

Eixo Temático ET-07-001 - Tratamento de Efluentes Sanitários e Industriais

OBTENÇÃO DE UM DIAGRAMA PSEUDOTERNÁRIO UTILIZANDO TWEEN 80 COMO TENSOATIVO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DO PETRÓLEO

Gabrielly de Lucena Tiburtino^{1*}, Maria Aparecida Bezerra Oliveira¹, Adna Lúcia Rodriguez Menezes¹, Guymann Clay da Silva²

¹Estudante de Engenharia Mecânica. UFERSA, Caraúbas-RN. *E-mail: gabrielly_lucena@hotmail.com; ²Dra. Professora Química, UFERSA, Caraúbas-RN. E-mail: guymann@ufersa.edu.br.

RESUMO

Mesmo que de forma indireta, basicamente, todos os organismos vivos dependem da água. A escassez dessa é cada vez mais preocupante, então é necessário evitar o seu desperdício. Sendo a indústria petroleira uma das maiores produtoras de efluentes, faz-se necessário o tratamento desses antes de sua liberação para o meio ambiente, sendo os tensoativos um meio de se tratar esses efluentes. Os tensoativos não iônicos são amplamente utilizados em diferentes campos. Uma das características mais interessantes destes tensoativos é a sua capacidade de formar sistemas micelares estáveis. Neste trabalho, foram obtidos dois diagramas pseudoternário, utilizando tensoativo Tween 80, cotensoativo N-butanol, variando o tipo de fase óleo (N-hexano e xileno) e fase aquosa com razão C/T = 1. Dessa forma, foi feito o estudo da variação da fase óleo. Os resultados mostram que a variação da fase óleo escolhida não apresentou mudança na região de microemulsão. Isso foi atribuído ao fato de que o hexano pode migrar para a fase óleo, por ser apolar, ou o mesmo ter evaporado antes de microemulsionar. Em relação ao diagrama obtido com o xileno, a literatura diz que o hidrocarboneto com anéis benzênicos diminui a região de microemulsão. Com os resultados obtidos, podem ser realizados testes de viscosimetria capilar, densidade e medidas de turbidez. Esses sistemas obtidos são muito estáveis e de fácil preparo podendo ser utilizados, não apenas em tratamento de efluentes para remoção de petróleo, mas para uma vasta aplicação na indústria, como reportado na literatura.

Palavras-chave: Diagrama pseudoternário; Tensoativo; Microemulsão.

INTRODUÇÃO

As microemulsões são definidas como sistemas de alta agregação nos qual água e óleo são homogeneamente misturados devido à presença de substâncias anfifílicas chamadas de tensoativos. Os tensoativos possuem em sua cadeia uma parte polar, capaz de se misturar a substâncias polares e outra apolar capaz de se misturar a compostos apolares ou orgânicos. Esses tensoativos quando adicionados a um meio aquoso ou oleoso tendem a formar, acima da CMC (concentração micelar crítica), pequenos aglomerados coloidais chamados de micelas. Essas micelas podem ser do tipo direta, ou seja, óleo/água (O/A), ou do tipo inversa, água/óleo (A/O). Essas estruturas internas das micelas (geometrias)

existentes em microemulsão podem ser variadas, complexas e podem ser físico-quimicamente entendidas.

Dependendo das concentrações dos constituintes da microemulsão uma grande diversidade de estruturas entre a fase contínua e dispersa pode ser identificada (SILVA, 2011), proporcionando maior solubilização do óleo presente na água. Suas propriedades os tornam sistemas altamente versáteis e de interesse em diversos domínios de aplicação (GOMES, 2009). Gomes (2009) e Siroky et al. (2011), estudaram diferentes sistemas microemulsionados que possibilitam uma maior solubilização da fração pesada do óleo (borra).

