



AGREGAÇÃO DE ASFALTENOS E DESENVOLVIMENTO DE INIBIDORES E DISPERSANTES EM PETRÓLEOS BRASILEIROS

Rahoma Sadeg Mohamed

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química
Caixa Postal 6066 - CEP 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

Antonio Carlos da Silva Ramos

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química
Caixa Postal 6066 - CEP 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

Watson Loh

Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química
Caixa Postal 6154 - CEP 13083-970 – Campinas, SP, Brasil

Resumo. *O comportamento de dois asfaltenos (C7I - insolúveis em n-heptano e C5I - insolúveis em n-pentano) extraídos de amostras de óleo do Campo de Marlim, Bacia de Campos/RJ nos solventes aromáticos tolueno, piridina e nitrobenzeno foi investigado utilizando medidas de tensão superficial/interfacial. Os experimentos foram realizados a temperatura de 25°C, empregando o método do anel de Du Noüy em um tensiômetro automático. As medidas apontaram a presença de uma concentração micelar crítica (cmc) na faixa de 4,0 e 16,0 g/L. Dados de viscosimetria apontaram ainda uma agregação de asfaltenos em tolueno posterior a cmc.*

Os efeitos de alguns surfatantes e copolímeros na precipitação dos asfaltenos em óleos foram levantados utilizando microscopia ótica para a determinação do início de precipitação induzida pela adição de n-heptano ao sistema óleo e inibidor, resultados positivos foram encontrados para os Nonilfenoletoxilados (Renex) e Álcoois Etoxilados (Brij) de baixa massa molar. O efeito dispersante de alguns candidatos a inibidores foram também testados com o ácido dodecilbenzenossulfônico apresentando melhor performance.

Palavras-chave: *asfalto, micelas, inibidor, floculação e precipitação.*

1. INTRODUÇÃO

Asfaltenos e resinas são os constituintes do petróleo que apresentam os maiores teores de grupos polares. Ambos são formados de anéis aromáticos policondensados e cadeias alifáticas, ocorrendo em menor proporção a presença de heteroátomos e metais. De acordo com a norma

IP143/1984 asfaltenos é definido como uma fração não volátil, sólida, marrom escura, amorfa, que precipita pela adição de um excesso de n-heptano e é solúvel em tolueno ou benzeno.

Variações na temperatura, pressão ou composição do óleo podem comprometer a estabilidade dos asfaltenos conduzindo a precipitação destes com conseqüente formação de depósitos. Entre os problemas mais freqüentes encontrados durante a produção de petróleos asfaltênicos estão a formação de depósitos e formação de emulsões estáveis.

A natureza e comportamento dos asfaltenos no óleo é complexa, a estabilidade dos agregados no óleo pode ser fortemente influenciada pela interação entre moléculas ou partículas de asfaltenos e outras macromoléculas presentes no petróleo.

A completa caracterização da natureza molecular e comportamento destas frações encontra-se ainda indefinida, asfaltenos e resinas continuam sendo descritos face sua solubilidade em n-alcanos. Um melhor conhecimento do comportamento destas moléculas, da agregação e estrutura coloidal em solução ou no próprio óleo é de grande importância na compreensão dos mecanismos que conduzem a precipitação e assim melhor prevenir ou remediar os problemas encontrados.

A agregação de asfaltenos em solventes aromáticos a baixas concentrações tem sido investigada através de medidas de espalhamento de raio-x de baixo ângulo – SAXS (Dwiggins, 1965; Ho e Briggs, 1982; Xu *et al.*, 1994), espalhamento de nêutrons de baixo ângulo – SANS Ravey *et al.*, (1988) no óleo e em solventes aromáticos mostrando a existência de partículas de 30 a 150 Å de diâmetro e através da técnica de titulação calorimétrica (Andersen e Birdi, 1991) e tensiometria (Sheu *et al.*, 1992; Loh *et al.*, 1999; Mohamed *et al.*, 1999a) em solventes aromáticos, assumindo a formação de pequenos agregados denominados micelas.

