias. No Brasil, aproximadamente 30% das reservas provadas de petróleo é de óleo pesado-de elevada viscosidade (100 a 10000 vezes a viscosidade da água nas condições de superfície) e densidade abaixo de 20° API –, em sua maior parte situada em campos marítimos localizados em águas profundas. Historicamente esta parcela vem se ampliando com as novas descobertas e poderá duplicar, em médio prazo, com a implantação de novos projetos de produção. As maiores dificuldades na recuperação, processamento e transporte de óleos pesados se referem à sua alta viscosidade (de 10 a 100 cP nas condições do reservatório). Mas isso não pode ser um obstáculo para exploração do poço. Uma alternativa seria diluir o resíduo com óleo mais leve de forma que fosse diminuída sua viscosidade. Nosso trabalho foi procurar uma relação que pudesse quantificar a diluição e a diminuição da viscosidade. Essa relação poderia ser um auxílio na estimativa de que um processo de diluição de um resíduo em poço seria ou não economicamente viável – se vale a pena gastar uma quantidade de óleo solvente para retirar o pesado. Depois de esse óleo ser retirado, ele poderia passar pelo processo seletivo por temperatura, e ter suas fases leves e pesadas separadas mais uma vez. A fase mais leve seria levada de volta ao poço para permitir novamente a retirada do óleo pesado e assim sucessivamente.

Mas esse estudo não tem apenas aplicação na produção e extração de óleos pesados, mas também poderia ser aplicado no processo de “blending” – processo onde se fabrica um óleo de característica relativamente leve a partir de uma mistura de um óleo pesado com um bem mais leve. Esse processo é fundamental a certos setores do mercado, visto que o custo de certos óleos leves é mais elevado.

Com crescente produção de petróleos pesados junto com baixa demanda de óleo combustível decorrente da penetração do gás natural no mercado, aumentam nas refinarias os resíduos de destilação que devem ser transformados em líquidos leves, com maior rendimento. Com incremento de reservas de pesados, urge desenvolver novas técnicas de manuseio de líquidos de alta viscosidade.

Finalmente, a ultima aplicação de estudo é a científico-aplicada – esse estudo nos leva a concluir características físicas e naturais das nossas misturas, de acordo com sua adequação aos modelos já propostos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

O petróleo não é uma substância homogênea, é uma mistura complexa de grande variedade de hidrocarbonetos saturados e aromáticos de relativamente baixa massa molar junto com partículas coloidais de asfaltenos e resinas de alto peso molecular. Assim, as propriedades físicas dos petróleos podem variar, principalmente de acordo com o tipo predominante de hidrocarbonetos presentes.

Os óleos crus são misturas complexas do ponto baixo - hidrocarbonetos molecular (saturados principalmente e compostos aromáticos) e elevação partículas coloidais do peso molecular (resina e asfaltenos). A análise SARA (as frações de saturados, compostos aromáticos, resinas e dos asfaltenos) -, é usado para caracterizar os óleos e é útil na estimativa de viscosidade (Suatoni e Swab, 1975; Ali e Nofal, 1994). A quantidade e a polaridade dos asfaltenos e de sua interação com resinas são fatores importantes para compreender a viscosidade (Swanson, 1942). As interações poderiam ser modificadas aquecendo o óleo, formando emulsões de óleo em água por adição dos surfactantes, e/ou misturando o óleo pesado com os óleos mais leves (Crandall, 1984; Hardy, 1989). Estes métodos têm seus méritos e deméritos para melhorar a recuperação do óleo e aumentar sua transportabilidade (Saito, 1990; Sun e Shook, 1996; Al-Roomi et al., 2004). Misturar o óleo com o condensado do gás natural é uma outra alternativa para melhorar suas propriedades de escoamento, embora temos alguns desafios tais como quantificar o efeito da impureza nos condensados bem como determinar os limites da compatibilidade e da estabilidade das misturas (Wyslouzil, Kessick e Masliyah, 1987; Adewusi, 1998, Del Carmen Garcia e Urbina, 2003; Schermer, Melein e Van den Berg, 2004).

O condensado necessita ser tratado ou caracterizado antes de misturar-se. Como mostrado em um caso, o ponto de fluidez do óleo pode aumentar se for usado um gás condensado parafínico não tratada como diluente (Adewusi, 1998). Além da viscosidade, a tendência da cristalização da parafina para o óleo poderia ser diminuída, dependendo da distribuição da massa molar dos componentes (DMM) do óleo (Del Carmen Garcia e Urbina, 2003). Quando mais largo for DMM, mais baixa a tendência da cristalização da parafina. A estabilidade da mistura e da compatibilidade entre os componentes próprios e adicionados estão sendo investigadas ativamente por diversos grupos (Schermer, Melein e Van Den Berg, 2004).

