

# 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



**9º CONGRESSO**  
Brasileiro de P&D em  
**PETRÓLEO E GÁS**

**Maceió, AL**  
de 09 a 11 de novembro  
**2017**

Realização:



**ABPG**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM  
PETRÓLEO E GÁS



## **TÍTULO DO TRABALHO:**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS (INIBIDORES DE CORROSÃO) OBTIDOS ATRAVÉS DE TENSOATIVOS ANIÔNICOS E ÓLEO DE *SESAMUM INDICUM L.***

## **AUTORES:**

Ricardo H. R. de Carvalho<sup>1</sup>, Elisa M. B. D. de Sousa<sup>2</sup>, Cátia G. F. T. Rossi<sup>2</sup>

## **INSTITUIÇÃO:**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido<sup>1</sup>, Universidade Federal do Rio Grande do Norte<sup>2</sup>

*Este Trabalho foi preparado para apresentação no 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.*

## **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS (INIBIDORES DE CORROSÃO) OBTIDOS ATRAVÉS DE TENSOATIVOS ANIÔNICOS E ÓLEO DE *SESAMUM INDICUM L.***

### **Abstract**

This work was proposed to obtain and physico-chemical characterization of microemulsion systems (SME) using sesame oil (*Sesamum indicum L.*) as organic phase, anionic surfactants and water. These microemulsions act as corrosion inhibitors by adhering to the metal surface of AISI 1020 steel, among others, forming a protective film, isolating the metal from the oxidizing medium. The surfactants used were: Tween 40, Tween 80, Span 20, Ultrol L90 and Butanol. Four microemulsified systems were formulated from these surfactants, sesame oil and distilled water. Four ternary/pseudoternary diagrams were obtained, being representative of the extent of the Winsor IV region (microemulsion region) obtained. After the diagrams were obtained, the two SME's that allowed us to work in regions with high water concentration were selected: 1) SME1 (ternary, containing Tween 80, oil and distilled water) and 2) SME2 (pseudoternary containing Ultrol L90 and Butanol, aside from oil and distilled water). Three SME1 points (SME1-M1, SME1-M2 and SME1-M3) and SME2 (SME2-M1, SME2-M2 and SME2-M3) were chosen within the microemulsion region for the following physico-chemical characterization: particle diameter and polydispersity index, pH and stability to salinity, stability study to temperature variation, rheological study and viscosity, and surface tension. The purpose of the characterization is to attest to the microemulsion condition of the chosen points as well as to evaluate stability under certain conditions. Among those points of different concentrations, SME-M1 (85% water phase, 14.55% surfactant phase and 0.45% oil phase) presented the best results regarding the characterization. This point obtained excellent stability to the temperature variation (-8 to 95.5 ° C), in addition to having the smallest particle diameter of all points analyzed ( $8.8 \pm 0.1$  nm).

Keywords: Microemulsion, surfactants, sesame oil, inhibition, corrosion.

### **1. Introdução**

A indústria mundial sofre com problemas de corrosão todos os anos, investindo quantias consideráveis no combate à processos corrosivos ou substituindo peças danificadas pela corrosão. A indústria do petróleo é uma das que mais sofrem com este tipo de problema, principalmente devido às características e potencial corrosivo dos fluidos que circulam no interior dos oleodutos, gasodutos e demais equipamentos das instalações industriais (WANDERLEY NETO *et al.*, 2014). Nesse sentido, este trabalho se propôs à obtenção e caracterização de Sistemas Microemulsionados (SME's). A obtenção de um agente anticorrosivo é possível através de formulações de SME's contendo o óleo de gergelim como fase orgânica, além de tensoativos aniônicos e água destilada. O óleo de gergelim tem seu potencial antioxidante comprovado, em virtude dos poderosos antioxidantes presentes em sua composição (LIANG *et al.*, 2012). Sistemas microemulsionados podem ser utilizados como inibidores de corrosão em materiais metálicos utilizados na indústria do petróleo que sofrem em virtude do desgaste devido a processos corrosivos causados principalmente pela água, H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub>, advindos dos campos de produção junto com as correntes de petróleo e gás natural (ZHU, FREE e CHO, 2015). Sistemas microemulsionados utilizando óleos vegetais têm se mostrado extremamente eficientes no combate ao desgaste de diversos tipos de ligas metálicas, justamente pela característica que essas substâncias têm de aderir à parede dessas estruturas e diminuir o fluxo de íons entre o meio corrosivo,