Yen T. F. (1974), propôs um mecanismo de agregação de asfaltenos a partir de dados obtidos pela técnica de difração de raio-x cuja organização pode ser sintetizada da seguinte forma: monômeros, pilhas e agregados.

Um mecanismo sugerido a partir dos trabalhos de Ho e Briggs (1982) e Andersen e Birdi (1991), para o crescimento dos agregados em solventes aromáticos propõe que a agregação de asfaltenos em solventes aromáticos ocorre em etapas como segue:

monômeros→micelas→partículas→precipitado

Segundo este mecanismo, moléculas de asfaltenos dissolvidas em solventes aromáticos, como monômeros, associam-se para formar os primeiros agregados (micelas), a associação entre agregados formam partículas em suspensão e a interação entre partículas conduzem a formação de precipitados.

No campo, vários métodos vem sendo empregados para solucionar ou minimizar os efeitos da deposição, incluindo a remoção mecânica dos depósitos, lavagem com solventes e adição de inibidores e dispersantes ao óleo. O tratamento com solventes aromáticos e dispersantes poliméricos são os métodos mais largamente empregados. O uso de solventes mostra-se eficiente, mas requer grandes quantidades do mesmo e são produtos extremamente perigosos ao meio ambiente. Dispersantes apresentam características semelhantes as das resinas do petróleo e a princípio interagem com os asfaltenos de maneira similar. Um mecanismo proposto para explicar a estabilidade dos asfaltenos no óleo sugere que partículas de asfaltenos exibem uma carga superficial e podem estar estabilizadas no óleo pela interação com grupos polares das resinas que se adsorvem em torno da superfície da partícula de asfalto expondo a parte apolar para o meio formando uma dispersão coloidal estável. De acordo com este mecanismo a adição de n-alcanos de baixa massa molar desestabiliza os asfaltenos através da solubilização das resinas conduzindo a coalescência das partículas e posterior floculação e precipitação.

Anfifílicos poliméricos tem sido utilizados em estudos de inibição e dispersão dos asfaltenos. González e Middea, (1991), verificaram que nonyl phenol são bons agentes peptizantes conseguindo prevenir a precipitação de asfaltenos induzida pela adição de heptano e reduzir a adsorção dos asfaltenos sobre quartzo. Fogler *et al.*, (1994), variaram a estrutura química de uma série de anfifílicos solúveis em óleo e verificaram uma forte influência do grupo polar na estabilização de asfaltenos em n-heptano, o ácido dodecibenzenossulfônico foi o mais eficiente.

A seleção de agentes químicos efetivos na inibição da precipitação dos asfaltenos é limitada a pesquisa de agentes ou formulações solúveis no óleo sem uma preocupação de estabelecer um critério científico para propostas de inibidores capacitados a cada tipo de óleo em particular. Industrialmente os produtos utilizados são descritos de maneira genérica como dispersantes poliméricos solúveis em óleo.

Mohamed *et al.*, (1999b), Mohamed *et al.*, (1997), avaliaram a capacidade inibidora de uma série de aditivos e os melhores efeitos foram obtidos para surfatantes da família nonilfenoletoxilados (Renex) na medida que aumenta a cadeia etoxilada. Nesta pesquisa porém, a insolubilidade de surfatantes e copolímeros apresentou-se como uma limitação ao estudo e a utilização prática de tais agentes inibidores.

Neste trabalho apresentam-se os resultados obtidos dos levantamentos experimentais do comportamento da agregação de asfaltenos em solventes aromáticos utilizando as medidas de tensão superficial/interfacial e viscosidade a 25°C. Apresentam-se também os efeitos de um grupo de inibidores e dispersantes sobre o comportamento de asfaltenos em óleos obtidos de campos brasileiros.