Diante da necessidade de aperfeiçoar técnicas que sejam eficazes na remoção de óleo presente no efluente, precisa-se de um sistema estável, de fácil preparo, espontâneo, e que facilite a solubilização de diversos compostos. Um sistema muito utilizado em diversas áreas da indústria devido suas características típicas, são os sistemas microemulsionados (VIANA, 2010). Suas propriedades e seu grande poder de solubilização os tornam excelentes solventes para contaminantes polares e apolares, ampliando em muito as vantagens de aplicação de tensoativos em solução (SIROKY et al., 2010). Esses sistemas, sejam eles sistemas micelares diretos ou inversos, já são aplicados em diversos campos industriais (STICKDORNT, 1995) tais como na indústria farmacêutica (STICKDORNT, 1995; ESPOSITO et al., 2003; FENG-FENG et al., 2005; FANUN, 2008) e de cosméticos (STICKDORNT, 1995; FANUN, 2008), na indústria têxtil (STICKDORNT, 1995), na indústria de petróleo (SCHULZ, 2005), dentre outros. As microemulsões diferem das emulsões não apenas por seu tamanho estrutural ser muito menor, tamanho nanométrico, mas também na sua estabilidade termodinâmica, estabilizando e proporcionando vida longa a sistemas de misturas do tipo óleo/água ou água/óleo (SILVA, 2011).

Considerando que de todas as crises sociais e naturais que os seres humanos devem enfrentar, a dos recursos hídricos é a que mais afeta a nossa sobrevivência. Admitindo que o consumo mundial aumentou 35 vezes ao longo dos três últimos séculos, em função do aumento do consumo em residências, indústrias, dentre outras, a água tem sido utilizada em quantidades superiores ao volume disponível, gerando problemas de escassez (NASCIMENTO et al., 2004; SCHULZ, 2005).

O processo de racionalização da água é uma questão que vem ganhando importância nos últimos anos, uma vez que este recurso está se tornando cada vez mais escasso (TOZE, 2006). O problema da escassez da água é devido ao seu mau uso nos últimos anos, tanto pela sociedade, quanto pelo setor industrial, que a utiliza em todas as suas atividades, produzindo grandes quantidades de efluentes (GOGATE e PANDIT, 2004). Os contaminantes presentes nestes efluentes industriais são os mais diversos possíveis: corantes, sólidos suspensos, metais pesados, matéria orgânica, nutrientes, nitratos, taninos, ligninas, princípios ativos, dentre outros (ATTIA et al., 2006).

No caso da indústria de petróleo, em decorrência de uma intensa atividade de exploração e produção de petróleo, esta, é responsável por grande parte da geração de resíduos (GUIMARÃES, 2007), uma vez que a exploração e o refino de petróleo são algumas das mais importantes atividades industriais da sociedade moderna, e seus derivados são empregados em vários destinos (OLIVEIRA, 2005; SCHULZ, 2005) os quais são considerados tóxicos e poluentes ao meio ambiente (GUIMARÃES, 2007).

Dentre estes resíduos, pode-se citar: os resíduos oleosos e viscosos formados durante as etapas de produção; resíduos formados a partir do transporte de refino de petróleo; de filtros de petróleo nas plataformas; tanques de navios petroleiros; oleodutos; da limpeza de permutadores e da parte inferior dos tanques de armazenamento de petróleo

e seus derivados; como: diesel; gasolina; GLP; nafta petroquímica; solventes como querosene; óleos lubrificantes; parafinas óleo combustível; asfalto dentre outros (GUIMARÃES, 2007). Neste caso, o principal contaminante na indústria de petróleo, que é uma grande consumidora de água, são os resíduos de óleo (SANTO et al., 2012), gerando assim grandes quantidades de efluentes (SCHULZ, 2005) como citados anteriormente. Neste caso a água é utilizada para diversos fins como: produção de vapor d'água, água de processo, proteção contra incêndio, uso doméstico, dentre outra (DIEPOLDER, 1992; SCHULZ, 2005).

Devido ao forte impacto que causam ao meio ambiente, esses efluentes são rigorosamente controlados pela legislação ambiental vigente, o que faz com que a indústria busque cada vez mais alternativas econômicas e ecologicamente viáveis para seu tratamento. Devido a isso, vários estudos sobre tecnologias foram desenvolvidas para o tratamento de efluentes industriais. A seleção da tecnologia depende das características do efluente e da qualidade que se deseja para o produto final, além de custo e facilidade de operação do processo (SCHULZ, 2005).