neste caso especial entre o metal e o fluido que este transporta, minimizando assim, fortemente, o processo corrosivo (QURAISHI *et al.*, 2010). Portanto, podem ser utilizados, mediante processo de adsorção, para mitigar os efeitos danosos da corrosão, minimizando custos de reposição e manutenção desses equipamentos e aumentando seu tempo de vida útil. Na literatura não existe nenhum trabalho quanto a obtenção de sistemas microemulsionados utilizando óleo de gergelim como fase orgânica.

## 2. Metodologia

### 2.1. Matéria prima

A matéria prima utilizada nesse trabalho como fase orgânica na formulação das microemulsões foi o óleo de gergelim extraído via CO<sub>2</sub> supercrítico (CARVALHO *et al.*, 2012).

### 2.2. Materiais

Os solventes e reagentes utilizados foram: Tween 20 (Merck); Tween 40 (Sigma-Aldrich); Tween 80 (Sigma-Aldrich); Span 20 (Sigma-Aldrich); Ultrol L90 (Oxiteno); Butanol (VETEC, Brasil); e NaCl P.A. (Vetec).

### 2.3. Obtenção dos diagramas ternário e pseudoternário

Na obtenção dos diagramas, foram testados os tensoativos não iônicos Tween 40, Tween 80, Ultrol L90 e Span 20, além de n-Butanol como cotensoativo. Para determinar a região de microemulsão (ou seja, onde todos os componentes do sistema são solúveis e formam uma única fase (região de Winsor IV), foi utilizada a técnica de determinação dos pontos de solubilidade através de titulação da fase aquosa em uma mistura de quantidades fixas de óleo e tensoativo/cotensoativo (DANTAS *et al.*, 2002). Inicialmente foram obtidos dois sistemas microemulsionados em meio aquoso, o “SME1”, composto pelo tensoativo Tween 80, óleo de gergelim como fase orgânica e água destilada como fase aquosa e o sistema microemulsionado “SME2”, formulado utilizando o Ultrol L90 como tensoativo (T) e pelo cotensoativo butanol (C), utilizando uma razão C/T = 1, óleo de gergelim compondo a fase orgânica e água destilada como fase aquosa. Ainda foram obtidos outros dois sistemas microemulsionados, onde foi utilizado o Tween 40 como tensoativo em um dos sistemas e uma mistura Tween 80/Span 20 numa razão C/T = 1 no quarto e último sistema microemulsionado, além de óleo de gergelim e água destilada.

### 2.4. Escolha dos pontos dentro do diagrama e concentrações das soluções de microemulsão para caracterização

Após a obtenção dos diagramas, foram escolhidos os dois SME's que nos permitiram trabalhar em regiões de alta concentração de água. Foram escolhidos três pontos no SME1 e 3 no SME2 dentro da região de microemulsão para posterior análise. Os pontos encontram-se detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição dos pontos dos SME1 e SME2 (Fonte: Elaborada pelos autores)

| Componentes                | Composição (% m/m) dos SME |       |       |       |       |       |
|----------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | SME1                       |       |       | SME2  |       |       |
|                            | M1                         | M2    | M3    | M1    | M2    | M3    |
| Tween 80 (T)               | 14,55                      | 19,55 | 24,55 | -     | -     | -     |
| Butanol (C)/Ultrol L90 (T) | -                          | -     | -     | 24,55 | 29,55 | 34,55 |
| Óleo (Fo)                  | 0,45                       | 0,45  | 0,45  | 0,45  | 0,45  | 0,45  |
| Água (Fa)                  | 85                         | 80    | 75    | 75    | 70    | 65    |

Fo - fase orgânica; Fa - fase aquosa; T - tensoativo; C - cotensoativo; Razão C/T = 1

## **2.5. Caracterização físico-química dos sistemas microemulsionados SME1 e SME2**

### **2.5.1. Diâmetro de Partícula e Índice de Polidispersão**

Para a determinação do diâmetro de partícula se utilizou o aparelho Zeta Plus Particle Sizing da Brookhaven Instruments, onde as amostras foram colocadas em cubetas de quartzo de 5 mL numa temperatura de 25 °C. Realizou-se cinco corridas de um minuto cada. O índice de polidispersão foi determinado através da média das cinco varreduras.