2. SEÇÃO EXPERIMENTAL

Os asfaltenos utilizados neste trabalho são oriundos de campos brasileiros e foram extraídos de acordo com a norma IP 143/84 (1984). Os asfaltenos são precipitados do óleo pela adição de um excesso (40 mL/g óleo) de n-pentano ou n-heptano (Fig. 1), ambos adquiridos com grau de pureza maior que 99%. Os sólidos são lavados em refluxo com n-pentano ou n-heptano durante 4 h, redissolvidos em tolueno (ACS 99,5%), filtrados e recuperados pela evaporação do tolueno. Os asfaltenos são chamados C5I (insolúveis em pentano) ou C7I (insolúveis em heptano) de acordo com o floculante utilizado.

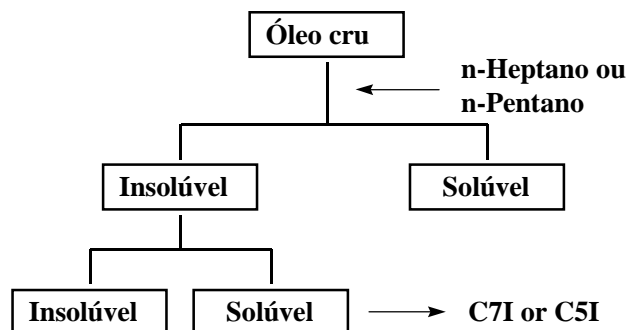


Figura 1 – Representação esquemática do fracionamento do óleo

Os solventes nitrobenzeno, piridina utilizados apresentam grau de pureza maior que 99%. Nas medidas de tensão superficial foi verificado que o tolueno puro apresentava uma cinética superficial a 25°C em discordância com o critério de pureza química de superfície proposto em trabalhos de Goebel e Lukenheimer (1997), o procedimento utilizado foi tratar o tolueno em uma coluna cromatográfica repetidas vezes até que a tensão superficial não mais variasse com o tempo. A água utilizada nos experimentos de tensão interfacial foi de qualidade Mili-Q, a pureza foi verificada através de medidas de tensão superficial em concordância com o valor da literatura e não apresentando cinética superficial.

Os nonilfenoletoxilados (Renex) e álcoois etoxilados (Brij) empregados nos experimentos de inibidores e dispersantes foram utilizados conforme obtidos.

Medidas de tensão superficial/interfacial foram realizadas em um tensiômetro automático. Empregou-se o método do anel de Du Noüy a 25°C nestes experimentos.

Medidas de viscosidade em soluções de asfaltenos/tolueno foram realizadas utilizando viscosímetros capilares de vidro conveniente para líquidos escuros. Os viscosímetros foram calibrados de acordo com ASTM D2162. Os experimentos foram realizados em triplicatas a temperatura de 25°C e a solubilidade dos asfaltenos foi verificada em cada amostra visualmente utilizando um microscópio ótico.

A caracterização das frações asfálticas foi obtida pelo método cromatográfico SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas e Asfaltenos) e pela técnica de osmometria de pressão de vapor na determinação da massa molecular dos asfaltenos. Mohamed *et. al.*, (1999a) descrevem os procedimentos destas análises com maiores detalhes.

O início de precipitação no óleo foi determinado utilizando um microscópio ótico com um aumento de 400 e 1000 vezes. Os experimentos foram avaliados a temperatura ambiente titulando o óleo cru na presença do inibidor com n-heptano até a ocorrência dos precipitados que são detectados visualmente com o auxílio do microscópio.