Neste estudo procuramos uma relação que possa quantificar a diluição e a diminuição da viscosidade, assim como obter a melhor correlação entre a viscosidade de uma mistura e sua concentração, utilizando equação de Walther recomendado pelo (API, 1931) para correlacionar viscosidade como função temperatura. Para este fim, foi medida a viscosidade cinemática de soluções de um resíduo atmosférico de óleo pesado em tolueno em diferentes concentrações em quatro temperaturas.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Equações Governantes

A viscosidade de misturas complexas varia drasticamente com temperatura e concentração de fase dispersa. A forma e tamanhos das partículas da fase-dispersa tem efeitos sobre a viscosidade. A viscosidade de emulsões é modelada desde trabalho pioneiro do Einstein em 1895 que considerou a concentração de fase dispersa como variável principal. A variação de viscosidade de soluções homogêneas com temperatura foi estudada pelos diversos pesquisadores.

#### 3.1.1 Variação com Temperatura

O modelo largamente utilizada para descrever a variação da viscosidade dos líquidos com temperatura é equação do Walther, recomendada pelo American Petroleum Institute (API, 2005). Neste modelo log-log da viscosidade varia linearmente com logaritmo da temperatura. Esta correlação não permite extrapolação para baixa temperatura, pois em temperaturas abaixo do ponto de névoa ocorre uma inflexão quando o comportamento do fluido passa de newtoniano para não-newtoniano. O desvio médio observado para este método é menor que 2%. Esta correlação não aplica-se para misturas complexas e não homogêneas exceto em alguns casos como fluido de reservatório resfriado ou óleo cru natural abaixo do ponto de parafina – “Wax Appearance Temperature”. (Farah et al. 2005)

#### 3.1.2 Variação com Concentração da Fase Dispersa

Guth e Simha(1936) estenderam o resultado obtido por Einstein de modo a considerar as interações envolvidas entre as partículas, e também estenderam a faixa de concentração da fase dispersa, chegando a seguinte correlação:

$$\eta_r = 1 + 2.5 * \phi + 14.1 * \phi^2 \quad (1)$$

onde o termo  $\phi^2$  representa justamente a interação partícula-partícula dentro do sistema da emulsão.

Brinkman(1952) desenvolveu a seguinte correlação para o cálculo da viscosidade de soluções e suspensões de concentração finita a partir da análise dos dados experimentais, especialmente a altas concentrações.

$$\eta_r = (1 - \phi)^{-\alpha} \quad (2)$$

Esta correlação é indicada para emulsões de asfaltenos, com valor de  $\alpha = 2,5$ .

Richardson (1953) foi o primeiro a observar que quando a concentração da fase dispersa aumenta, as emulsões se tornam progressivamente não-Newtonianas e que tais emulsões, em geral, exibem uma dependência não-linear de viscosidade em  $\phi$ . Foi observado um aumento exponencial da viscosidade relativa como função de  $\phi$ , se baseando em informações teóricas. Richardson (1953) propôs uma equação simples.

$$\eta_r = e^{k\phi} \quad (3)$$

Tal dependência exponencial da viscosidade com a fração volumétrica da fase dispersa, tem sido verificada para vários sistemas emulsionados, incluindo emulsões de água em óleo.

Para correlacionar suspensões sólidas, válidas para concentração máxima da fase dispersa, várias equações foram propostas com a seguinte forma:

$$\eta_r = \eta_r(\phi / \phi_m) \quad (4)$$

A fração volumétrica máxima ( $\phi_m$ ), para suspensões sólidas, é um parâmetro muito bem definido, não tendo o mesmo comportamento para o caso de emulsões.

Baseados no modelo de Taylor (1932), Krieger e Dougherty (1959) propuseram um modelo em que consideram a concentração da fase dispersa, a qual depende do tamanho das gotas. A correlação é restrita a fluidos newtonianos.

$$\eta_r = \frac{\eta_D}{\eta} = \left[ 1 - \left( \frac{\phi}{\phi_m} \right) \right]^{-[\eta] \phi_m} \quad (1)$$

onde,  $\eta_D$  é viscosidade da fase dispersa,  $\phi$  é fração volumétrica da fase dispersa,  $\phi_m$  é fração volumétrica máxima da fase dispersa,  $[\eta]$  é viscosidade intrínseca.  $\phi_m$  e  $[\eta]$  são considerados como parâmetros ajustáveis para emulsões.