### **2.5.2. pH e Estudo da Estabilidade à Salinidade**

As amostras dos sistemas SME1 e SME2 foram submetidas à análise de pH e de solubilidade em meio salino. O pHmetro utilizado foi o Digimed DM-20, 25 °C, onde foram realizadas três medidas, sendo assim determinado o pH das amostras mediante cálculo da média dessas três medidas. As amostras também foram analisadas quanto a sua estabilidade em meio salino. Para tanto, foi titulada uma solução de NaCl a 35.000 ppm em 1 mL de cada ponto escolhido com o intuito de verificar a solubilidade e estabilidade das microemulsões no meio salino.

### **2.5.3. Estudo de Estabilidade à variação de Temperatura**

As amostras dos sistemas (SME1 e SME2) foram submetidas a testes de estabilidade mediante variação de temperatura. Foi utilizado aquecedor Fisatom (mod. 752 A), onde as amostras foram submetidas à elevação gradual da temperatura. O objetivo foi verificar a exata temperatura onde os SME's são insolúveis (mudança de fase), ou seja, momento em que o sistema sai da região de Winsor IV. As amostras também foram submetidas ao resfriamento em banho de gelo, verificando assim a exata temperatura onde o sistema sai da região de Winsor IV e entra na região de Winsor I.

### **2.5.4. Estudo Reológico e Viscosidade**

O estudo reológico e a viscosidade de cada amostra foram feitos em um Reômetro Mars da Thermo Scientific. A viscosidade foi determinada a 25 °C. Já os parâmetros reológicos foram obtidos mediante a utilização da técnica de cilindros coaxiais, utilizando um volume de 12 mL em cada corrida. As amostras foram cisalhadas entre as paredes dos cilindros de raio R1 e R2, obtendo assim as constantes de taxa de cisalhamento e de tensão cisalhante, sendo estas analisadas e gerando os reogramas de tensão *versus* taxa de cisalhamento e aplicando um modelo matemático previamente escolhido.

### **2.5.5. Tensão Superficial**

O método utilizado foi o do anel realizado em Interfacial Tensiometer Dynes Per CM. Os ensaios foram em triplicata, a 25°C, utilizando 20 mL de amostra. A balança de torção utiliza um fio de torção para aplicar a tensão necessária para remover o anel de platina da superfície das microemulsões. O fio de torção é fixo por um grampo em uma extremidade, e por uma cabeça giratória acoplada a escala graduada (90 divisões) na outra extremidade, sendo cada divisão referente a 1 dyna.

## **3. Resultados e Discussão**

### **3.1. Sistemas Microemulsionados: Obtenção dos SME's ternários e pseudoternário**

Os tensoativos avaliados são classificados como não iônicos e podem ser utilizados como inibidores de corrosão em baixas concentrações, sendo eficientes em sistemas de inibição à corrosão em ligas metálicas. São biodegradáveis e têm suas propriedades pouco afetadas mediante a variação de pH e salinidade do meio, além de quimicamente compatíveis com a maioria dos tensoativos de larga

aplicabilidade industrial (DANTAS *et al.*, 2002). Na Figura 1a encontra-se o diagrama pseudoternário, obtido utilizando o Tween 80 como tensoativo (T) e o Span 20 como cotensoativo (C), numa razão C/T igual a 1. Neste caso, a mistura de tensoativos teve um pouco mais de afinidade com o óleo de gergelim do que com a fase água, originando uma pequena região de Winsor IV. Observamos que este é muito limitado, sendo possível obter SME rico em fase tensoativo, mas inviável para SME's ricos em fase água e em fase óleo. Na Figura 1b, encontra-se o diagrama ternário obtido utilizando o Tween 40 como fase tensoativo (T). Verifica-se que o óleo de gergelim foi pouco solúvel no Tween 40, tendo o tensoativo muito mais afinidade com a fase água. Dessa forma, observa-se uma região de Winsor IV restrita, não permitindo a obtenção de SME's ricos em fase óleo ou elevadas concentrações de água.