O efeito de agentes na solubilização foi determinado colocando amostras de asfaltenos em tubos de ensaios seguidos de iguais volumes de n-alcano e concentrações variadas do dispersante, os tubos foram levados ao ultrassom durante 30 minutos, em seguida mantidos em banho termostatizado a 25 °C durante 24 horas. As amostras foram filtradas em membrana apropriada para líquidos orgânicos com 0,22 µm de diâmetro. A concentração do sobrenadante foi determinada utilizando um espectrofotômetro no comprimento de onda de 400 nm. A maior absorvância caracteriza o aumento da dissolução dos asfaltenos nos n-alcenos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de asfaltenos precipitada em função da razão volume do floculante pela massa de óleo é mostrada na Fig. 2. A massa de asfaltenos precipitada aumenta com a diminuição do tamanho da cadeia do floculante, este comportamento concorda com resultados de outros pesquisadores utilizando óleos de diferentes origens (Fotland, *et al.*, 1993). A fração C5I inclui uma fração de moléculas solúveis em n-heptano e que algumas vezes é relatada como resinas (solúveis em heptano e insolúveis em pentano).

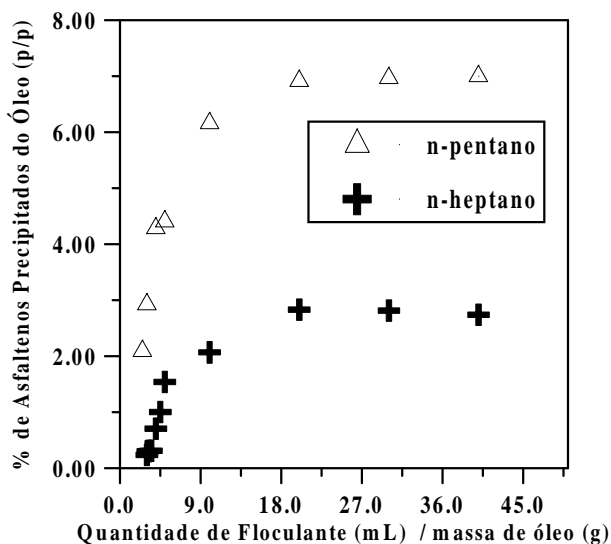


Figura 2 – Curva de extração de asfaltenos

Características destas duas frações foram obtidas pela determinação da massa molecular através de osmometria de pressão de vapor e análise cromatográfica SARA - porcentagem de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos, (Mohamed *et. al.*, 1999) são mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Massa molecular e análise SARA

Amostra	Massa Molecular (g.mol ⁻¹)	Saturados (%)	Aromáticos (%)	Resinas (%)	Asfaltenos (%)
C5I	3250 ± 150	-	-	-	-
C7I	5430 ± 270	-	-	2,9	97
C5I-C7I		4,7	24	60	12

Na tabela 1 verifica-se que os asfaltenos possuem composições químicas distintas, a fração C7I é constituída predominantemente de asfaltenos (mais de 95%) e a fração insolúvel em pentano e solúvel em heptano (C5I – C7I) apresenta somente 12% de asfaltenos e 60% de resinas o que justifica a baixa massa molar da fração C5I. Os valores de massa molecular encontram-se na faixa de valores relatados na literatura obtidos para óleos de diferentes origens e técnicas distintas.

A Tabela 2 mostra resultados obtidos para asfaltenos C7I e C5I em tolueno, piridina e nitrobenzeno a 25°C. Os resultados de cmc (concentração micelar crítica) representa a média de pelo menos dois experimentos repetidos, apresentando um desvio máximo de ± 1,0 g/L.

Os valores obtidos empregando medidas de tensão superficial e tensão interfacial são similares, como mostrado na Tabela 2 (15,4g/L e 14,8 g/L para a cmc do C5I em tolueno). Os valores da cmc dos C5I são maiores que os apresentados pelo C7I nos três solventes, o que pode indicar que a fração de resinas nos C5I podem estar estabilizando estes asfaltenos e fazendo que sua agregação seja posterior. Em geral os valores de cmc obtidos (encontram-se em uma faixa de 4,0 - 16,0 g/L) são maiores que os relatados na literatura para sistemas similares, o que indica talvez a baixa tendência a auto-associação dos asfaltenos utilizados neste trabalho. Os asfaltenos apresentam maiores valores de cmc em tolueno provando ser este um melhor solvente para ambas frações se comparados com piridina e nitrobenzeno.