A concentração máxima da fase dispersa ou fração máxima de empacotamento,  $\phi_m$ , é o limite de fluidez acima do qual o sistema deixa de estar no estado líquido para se comportar como um sólido elástico. Para emulsões, valores de  $\phi_m$  experimentais foram determinados como sendo 0,84, e obtendo valores ainda maiores levando a um exponencial de  $[\eta]\phi_m$  próximo de dois. Isto é atribuído às emulsões polidispersas, ao arranjo poliédrico das partículas e suas deformações a altas concentrações (Tadros, 1994).

No caso de emulsões, a viscosidade aumenta com o aumento da concentração da fase dispersa porque a interação hidrodinâmica entre gotas se torna importante a altas frações de  $\phi$  devido a sobreposição de fluxos associados. Quando  $\phi = \phi_m$ , a viscosidade de suspensões torna-se infinito. Porém, a viscosidade de emulsão não se torna infinito quando a concentração de saturação da fase dispersa  $\phi_m$  chega ao máximo, situação em que as gotas quase tocam uma a outra. Sabe-se que no caso de emulsões, a fração em volume da fase dispersa poderia exceder  $\phi_m$ , porém, quando  $\phi > \phi_m$  as gotas não podem permanecer esféricas. Elas estarão deformadas em forma poliédrica, fazendo com que a extrapolação de dados de viscosidade para calcular  $\phi_m$  dêem resultados errôneos.

Comparando-se a equação de Krieger – Dougherty(1959) com a de Taylor (1932) verifica-se que a primeira é mais completa que a segunda uma vez que representa o caso mais geral em que  $\phi$  seja diferente de zero para soluções diluídas.

### 3.2 Aparato Experimental

Foram utilizados viscosímetros Cannon-Fenske de fluxo reverso de tamanhos 50mm e 75mm e também o banho térmico VD 500. Para aferição da temperatura foram utilizados banho seco de alta precisão e termômetro calibrado.

#### 3.2.1 Procedimento de Determinação da Viscosidade Cinemática (ASTM D 455)

A viscosidade cinemática é determinada experimentalmente pelo método ASTM D 445 (norma brasileira MB-293), onde um determinado volume de líquido é colocado em um capilar, depois se induz o líquido a escoar por gravidade pelo capilar de vidro calibrado e se mede o tempo necessário ao escoamento, sob controle preciso e reprodutível de temperatura e de desnível da amostra no viscosímetro. A viscosidade então é calculada a partir do tempo de escoamento e do fator de calibração do viscosímetro. O método apresenta uma repetibilidade de mais ou menos 0,35% do valor médio e uma reprodutibilidade de mais ou menos 0,7% do valor médio. Foram usados viscosímetros do tipo Cannon-Fenske de fluxo reverso para fluidos opacos da marca Cannon, no tamanho 50 para as soluções mais leves e outro de 75, para soluções mais pesadas. Para se obter o fator de calibração do tubo, utilizamos a norma ASTM 446.

Para determinação da viscosidade a cada temperatura e a cada concentração, como o viscosímetro tem dois bulbos, podemos definir uma diferença da viscosidade medida entre bulbos, e calculamos seu desvio relativo. Também calculamos a média dos tempos de escoamento entre os dois bulbos. Para confirmação desses resultados, repetimos todo o procedimento para cada temperatura e concentração duas vezes, assim podemos calcular uma diferença entre medidas repetidas e calculamos também seu desvio.

Esta análise tem um tempo de duração de 60 minutos, com uma reprodutibilidade de aproximadamente 0,35% do valor médio, e uma repetibilidade de 0,7% do valor médio.

### 3.3 Materiais Estudados

Para nossos estudos foi escolhido resíduo atmosférico mais leve, nesse caso do Urucu, já que ele é similar em diversos óleos pesados. As características medidas são indicadas na Tabela 1. O diluente escolhido foi tolueno já que ele solubiliza os asfaltenos até em altas concentrações. O tolueno de alta pureza do grau “HPLC/Spectra” adquirido da TEDIA Company Inc dos Estados Unidos foi utilizado nestes estudos.