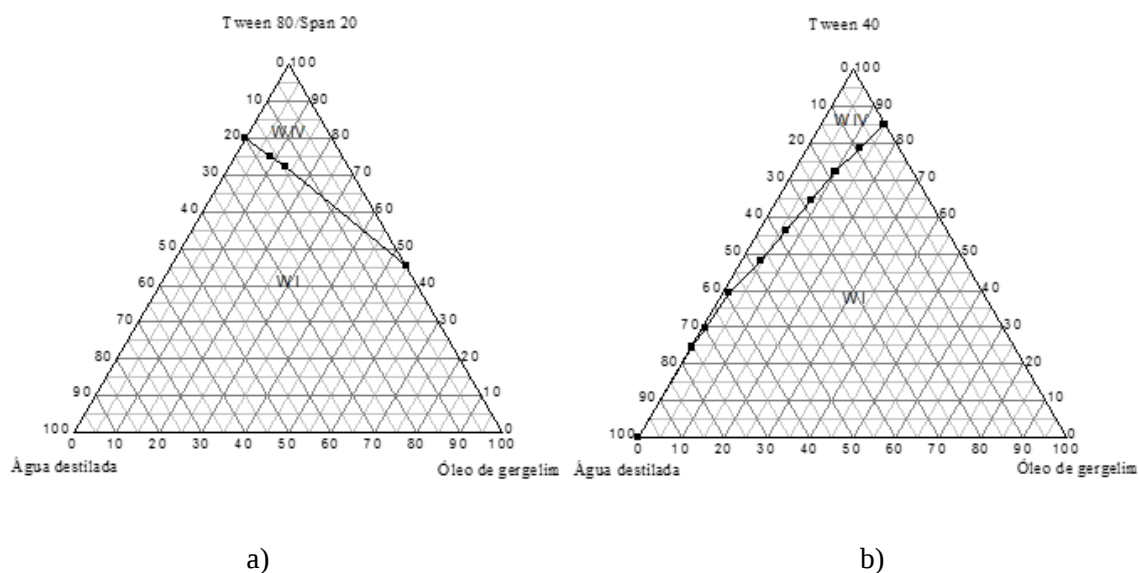


Figura 1. a) Diagrama pseudoternário, obtido utilizando o tensoativo Tween 80 e o cotensoativo Span 20 numa razão C/T igual a 1; b) Diagrama ternário do SME utilizando o Tween 40 como tensoativo.

Fonte: Elaborada pelos autores

Na Figura 2a encontra-se o SME1, constituído de Tween 80 como fase tensoativo. Destacamos uma faixa referente ao sistema monofásico (Winsor IV). Observa-se que se trata de uma região de microemulsão que pode ser rica em água, caracterizando a formação de micelas diretas, dispersas no meio aquoso do tipo O/A (gotículas de óleo dispersas em água) e rica em fase tensoativo. Neste caso, também não é possível obter microemulsões de micelas inversas (A/O), ricas em fase óleo. Fica claro que é possível trabalhar com formulações de microemulsões com baixa concentração de óleo e baixas concentrações de tensoativos. Isto é muito favorável sob o ponto de vista econômico. Podemos destacar também a aplicação desse sistema microemulsionado sob o ponto de vista ambiental, uma vez que essa formulação tem a maior concentração de água e, além disso, o tensoativo é biodegradável. Ou seja, mesmo em caso de vazamentos, os danos causados ao meio ambiente seriam extremamente reduzidos (Rodrigues, 2012). Já na Figura 2b encontra-se o SME2, constituído de Ultrol L90 e butanol, onde é possível perceber que a região de microemulsão se estreita, devido a uma menor afinidade do tensoativo e cotensoativo com a fase água e com a fase óleo. Segundo o diagrama pseudoternário, é possível obter microemulsões com elevadas composições de todos os componentes, trata-se de um sistema flexível neste ponto. Porém, pelo diagrama, percebe-se que fica mais difícil obter um sistema microemulsionado com concentrações de água acima de 80% e abaixo de 20% de tensoativo. Experimentalmente, verificou-se que as microemulsões obtidas com concentração de água em torno de 80%, tendiam a quebrar (mudança de fase) a temperatura ambiente. Neste caso, a