Nas refinarias de petróleo, o tratamento de efluentes está dividido em quatro níveis: tratamento primário, que envolve processos físicos de tratamento; tratamento secundário, que compreende as operações onde a matéria solúvel é removida; e tratamentos terciário e quaternário que seriam o polimento final do efluente, para descartá-lo dentro dos padrões exigidos pela Legislação vigente. Desconsiderando os níveis de tratamento, as operações para tratamento de efluentes são classificadas em físicas (flotação, coalescência, filtração), químicas (precipitação, coagulação, troca iônica), térmicas e biológicas (BEGAJEWICZ, 2000).

Para Gryta et al. (2001), os métodos mecânicos para tratamento de efluentes oleosos são baseados no fenômeno de quebra da emulsão através da gravidade. Para os mesmos autores os métodos químicos são primeiramente baseados na neutralização de detergentes (estabilizantes de emulsões) e na mudança de pH da solução. Isto resulta na aceleração do processo de separação devido ao efeito da coalescência. A fase aquosa do tratamento químico contém óleo residual, entretanto, este deve ser submetido a posterior purificação para promover efluente com características de efluente doméstico.

Para Srijaroonat et al. (1999), várias técnicas tradicionais são usadas para tratamento do efluente oleoso. O óleo livre pode ser facilmente separado por meios mecânicos, como sedimentação por gravidade (separador API "American Petroleum Institute), "skimming", flotação por ar dissolvido (DAF "Dissolved Air Flotation"), coalescência e centrifugação. Para emulsões instáveis que contêm gotas de óleo com diâmetro maior que 100 μm , técnicas de separação química como floculação e coagulação são aplicadas. Mas todas as técnicas descritas acima têm limitações para separar gotas com diâmetros menores que 20 μm . Devido à sua estabilidade, algumas destas são impossíveis de quebrar por meios químicos.

Para Gryta et al. (2001), os métodos tradicionais de tratamento de efluentes oleosos não são eficientes especialmente quando as gotas de óleo são finamente dispersas e sua concentração é muito baixa. Segundo os autores existe ainda a necessidade de um método universal, que seja eficiente em todos os casos, para remoção de óleo em efluentes.

Os métodos tradicionais de tratamentos de efluente de petróleo são baseados em métodos físicos e químicos. De acordo com os autores citados anteriormente, Srijaroonat et al. (1999), esses métodos em algumas situações específicas como tamanho de gotas menores que 20 micrômetros, por exemplo, não são eficazes devido à instabilidade do sistema. Para Gryta et al. (2001) ainda a necessidade de um método universal, que seja

eficiente em todos os casos, para remoção de óleo de efluentes. Logo, há uma necessidade de otimizar técnicas, que sejam eficazes na remoção de óleo presente no efluente. Essa técnica ou sistema precisa ser estável, de fácil preparo, espontâneo, e que facilite a solubilização de diversos compostos. O estudo destes sistemas será feito para dois tipos de fase óleo, o hexano e o xileno, utilizando Tween 80 como tensoativo, N-butanol como cotensoativo e fase aquosa, a uma razão C/T = 1,0. O motivo de utilizar o tensoativo não iônico é que ele vai proporcionar maior estabilidade à microemulsão. O cotensoativo que vai ser utilizado é um álcool de cadeia curta não ramificada (butanol), que além de proporcionar maior estabilidade a microemulsão aumentando o poder de solubilização da mesma.

Portanto, o objetivo deste trabalho é obter diagramas pseudoternário utilizando um tensoativo não iônico, um cotensoativo (álcool), fase óleo (xileno e N-hexano) e água destilada como fase aquosa, que possa ser utilizado para tratamento de efluente de indústria de petróleo. trabalho pode conter imagens, tabelas, citações, e devem seguir os estilos aqui apresentados, de forma a obtermos um resultado homogêneo entre os trabalhos ao final do processo, possibilitando a confecção dos anais da melhor maneira possível.