Tabela 2. valores de cmc determinados para C5I e C7I em diferentes solventes.

Solvente	Asfaltenos	Método*	c.m.c. (g/L)
Tolueno	C5I	TS	15,4
Tolueno	C5I	TI	14,8
Tolueno	C7I	TS	6,5
Piridina	C5I	TI	12,1
Piridina	C7I	TS	5,6
Nitrobenzeno	C5I	TS	9,0
Nitrobenzeno	C7I	TS	6,1

* TS e TI referem-se a tensão superficial e tensão interfacial respectivamente

As Figuras 3 e 4 exibem o comportamento da tensão superficial com o aumento da concentração de asfaltenos C7I em tolueno a 25 °C e 45°C respectivamente.

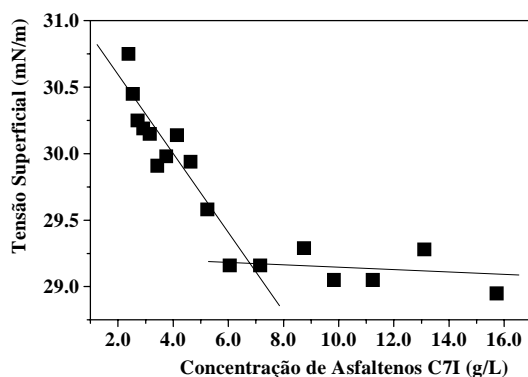


Figura 3 – Curva de cmc de asfalto C7I em tolueno a 25°C

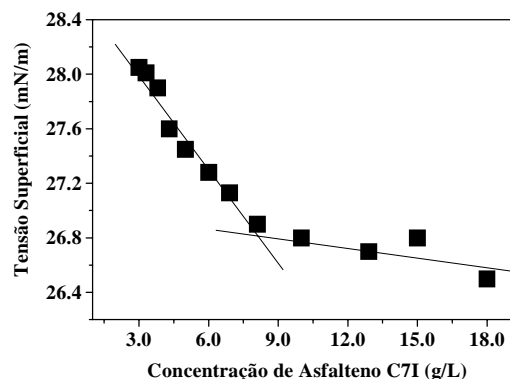


Figura 4 – Curva de cmc de asfalto C7I em tolueno a 45°C

Os dados obtidos foram plotados na forma tensão superficial/interfacial versus logaritmo da concentração de asfaltenos de acordo com a equação de Gibbs (Adamson, 1982) e as curvas apresentaram uma descontinuidade indicando uma possível agregação (concentração micelar crítica - cmc) dos dois asfaltenos nos respectivos solventes. A cmc é obtida graficamente pelo intercepto no eixo da concentração no ponto equivalente a uma mudança de comportamento.

O valor de cmc de 8,0 g/L em tolueno a 45°C e 6,5 g/L a 25°C revela o caráter exotérmico desta agregação. O pequeno decréscimo na tensão superficial em função do aumento da concentração (menos que 10%) é uma evidência da fraca atividade superficial destes componentes devido sua alta solubilidade nestes solventes.

Medidas de viscosidade em função da concentração de asfaltenos na solução de C5I em tolueno a 25°C (Fig. 5) mostram duas quebras distintas, a primeira a concentrações na faixa da cmc e a segunda em concentrações maiores, exibindo um desvio mais acentuado. O aumento abrupto da viscosidade em função do aumento da concentração além do esperado pelo simples aumento da concentração do componente mais viscoso, asfaltenos, reflete mudanças no comportamento reológico e são atribuídas a saída de asfaltenos da solução e formação de agregados. Na Figura 5 a primeira descontinuidade é menos pronunciada e consistente com o surgimento de pequenos agregados, a segunda reflete o surgimento de partículas maiores e é consistente com o aumento da concentração de sólidos em suspensão (floculação).