microemulsão perderia completamente suas características, bem como sua aplicabilidade (BARROS, 2014).

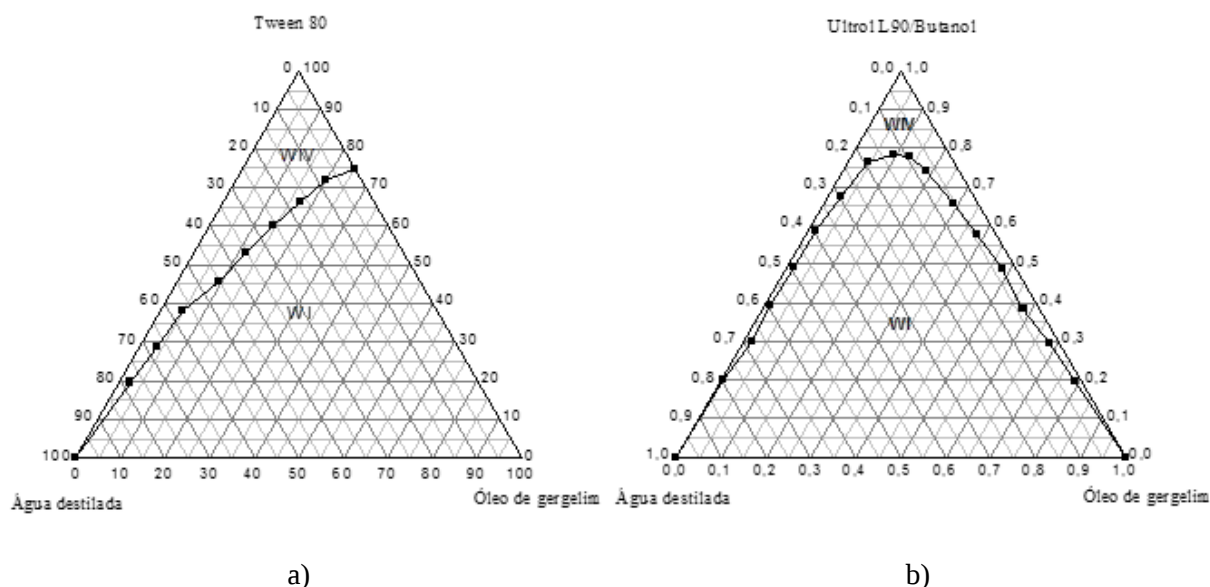


Figura 2. a) SME1, obtido utilizando o tensoativo Tween 80 e b) SME2, obtido utilizando o Ultrol L90 como tensoativo e Butanol como cotensoativo numa razão C/T=1.

Fonte: Elaborada pelos autores

### 3.2. Caracterização dos sistemas microemulsionados SME1 e SME2

A Tabela 2 traz a caracterização físico-química dos SME's. A exposição ao meio salino não influenciou a maioria dos sistemas avaliados, que se mantiveram estáveis. O aumento da salinidade diminui a hidrofilia dos tensoativos iônicos, reduz as interações eletrostáticas das cabeças polares dos tensoativos, diminuindo assim a região de microemulsão. Porém, em tensoativos não iônicos isso não ocorre, pois são pouco sensíveis à variação de salinidade do meio, o que pôde ser constatado.