METODOLOGIA

Para se realizar o processo de microemulsão foi necessário que fosse pesado as massas de cada componente da solução e para isso foi usada uma balança analítica, após esse processo se fez necessário um agitador mecânico para que se misturasse a solução composta por tensoativo Tween 80 (Figura 2), cotensoativo o álcool butílico, as fases óleo hexano e o xileno e a água destilada (Figura 1).

Materias e reagentes

	<i>Balança analítica</i>	<i>Agitador mecânico</i>	<i>Tween 80</i>	<i>Álcool butílico</i>	<i>Hexano</i>	<i>Xileno</i>	<i>Água</i>
<i>INFORMAÇÕES</i>	SHIMADZU, modelo: AUY220, Máx = 220g, Mín = 10mg, e = 1mg, d = 0,1mg.	Norte científica NA 3600, modelo: agitador de amostras.	110/220, POT: 130 W (CRQ) ^R	PRQ químicos	P.A., Synth	P.A., Synth	Destilada

Figura 1. Informações dos materiais e reagentes usados. Fonte: Elaborada pela autora no programa Excel.

Obtenção do diagrama pseudoternário

Os sistemas de dispersão foram preparados usando a metodologia de titulação da fração mássica utilizando uma balança analítica e agitadores mecânicos, à temperatura de $27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme descrito em trabalhos pesquisados (DANTAS NETO et al., 1993; WANDERLEY NETO, 2010). Após a determinação da razão C/T, faz-se o cálculo da massa de cotensoativo, tensoativo e fase óleo que serão usados em mesma proporção.

Uma dada massa de tensoativo, cotensoativo e fase óleo são adicionadas a um tubo de ensaio. Gota a gota, água é adicionada ao sistema e levada a um agitador mecânico.

Esse procedimento de adição de água só termina quando o processo atingir a fase de emulsão, que será percebida no momento em que o sistema turva, mudando sua coloração de incolor para turvo. Após esse procedimento a solução é pesada para se obter o peso da fase aquosa que foi adicionada. Com o peso de cada constituinte obtido cálculos são feitos para se obter a porcentagem de massa de cada substância na fase de microemulsão. Os cálculos são feitos pela razão entre a massa de cada substância, tensoativo, cotensoativo, fase óleo e fase aquosa, pela massa de todo o sistema, como mostra as Equações 1-4.

$$\% m_T = \frac{m_T}{m_{TS}} \times 100\% \quad [1]$$

$$\% m_{CT} = \frac{m_{CT}}{m_{TS}} \times 100\% \quad [2]$$

$$\% m_{Fo} = \frac{m_{Fo}}{m_{TS}} \times 100\% \quad [3]$$

$$\% m_A = \frac{m_A}{m_{TS}} \times 100\% \quad [4]$$

onde, m_{TS} massa total do sistema; m_T massa de tensoativo; m_{CT} massa de cotensoativo; m_{Fo} massa de fase óleo; m_A massa de água.

Obtenção das extensões das regiões microemulsionadas

Com os resultados da porcentagem de massa de cada componente foram plotados no Origin para se obter os diagramas pseudoternários, esses foram imprimidos em folhas de papel, cortados e pesados em uma balança analítica digital. Através do peso da região de microemulsão, também pesada, foi calculada a porcentagem de acordo com a Equação 5, como reportado na literatura (MORAIS, 2009).

$$\% RM = (PRM / PD) * 100 \quad [5]$$

onde, $\% RM$ = porcentagem da região microemulsionada, PRM = peso da região microemulsionada e PD = peso total do diagrama.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtenção dos diagramas pseudoternários

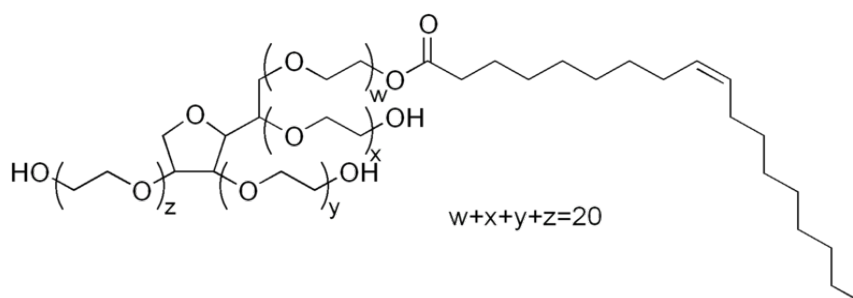


Figura 2. Fórmula molecular do Tween 80 (Polisorbato). Fonte: Wikipedia.