Tabela 1 Características do Resíduo Atmosférico URUCU (Métodos ASTM):

|                               |                                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| Massa Molar                   | 1037                                              |
| T <sub>B50</sub>              | 518 °C                                            |
| °API                          | 7,9                                               |
| Densidade Relativa (a 20/4°C) | 1,0110                                            |
| Ponto de fluidez (°C)         | 60                                                |
| Resíduo de Carbono (%m/m)     | 19,9                                              |
| Enxofre (%m/m)                | 0,87                                              |
| Análise Elementar % (m/m)     | Carbono 87,2<br>Hidrogênio 10,1<br>Nitrogênio 1,1 |
| Tipos de carbono (%molar)     | Aromático 28,2<br>Saturado 71,8                   |

#### 3.3.1 Preparo de Soluções:

As dispersões foram preparadas com concentrações desejadas em massa/massa, em balança sensível a décimos de miligrama. Após essa etapa esquentamos e usamos agitador a fim de homogeneizar totalmente a mistura. Tampamos os frascos sempre para evitar a evaporação do tolueno.

## 4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os dados medidos são mostrados na Figura 1

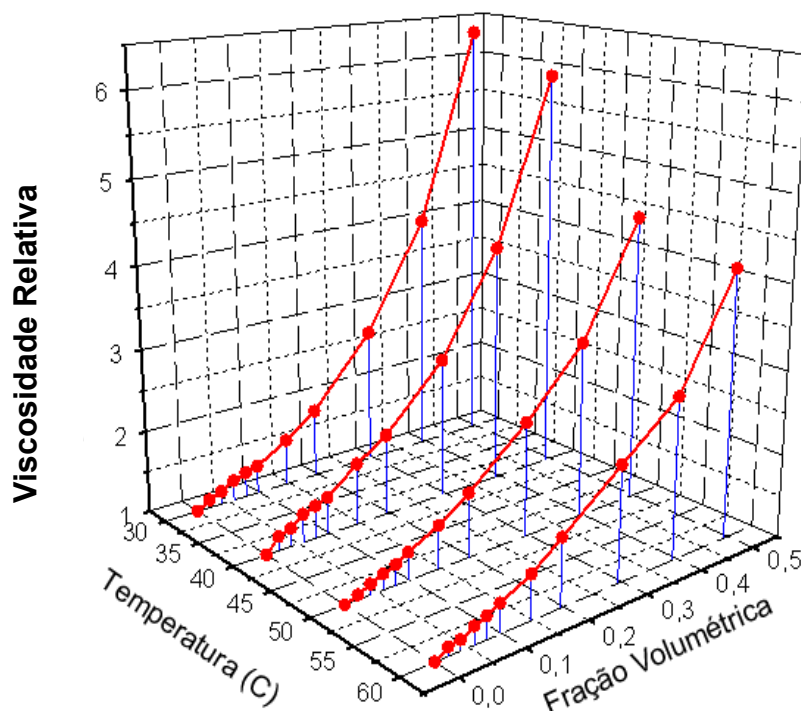


Figura1 As viscosidades medidas (Z) a temperatura(Y) e concentração(X) diferentes.

Podem ser observadas tendências exponenciais no corte XZ e tendências logarítmicas nos corte XY

#### 4.1 Variação com Temperatura

Dentro dos erros experimentais, as viscosidades das dispersões seguem a equação de Walther recomendado pelo API (2005). Na figura 2,  $\ln(\ln(v+0,6))$  é plotado contra  $\ln T$  nas concentrações de 8 e 50%.