Estes resultados apresentam informações de grande importância para o desenvolvimento de modelos teóricos que possam prever o comportamento de asfaltenos em óleo nos reservatórios e durante a produção, transporte e refino.

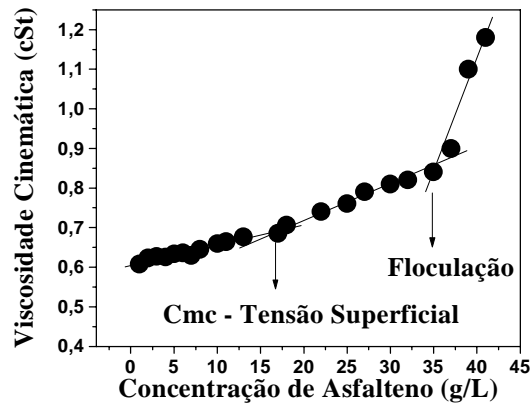


Figura 5 – Floculação de asfalto C5I em tolueno

Neste trabalho, foram investigadas as capacidades inibidoras de aditivos de maior solubilidade em óleo que os utilizados em trabalhos anteriores (Mohamed *et al.*, 1999b, Mohamed *et al.*, 1997). Foram considerados os nonilfenoletoxilados menores (Renex: Re18, Re40) e álcoois etoxilados menores (Brij: Brij30 e Brij35) e o ácido dodecilbenzenossulfônico (DBSA). Os aditivos foram avaliados titulando o óleo cru com heptano até a ocorrência da precipitação detectada visualmente com auxílio de um microscópio ótico. Os resultados (Fig. 6) mostram a capacidade inibidora dos aditivos conforme caracterizada pelo aumento da quantidade de heptano necessária para o início da precipitação na presença de tais aditivos, entretanto, sem poder caracterizar algum efeito de tamanho da cadeia do aditivo. O início de precipitação na ausência do inibidor é 3,1 mL de heptano/g de óleo. Os melhores resultados foram encontrados para os Re18, Re40, Brij30 e Brij 35 em concentrações acima de 1,5%.

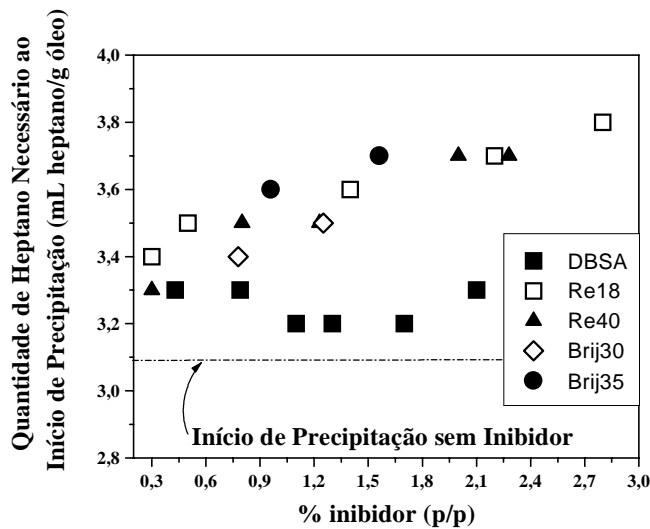


Figura 6 – Efeito de inibidores no início de precipitação

No estudo da dispersão de asfaltenos foram testados os mesmos agentes que apresentaram resultados em inibir a precipitação de asfaltenos. A capacidade em suspender ou solubilizar um depósito asfáltico foi determinada adicionando quantidades diferentes de aditivos ao sistema asfaltenos em heptano ou pentano e medindo a concentração de asfaltenos no sobrenadante. Na Figura 7, apresentam-se os dados levantados para o ácido dodecilbenzenossulfônico, sendo o único aditivo que mostrou resultados positivos dentre os estudados. Com a adição do dispersante observa-se aumento da absorbância da solução o que caracteriza a maior dissolução dos asfaltenos. O ácido dodecilbenzenossulfônico foi mais efetivo em solubilizar asfaltenos C7I se comparados aos C5I (Fig. 7).