A obtenção de sistemas pseudoternários requer o uso de um cotensoativo, molécula que possibilita o aumento da solubilidade do sistema e pode, também aumentar a estabilidade do sistema, devido agir na interface das duas fases (MORAIS, 2009). A escolha do tensoativo Tween 80 foi feita devido o mesmo ser um tensoativo não-iônico. Esse tipo de tensoativo estabilizam melhor a microemulsão, uma vez que a interação entre as cabeças do tensoativo na micela são menores, por não ter íons (Figura 2), do que os tensoativos iônicos.

Alguns parâmetros que influenciam na microemulsão são a influência do cotensoativo, a isomeria do álcool, a influência da razão cotensoativo/tensoativo, estrutura do hidrocarboneto, a influência da salinidade, e a influência do pH (SOUZA, 2006). No presente trabalho, foram obtidos sistemas contendo tensoativo não iônico, cotensoativo de cadeia curta, com razão $C/T = 1,0$, objetivando estudar a influência da fase óleo, como reportado na literatura (DANTAS et al., 2010). Na Figura 3, foi utilizado o xileno, e na Figura 5 foi utilizado o hexano como fase óleo. Como pode ser visto, a proposta de estudar os diagramas pseudoternário, utilizando o mesmo tensoativo e cotensoativo a uma razão $C/T = 1$, variando apenas a fase óleo não foi bem-sucedida, uma vez que a região de microemulsão para a ambos os diagramas são praticamente iguais.

O xileno é uma mistura de seus isômeros comuns (orto, meta e para) (DANTAS et al., 2010) e o hexano é um hidrocarboneto alifático. A substituição do hidrocarboneto alifático pelo aromático induz fortes interações entre tensoativo e óleo, provocando a rigidez do filme interfacial e diminuindo a região de microemulsão, ponto IV nos diagramas. A estrutura da fase óleo, F_o , influencia nas propriedades da interface, de acordo com modelos propostos por Winsor (1954). Efeitos intensos de solvatação nas interfaces do sistema são promovidos pelas interações tensoativo-óleo em função da natureza variável das moléculas de óleo (pequeno volume molecular nos hidrocarbonetos de cadeia curta até alta polaridade com o aumento da aromaticidade). Por outro lado, o aumento no comprimento da cadeia do óleo conduz a uma redução das interações entre as microgotículas, diminuindo a capacidade de solubilização da microemulsão (LEUNG e SHAH, 1986). Em processos de separação, essa propriedade é fundamental.

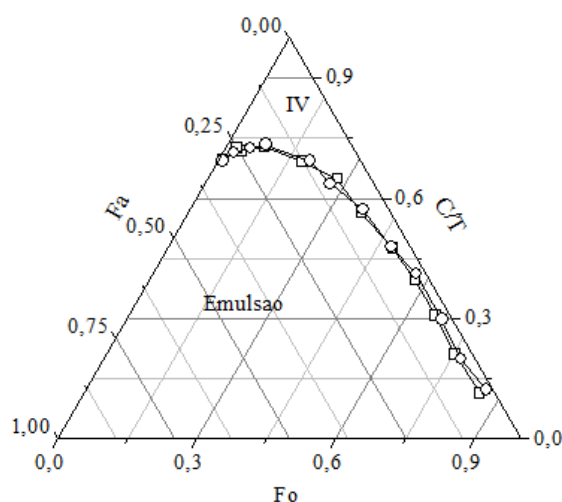


Figura 3. Diagrama pseudoternário, utilizando Tween 80, butanol, xileno e água. Fonte: Elaborada pela autora no programa Origin.