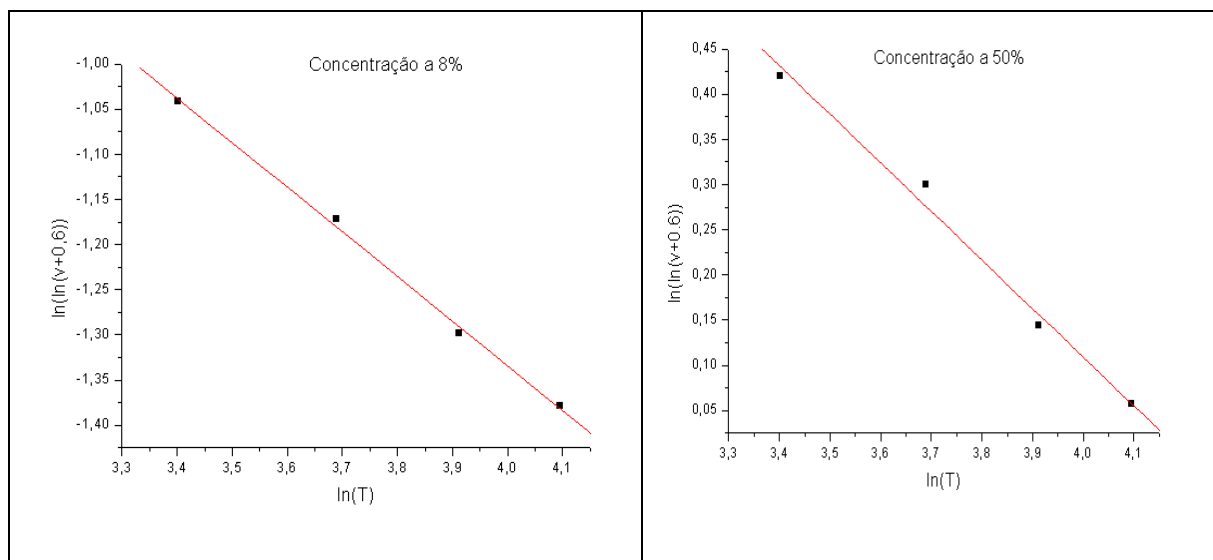


Figura 2. Variação com Temperatura de Viscosidade utilizando equação STM

#### 4.2 Variação com Concentração da Fase Dispersa (Resíduo Urucu)

Os dados experimentais foram correlacionados com os modelos descritos, estimando os parâmetros por regressão não linear no caso do modelo de Krieger-Dougherty e por regressão linear generalizado para modelo de Brinkman e de Richardson. Os parâmetros estimados são mostrados na tabela 2. Eles variam quase linearmente com temperatura.

Tabela 2 Os parâmetros para Resíduo Atmosférico do Urucum

| temperatura °C    | 30,0 | 40,0  | 50,0  | 60,0  |
|-------------------|------|-------|-------|-------|
| Brinkman $\alpha$ | 2,79 | 2,84  | 2,35  | 2,28  |
| Richardson k      | 3,54 | 3,62  | 3,00  | 2,90  |
| Krieger $\Phi_m$  | 0,81 | 0,56  | 0,27  | 0,22  |
| Krieger $[\eta]$  | 4,50 | 10,00 | 38,15 | 57,32 |

As estimativas dos modelos são comparados com valores experimentais nas Figuras 3 e 4 .

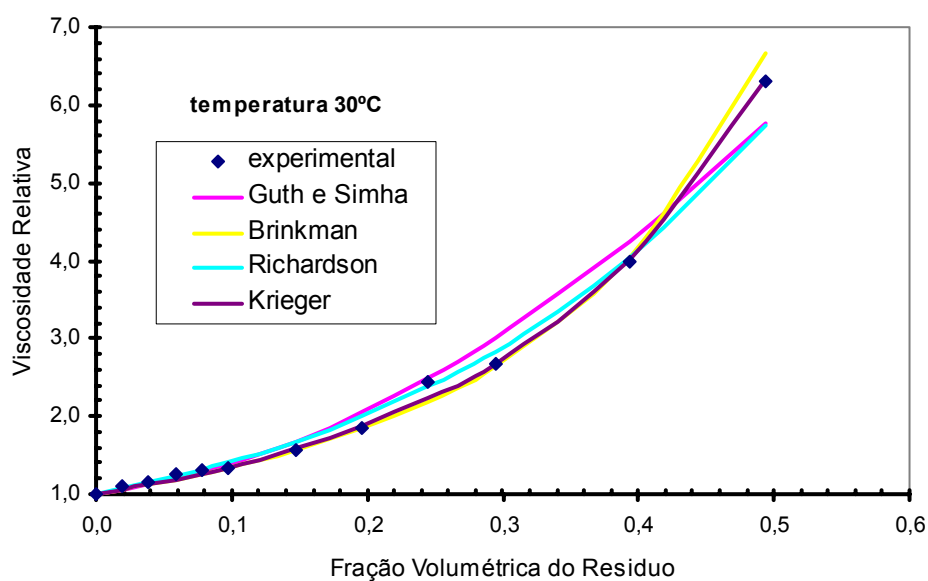


Figura 3 Comparação entre modelos de variação da viscosidade com concentração (à 30°C)

Os valores estimados em todas as temperaturas são comparados na Figura 4.