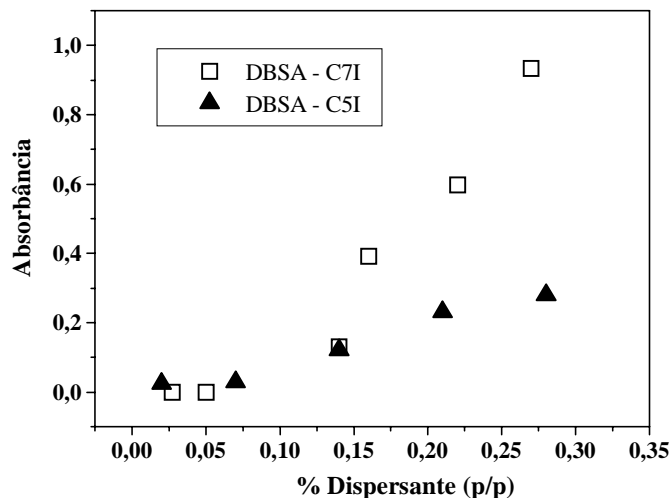


Figura 7 - Efeito do ácido dodecilbenzenossulfônico na dispersão de asfaltenos C5I e C7I

Este resultado enfatiza os apresentados no trabalho de Chang e Fogler (1994) e revela a importância das interações ácido-base no processo da solubilização dos asfaltenos. Entretanto, o ácido dodecilbenzenossulfônico exibiu baixa capacidade em inibir a precipitação de asfaltenos, este resultado indica que o processo de dissolução de asfaltenos em n-pentano e n-heptano possui mecanismo distinto se comparado com os asfaltenos em óleo.

4. CONCLUSÕES

Dados de tensão superficial/interfacial de asfaltenos C5I e C7I nos solventes tolueno, piridina e nitrobenzeno sugerem uma agregação destes asfaltenos na faixa de 4,0 a 16,0 g/L. O aumento na temperatura de 25 °C para 45°C aumentou o valor da cmc do asfalteno C5I em tolueno de 6,5 g/L para 8,0 g/L revelando o caráter exotérmico deste processo. Os valores de cmc dos asfaltenos C5I são maiores que os C7I nos três solventes utilizados o que pode indicar que a maior proporção de resinas dos asfaltenos C5I (confirmada na análise SARA) pode auxiliar na estabilização destes asfaltenos nos respectivos solventes. Dados de viscosimetria de asfaltenos C5I em tolueno exibem dois comportamentos distintos e revelam a possível formação de agregados menores na faixa em que ocorre a cmc deste asfalteno e uma agregação posterior consistente com o comportamento de floculação, estes resultados somados aos de cmc

encontram-se em concordância com o modelo proposto para agregação de asfaltenos: monômeros → micelas → partículas → precipitado.

Os aditivos Re18, Re40, Brij30 e Brij 35 em concentração acima de 1,5% apresentaram os melhores resultados em inibir a precipitação de asfaltenos induzida pela adição de n-heptano. O ácido dodecilbenzenossulfônico que apresentou baixa capacidade em inibir asfaltenos foi o melhor agente dispersante, indicando mecanismos distintos para ambos processos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP pelo apoio financeiro e bolsa de doutorado do aluno Antonio Carlos da Silva Ramos, ao CNPq pelo apoio financeiro aos pesquisadores Rahoma Sadeg Mohamed e Watson Loh, ao PRONEX pelo apoio financeiro na compra de equipamentos, a Petrobras pelas amostras de óleo e ao Dr. Marco Antonio Gomes Teixeira da Petrobras/Cenpes pela ajuda em algumas análises de caracterização do petróleo.