A Figura 3 mostra o digrama pseudoternário obtidos com o Tween 80, como tensoativo, butanol como cotensoativo, xileno como fase óleo e água, com razão C/T = 1,0.

De acordo com a literatura a substituição do hidrocarboneto alifático (Figura 5) pelo aromático (Figura 3) induz a diminuição da região de microemulsão. Os cálculos da % RM para o diagrama da Figura 3 é 14,44% e 17,97% para o diagrama da Figura 5. Apesar da % RM ser maior para o diagrama com a fase óleo alifática, (hexano), esperava-se que essa região de microemulsão fosse muito maior, pois a diferença de % RM é apenas 3,53%. Isso pode ser explicado por dois mecanismos propostos:

O hexano é um composto alifático, basicamente apolar e insolúvel na fase aquosa. Devido a essas características, o hexano migra facilmente da fase contínua, fase aquosa, para a fase dispersa, fase oleosa, aumentando o tamanho da micela e consequentemente aumentando a região de emulsão, como mostra o esquema da Figura 4.

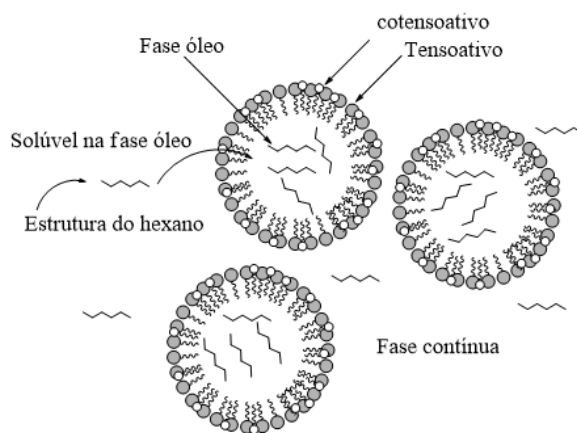


Figura 4. Esquema de migração do hexano da fase contínua, para a fase dispersa. Fonte: Elaborada pela autora no programa Origin.

A diferença entre a emulsão e microemulsão, não está apenas na estabilidade termodinâmica, mas também no tamanho-estrutura da micela (LIF e HOLMBERG, 2006). A região caracterizada como IV nos diagramas é a região de microemulsão, região microscopicamente homogêneo composto de uma única fase, que no caso é a microemulsão (DANTAS et al. 2009). A outra região, é a de emulsão, região que apresenta tamanho de micelas maiores e instáveis (LIF e HOLMBERG, 2006). Essa caracterização foi obtida a partir da classificação das regiões de Winsor.

O hexano é um solvente muito volátil, ou seja antes de microemulsionar parte do hexano evapora, motivo esse que apresenta uma variação nos pontos em equilíbrio da emulsão com a microemulsão. Nesses pontos, a quantidade de tensoativo e cotensoativo é muito baixa (0,2 – 0,5), ou seja, antes do hexanomicroemulsionar, migrar para dentro da micela, o mesmo evapora, comprometendo a região de microemulsão.

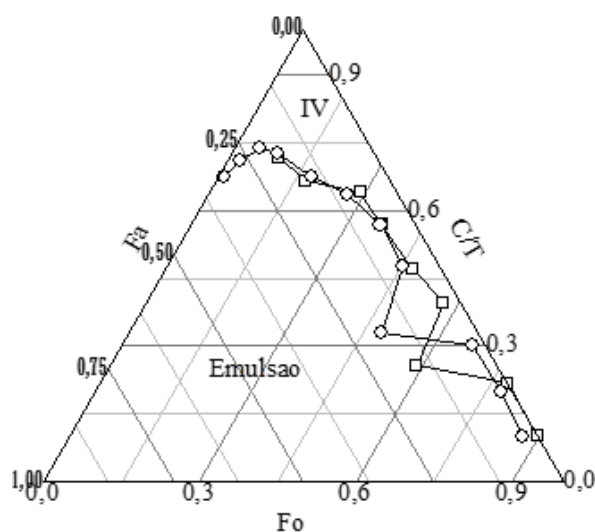


Figura 5. Diagrama pseudoternário, utilizando Tween 80, butanol, hexano e água. Fonte: Elaborada pela autora no programa Origin.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que:

- Através da titulação mássica com a fase aquosa, foi possível a determinação de regiões de microemulsão em diagramas pseudoternários, utilizando tensoativo não-iônico, Tween 80;
- A estrutura dos tensoativo Tween 80 não contribuiu para uma diferença no tamanho das regiões de Winsor IV em ambos os diagramas;
- A utilização de uma fase óleo volátil pode mascarar ou comprometer a região de microemulsão;
- Cálculos da % RM mostram que os hidrocarbonetos alifáticos proporcionam uma região de microemulsão maior, com 17,97%, do que os hidrocarbonetos aromáticos, com 14,44%;
- A região de microemulsão é mais dependente da estrutura do tensoativo, do cotensoativo e da razão C/T do que da estrutura da fase óleo;
- De acordo com os diagramas obtidos, trabalhos futuros podem ser feitos, variando a razão C/T, variando o tensoativo e variando o cotensoativo;
- Dentro das regiões de microemulsão pode ser obtido diferentes pontos de microemulsão que futuramente serão aplicados na indústria petrolífera para a remoção de óleo em efluentes, solubilização de borra, recuperação avançada dentre outras podendo também ser utilizado em processos que não estejam ligados ao petróleo.

AGRADECIMENTOS

Guymmann Clay da Silva, pela orientação. Wilsdon Arcanjo de Moraes, pelo auxílio laboratorial. UFERSA; UFRN; UERN. CNPq.

À Rede Brasileira de Informações Biológicas (REBIBIO).

REFERÊNCIAS

- ATTIA, A. A.; RASHWAN, W. E.; KHEDR, S. A. Capacity of activated carbon in the removal acid dyes subsequent to its thermal treatment. **Dyes Pigments**, v. 69, n. 3, p. 128-136, 2006.
- BEGAJEWICZ, M. A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants. **Computers and Chemical Engineering**, v. 24, p. 2093-2113, 2000.
- DANTAS NETO, A. A.; DANTAS T. N. C.; DUARTE, M. M. L.; AVELINO, S. Equilibrium diagrams at 27 °C of the water + sodium tungstate + dodecylaminechloride system. **Journal of Chemical and Engineering**, v. 38, p. 67-69, 1993.
- DANTAS, T. N. C.; OLIVEIRA, K. R.; DANTAS NETO, A. A.; MOURA, M. C. The use of microemulsions to remove chromium from industrial sludge. **Water Research**, v. 43, n. 5, p. 1464-1470, 2009.
- DANTAS, T. N. C.; ROSSI, C. G. F. T.; AUM, P. T. P.; LUCAS, C. R. S. Influência da fase óleo em equilíbrios de fases de sistemas contendo Unitol L-90, Butan-2-ol, água e mistura xileno/querosene. Anais da 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 2008.
- DANTAS, T. N. C.; SANTANNA, V. C.; DANTAS NETO, A. A.; BARROS NETO, E. L.; MOURA, M. C. P. A. Rheological properties of a new surfactant-based fracturing gel. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 225, n. 13, p. 129-135, 2003.
- DIEPOLDER, R. Is zero discharge realistic? **Hydrocarbon Processing**, v.71, p. 129-131, 1992.
- ESPOSITO, E.; BORTOLOTTI, F.; MENEGATTI, E.; CORTESI, R. Amphiphilic association systems for Amphotericin B delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 260, n. 2, p. 249-260, 2003.
- FANUN, M. A study of the properties of mixed nonionic surfactants microemulsions by NMR, SAXS, viscosity and conductivity. **Journal of Molecular Liquids**, v. 142, n. 1-3, p. 103-110, 2008.
- FENG-FENG, L. V. P.; ZHENG, L.-Q; TUNG, C.-H. Phase behavior of the microemulsions and the stability of the chloramphenicol in themicroemulsion-based ocular drug delivery system. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 301, p. 237-246, 2005.
- GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for waste water treatment I: oxidation technologies at ambient condition. **Adv. Environ. Res**, v. 8, p. 501-551, 2004.