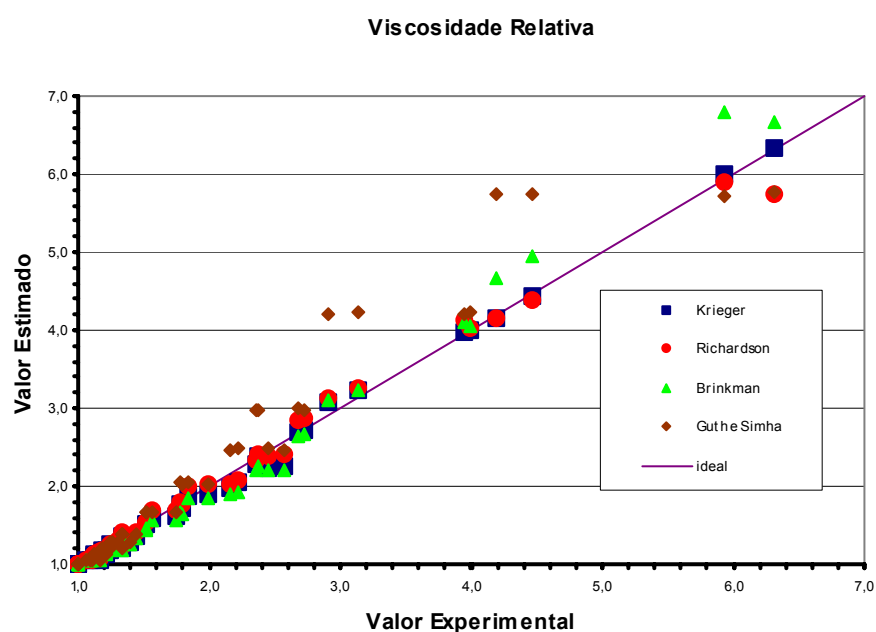


Figura 4 Comparação de valores estimados da Viscosidade Relativa com valores experimentais

Ao analisar as curvas de concentrações por viscosidade, notamos uma tendência exponencial dos dados o que nos leva a crer que nossa mistura é uma emulsão. Todos os modelos conseguem descrever a viscosidade nas baixas concentrações da fase dispersa. O modelo de Guth e Simha mesmo sem parâmetros ajustáveis consegue descrever nas baixas concentrações.

Além disso, podemos analisar agora qual dos outros três modelos se ajusta melhor aos nossos dados experimentais quantitativamente através do valor do desvio absoluto media (AAD), desvio absoluto máximo (MAD) e desvio padrão dos desvios absolutos (Ver Tabela 3)

Tabela 3 Desempenho dos Modelos em descrever dados experimentais

|              | AAD          | MAD   | DP    |
|--------------|--------------|-------|-------|
| Guth e Simha | <b>0,233</b> | 1,547 | 0,362 |
| Brinkman     | <b>0,129</b> | 0,869 | 0,160 |
| Richardson   | <b>0,067</b> | 0,570 | 0,094 |
| Krieger      | <b>0,055</b> | 0,305 | 0,067 |

Isso nos destaca dois modelos: Krieger e Richardson. O modelo de Richardson possui apenas uma constante que depende de fatores do meio, mas não há como definir essa constante numa situação para calcular teoricamente os dados que por ventura forem precisos. O modelo de Krieger apresentou o menor valor de todos índices – AAD, MAD e DP, de todos os modelos – o que prova que seu modelo adequou - se muito bem aos nossos dados. Além disso o modelo de Krieger é mais fundamentado, melhor teoricamente formulado e completo. Os parâmetros variam linearmente com temperatura (Ver Figura 5). Ele não possui formato demasiadamente complexo, mas também não é tão simplório quanto o de Richardson, o que faz do modelo de Krieger uma poderosa ferramenta, devendo ser considerada nos cálculos e estimativas que envolvam diluições de óleos pesados e modificações nas suas viscosidades.