REFERÊNCIAS

- Adamson, A. W., 1982, Physical chemistry of surfaces, eds John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Andersen, S. I.; Birdi, K. S. 1991, Aggregation of asphaltenes as determined by calorimetry, J. Colloid Interface Sci., vol.142, n.2, pp. 497-502.
- Chang, C. L.; Fogler, H. S., 1994, Stabilization of asphaltenes in aliphatic solvents using alkylbenzene-derived amphiphiles. 1. Effect of the chemical structure of amphiphiles on asphaltene stabilization, Langmuir, vol.10, n.6, pp. 1749-1757.
- Dwiggins, C. W., 1965, A small angle X-ray scattering study of the colloid nature of petroleum, The Journal Physical Chemistry, vol. 69, n.10, pp. 3500-3506
- Goebel, A.; Lunkenheimer, K., 1997, Interfacial tension of the water/n-alkane interface, Langmuir, vol. 13, pp. 369-372.
- González, G., Middea, A., 1990, Peptization of asphaltene by various oil soluble amphiphiles, Colloids and Surface, vol. 52, pp. 207-217.
- Ho, B.; Briggs, D. E., 1982, Small angle X-ray scattering from coal-derived liquids, Colloids Surface, vol. 4, pp. 285
- IP 143/84. Standard Methods for Analysis and Testing of Petroleum and Related Products, 1989
- Loh, W., Mohamed, R. S., Ramos, A.C., 1999, Aggregation of asphaltenes obtained from a brazilian crude oil in aromatic solvents, Petroleum Science and Technology, vol. 17, pp. 147-163
- Mohamed, R. S.; Loh, W.; Ramos, A.C., 1999, Aggregation behavior of two asphaltenic fractions in aromatic solvents, Energy&Fuels, vol. 13, n.2, pp. 323-327

Mohamed, R. S.; Loh, W.; Ramos, A.C. Delgado, C.C.; Almeida, V.R., 1999-b, Reversibility and inhibition of asphaltene precipitation in Brazilian crude oils, *Petroleum Science and Technology*, in press

Mohamed, R. S., Loh, W., Ramos, A.C., 1997, Reversibility and inhibition of asphaltene precipitation in Brazilian crude oils, *Latin American and Caribbean Petroleum Conference*, SPE paper 38967, Rio de Janeiro.

Ravey, J.C.; Ducouret, G.; Espinat, D., 1988, Asphaltene macrostructure by small angle neutron scattering, *Fuel* vol. 67, pp. 1560-1567.

Sheu, E. Y.; De Tar, M. M.; Storm, D. A.; DeCanio, S. J., 1992, Aggregation and kinetics of asphaltenes in organic solvents, *Fuel*, vol. 71, pp. 299-302.

Xu, Y.; Koga, Y.; Strausz, O.P., 1994, Characterization of Athabasca asphaltene by small angle X-ray scattering, *Fuel*, vol. 74, n.7 pp. 960-964.

AGGREGATION OF ASPHALTENES AND DEVELOPMENT OF INHIBITORS AND DISPERSANTS IN BRAZILIAN CRUDE OILS

Resume. *The behavior of two asphaltenes (C7I - insolubles in n-heptane and C5I - insolubles in n-pentane), obtained from samples of Brazilian crude oils, in aromatics solvents was investigated using surface/interfacial tension data. The experiments were carried out at 25°C using an automatic tensiometer and employing Du Noüy ring method. The results indicated the presence of a critical micelle concentration in the range of 4.0 e 16.0 g/L. Kinematic viscosity measurements has indicated still another aggregation at higher asphaltene concentration. The effects of some surfactants, and copolymers on the precipitation of asphaltenes, in crude oils, were investigated using optical microscopy for the determination of the onset of precipitation induced by the addition of n-heptane to the oil/inhibitor system. Positive results were found with low molecular weight nonylphenoethoxylated (Renex) and ethoxylated alcohols. The dispersant effects of the same inhibitors were also investigated with the best results obtained using dodecylbenzenesulfonic acid.*