GOMES, D. A. A. **Aplicação de microemulsões na solubilizações de frações pesadas de petróleo**. Natal: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009. 90 p.

GRYTA, M.; KARAKUSLKI, K., MORAWSKI, A. W. Purification of oily wastewater by hibrid UF/MD. **Water Research**, v. 35, p.3665-3669, 2001.

GUIMARÃES, A. K. V. **Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso**. Natal: Depatamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007. 157 p.

LEUNG, R.; SHAH, D. O. Solubilization and phase equilibria of water-in-oil microemulsions. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 120, n. 2, p. 330-344, 1987.

LIF, A.; HOLMBERG, K. Water-in-diesel emulsions and related systems. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 123-126, p. 231-239, 2006.

MORAIS, W. A. **Determinação microemulsionadas utilizando tensoativos não iônicos**. Natal: Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009. 31 p.

NASCIMENTO, J. F.; PEREIRA JÚNIOR, O. A.; PEREIRA NETTO, A. D.; NÓBREGA, R.; BORGES, C. P.; MEDEIROS, J. A. Seleção de membranas comerciais para reuso de efluentes no Sistema Petrobras. Proceedings of The Rio Oil Conference, Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, A. G.; SCARPA, M. V.; CORREA, M. A.; CERA, L. F. R.; FORMARIZ, T. P. Microemulsões: estrutura e aplicações como sistema de liberação de fármacos. **Quim. Nova**, v. 27, p. 131-138, 2004.

OLIVEIRA, E. P.; SANTELLI, R. E.; CASSELA, R. J. Direct determination of lead in produced waters from petroleum exploration by electrothermal atomic absorption spectrometry x-ray fluorescence using Ir-W permanent modifier combined with hydrofluoric acid. **Analytica Chimica Acta**, v. 545, n. 1, p. 85-91, 2005.

SANTO, C. E. V.; BOTELO, C. M. S.; AMIT, B.; KUMAR, E.; BOAVENTURA, R. A. R. Optimization of coagulation-flocculation and flotation parameters for the treatment of a petroleum refinery effluent from a Portuguese plant. **Chemical Engineering Journal**, v. 130, p. 117-123, 2012.

SCHULZ, C. K. **Tratamento de efluentes oleosos utilizando processos de separação por membranas**. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 164 p.

SILVA, G. C. **Sistema microemulsionado: caracterização e aplicação na indústria de petróleo**. Natal: Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011. 157 p. (Tese de doutorado).

SIROKY, A. N.; SILVA, R. A. H.; MACEDO, A. M. F.; BEZERRA FILHO, C. H. A.; VIANA, F. F.; VIVACQUA, C. A.; DANTAS, T. N. C. Aplicação de planejamento de experimentos nos estudos de sistemas microemulsionados visando à solubilização da fração pesada de petróleo. Anais do 19º Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 2010.

SOUZA, P. F. D. **Novas alternativas na quebra de emulsão de petróleo: sistemas microemulsionados**. Natal: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2006.

SRIJAROONRAT, P.; JULIEN, E.; AURELLE, Y. Unstable secondary oil/water emulsion treatment using ultrafiltration: fouling control by backflushing. **Journal of Membrane Science**, v. 159, p. 11-20, 1999.

STICKDORNT, M. J. S. K. Microemulsions in technical processes. **Chem. Rev.**, v. 95, p. 849-864, 1995.

TOZE, S. Reuse of effluent water: benefits and risks. **Agricultural Water Management**, v. 80, p. 147-159, 2006.

VIANA, F. F.; MACEDO, A. M. F.; DANTAS NETO, A. A.; DANTAS, T. N. C.; ROSSI, C. G. F. T. Estudo da solubilização da borra de petróleo em função do percentual de C/T. Anais da 62ª Reunião Anual da SBPC, 2010.

WANDERLEY NETO, A. O.; DANTAS, T. N. C.; DANTAS NETO, A. A.; FONSECA, J. L. C. Characterization of the liquid-gas interface of aqueous systems containing a derivative from castor oil. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 31, p. 980-985, 2010.