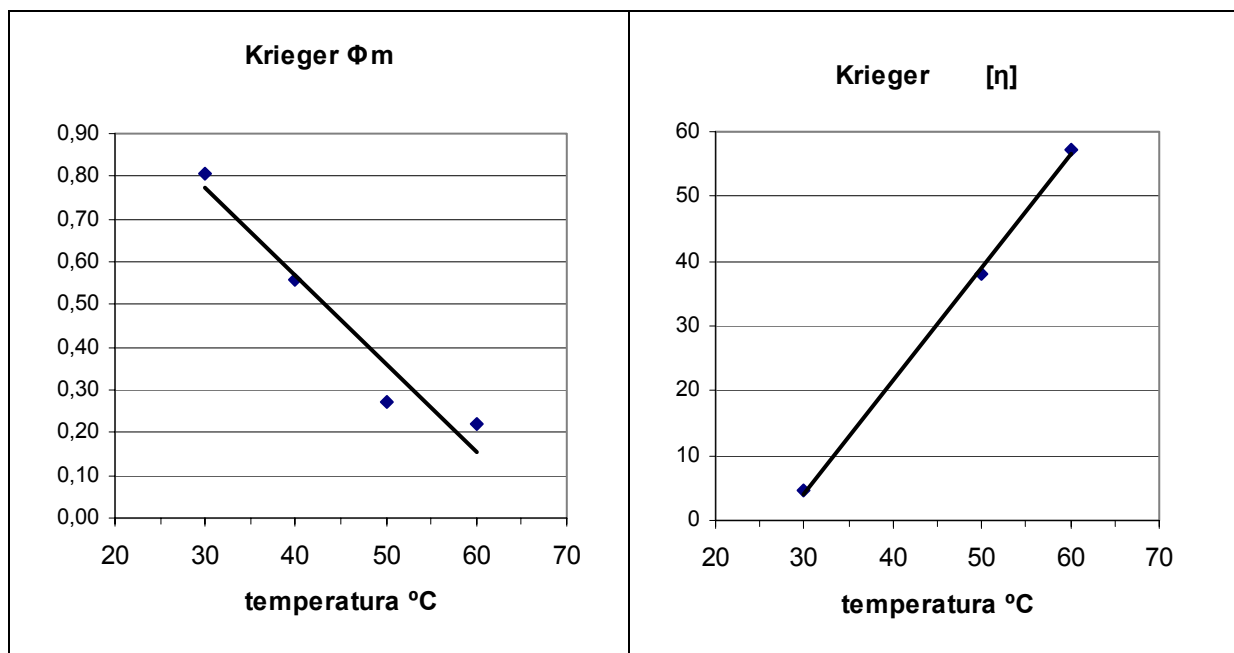


Figura 5. Variação dos parâmetros Krieger com temperatura.

## 5. CONCLUSÃO

A principal conclusão deste trabalho é a viscosidade da mistura complexa de resíduo atmosférico de Urucum com tolueno pode ser descrito pelo modelo de Krieger, proposto para estimar a viscosidade relativa das emulsões. Os parâmetros de Krieger,  $\Phi_m$  e  $[\eta]$  variam linearmente com temperatura. A viscosidade do diluente tolueno pode ser estimada como função de temperatura através métodos de literatura ou pela equação de Walther recomendada pela API (2005). Mesma metodologia pode ser adotada para descrever a viscosidade de qualquer óleo pesado ou resíduos de destilação com diluente miscíveis.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem suporte financeiro do MCT/FINEP/CTPETRO/PETROBRAS através do Convênio FBR 2528-06 do projeto “Distribuição do Gás Sulfídrico entre Óleos Pesados, Gás Liberado e a Água de Formação nas Condições de Reservatório” e agradecem a bolsa de produtividade do CNPq ao Krishnaswamy Rajagopal. Agradecemos Eng. Andréia Lima e Eng. Luis Augusto Rutledge pela ajuda nos experimentos e Dr. Marco Antonio Farah pelas valiosas sugestões durante trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS

- ADEWUSI, V.A.. Waxing tendencies and rheological evaluation of crude-condensate blends for an offshore pipeline transportation. **Pet. Sci. Tech.** v16 (7-8), p 697-717, 1998.
- ALI, M.A., NOFAL, W.A.. Application of high performance liquid chromatography for hydrocarbon group type analysis of crude oils. **Fuel Sci. Technol. Int.** v12 (1), p21– 33, 1994.
- AL-ROOMI, Y., GEORGE, R. ELGIBALY, A. ELKAMEL,. A. Use of a novel surfactant for improving the transportability/transportation of heavy/viscous crude oils. **J. Pet. Sci. Eng.** 42, 235– 243, 2004.
- API, API REFINING DEPARTMENT. **Technical Data Book on Petroleum Refining**. 7ed. Washington, D. C. 2005.
- BROUGHTON, G., SQUIRES, L., The viscosity of oil –water emulsions. **J. Phys. Chem.** 42, 253–263, 1938..
- BRINKMAN, H.C. The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions. **J. Chem. Phys.**, , v. 20, p. 571, 1952.
- CAMY, J.P., et al. The rheology of crude oil dispersions. SPE 5299, Presented at **Int. Symp. Oilfield Chemistry**, Dallas, Texas, January, pp. 16–17. 1975
- CRANDALL, G.R., WISE, T.H.,. Availability of diluent may inhibit heavy oil exports. **Can. Pet.** 25, 37–40. 1984
- DEL CARMEN GARCIA, M., URBINA, A.. Effect of crude oil composition and blending on flowing properties. **Pet. Sci. Tech.** 21 (5-6), 863-878, 2003
- FARAH, M. A. OLIVEIRA, R. C. CALDAS, J. N. RAJAGOPAL, K., Viscosity of water-in-oil emulsions: Variation with temperature and water volume fraction. **J. Pet. Sci. Eng.** Volume 48, Issues 3-4, 15 September, Pages 169-184, 2005.
- GUTH, E.; SIMHA, R. Untersuchungen über die Viskosität von Suspensionen und Lösungen: 3. Über die Viskosität von Kugelsuspensionen. **Kolloid Z.**, Alemanha, v.74, p.266-275, 1936.
- HARDY, W.A., SIT, S.P., STOCKWELL, A.,. Heavy-oil-emulsion pipe line tests meet targets. **Oil and Gas J.** (March), 39– 43. , 1989
- KRIEGER, I.M. Rheology of monodisperse lattices. **Adv. Colloid interface Sci.**, Ohio, v.3, n. 2, p. 111-136, 1972.
- KRIEGER, I.M.; DOUGHERTY, T.J. A mechanism for non-Newtonian flow in suspensions of rigid spheres. **Trans. Soc. Rheology**, v. 3, p. 137, 1959.
- RICHARDSON, E.G. The formation and flow of emulsion. **J. Colloid Sci.**, England, vol. 5, n. 4, p. 404-313, 1950.
- SAITO, Y.T., SATO T., ANAZAWA, I.,. Effects of molecular weight distribution of nonionic surfactant on stability of O/W emulsions. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 67 (3), 145–148. 1990
- SCHERMER, W.E.M., MELEIN, P.M.J., VAN DEN BERG, F.G.A. Simple techniques for evaluation of crude oil compatibility. **Pet. Sci. Tech.** 22 (7-8), 1045-1054. 2004.
- SUATONI, J.C., SWAB, R.E., Rapid hydrocarbon group-type analysis by high performance liquid chromatography. **J. Chromatogr. Sci.** 13, 361– 366, 1975.
- SUN, R., SHOOK, C.A.,. Inversion of heavy crude oil-in-brine emulsions. **J. Pet. Sci. Eng.** 14, 169–182. 1996
- SWANSON, J.,. A contribution to the physical chemistry of the asphalts. **J. Phys. Chem.** 46, 141– 150. 1942
- TADROS, Th.F. Fundamental principles of emulsion rheology and their applications. **Physicochemical and Engineering Aspects Colloids Surf. A.**, v.91, p. 39-55, 1994.
- TAYLOR, G.I. The Viscosity Of A Fluid Containing Small Drops Of Another Liquid, **Proc.R. Soc.**; v. 138, p.41-48, 1932.
- URDAHL, O., FREDHEIM, A.O., LØKEN, K.-P., Viscosity measurements of water-in crude-oil emulsions under flowing conditions: a theoretical and practical approach. **Colloids Surf., A Physicochem. Eng. Asp.** 123– 124, 623. 1997.
- WYSLOUZIL, B. E., KESSICK, M. A., MASLIYAH, J. H. 1987. Pipeline flow behaviour of heavycrude oil emulsions. **Can. J. Chem. Eng.** 65 (3) 353-360.



## VISCOSITY OF HEAVY OILS AND RESIDUES WITH DILUENTS

In Brazil, approximately 30% of the proven reserves of oil are of heavy oil with high viscosity (100 10000 times the viscosity of the water in the surface conditions) and with density below 20° API -, mostly located in offshore basins, often fields in deep water fields. The production and processing of heavy crude is constantly increasing. The principal difficulty in recovery, refining and transport heavy oils is related to its high viscosity. The heavy oils also generate large amounts semi-solid residues of distillation in the refineries. The dilution with a solvent, can be used in conventional technologies of recovery , processing and transport of heavy oils and the residues. This study aims at selecting a model that can quantify the dilution and the reduction of viscosity, as well as getting a good correlation between the viscosity of a non homogeneous mixture and the concentration of dispersed phase. The model of Walther is utilized to correlate viscosity of the homogeneous mixture and of diluents as a function of temperature. For this, kinematic viscosity of solutions of an atmospheric oil residue in toluene was measured at different concentrations, the four different temperatures. The experimental data was analyzed using several models from literature and Krieger's model was identified as the best model from the results of correlation. This model can be used in designing extraction, blending and transportation units..

*Heavy Oil, Distillation Residues, Viscosity Correlations, Viscosity Reduction, Solvent Dilution ...*

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.