Tabela 2 – Caracterização dos pontos dos SME1 e SME2 (Fonte: Elaborada pelos autores)

| Caracterização             | SME1 (Tween80) |         |          | SME2 (UltrolL90/Butanol) |          |          |
|----------------------------|----------------|---------|----------|--------------------------|----------|----------|
|                            | M1             | M2      | M3       | M1                       | M2       | M3       |
| Estudo de Salinidade       | NI             | NI      | NI       | -                        | *        | NI       |
| Estudo de Temperatura (°C) | -8↔95,5        | -8↔92   | -8↔92,5  | -                        | 2↔40,5   | 0,8↔37,5 |
| Estudo de pH               | 6,36           | 6,23    | 5,97     | -                        | 5,29     | 5,31     |
| Diâmetro de partícula (nm) | 8,8±0,1        | 9,9±0,1 | 10,8±0,1 | -                        | 14,2±0,8 | 16,8±0,8 |
| Índice de polidispersão    | 0,183          | 0,239   | 0,261    | -                        | 0,228    | 0,311    |
| Viscosidade (cP)           | 4              | 6       | 15       | 4                        | 5        | 6        |
| Tensão Superficial (mN/m)  | 34,09          | 33,67   | 33,02    | 25,61                    | 25,24    | 25,22    |

NI: Não influenciou a estabilidade do sistema; \*Sistema turvou; SME2-M1:ponto totalmente instável

O sistema SME1 se mostrou muito resistente quanto à variação de temperatura, estável mesmo a baixíssimas (-8°C) e elevadas temperaturas (95,5°C), o que está de acordo para soluções de tensoativos com elevado grau de etoxilação, sendo bastante solúvel em água mesmo em condições extremas de temperatura (BARROS, 2014). Esta característica do SME1 é excelente, pois amplia o campo de utilização dessas microemulsões. O pH dos sistemas avaliados variou entre 5,29 e 6,36, o que está de acordo com ROBERTO *et al.* (2013). Quanto ao diâmetro de partícula, percebe-se um

aumento do diâmetro com o aumento da concentração do tensoativo, o que é justificado pelo maior número de moléculas no meio. No caso do SME2, onde foram encontrados os maiores diâmetros de partícula, mesmo sendo composto por tensoativo não iônico, há repulsão Coulombiana entre as cabeças do tensoativo devido ao seu elevado grau de etoxilação, conferindo certa polaridade às moléculas desses tensoativos. O SME1-M1 apresentou o menor diâmetro de partícula (8,8 nm), sendo, teoricamente, o mais interessante para aplicação como inibidor de corrosão, pois teria um melhor empacotamento e recobriria totalmente a superfície metálica. Todos os pontos apresentaram diâmetros de partícula característicos de SME. Todos os sistemas avaliados apresentaram um baixo índice de polidispersão, isso significa uma maior uniformidade no diâmetro da micela. Ainda de acordo com a Tabela 2, viscosidade das amostras aumentou com a concentração de tensoativo nos SME, variando de 4 a 6 cp, com exceção do SME1-M3, onde o valor encontrado foi de 15 cp. Essa faixa de 4 a 6 cp é considerada normal para SME. A elevada viscosidade do SME1-M3 pode ser explicada em função da alta concentração do tensoativo Tween 80 no SME, uma vez que este tensoativo possui elevada viscosidade, o que contribuiu para a formação de um SME de alta viscosidade. Em relação à tensão superficial, as formulações do SME2 apresentaram resultados muito satisfatórios, da ordem de 25 mN/m, considerada uma baixa tensão superficial, o que é excelente para sistemas que tenham aplicação como inibidor de corrosão, pois recobrem e isolam o metal do meio corrosivo.

### 3.3. Estudo Reológico

A Figura 3 mostra o comportamento reológico do SME1-M3 e SME2-M3, onde a viscosidade se manteve constante, independentemente da tensão cisalhante aplicada. Segundo BARROS (2014), microemulsões podem sofrer deformações ou até mesmo quebrar (mudança de fase) mediante ação de uma tensão cisalhante. Os pontos SME1-M3 e SME2-M3 se comportaram muito bem quando submetidos à tensão cisalhante, havendo uma deformação linear, mantendo a viscosidade dos SME's constante, típico de Fluido Newtoniano.

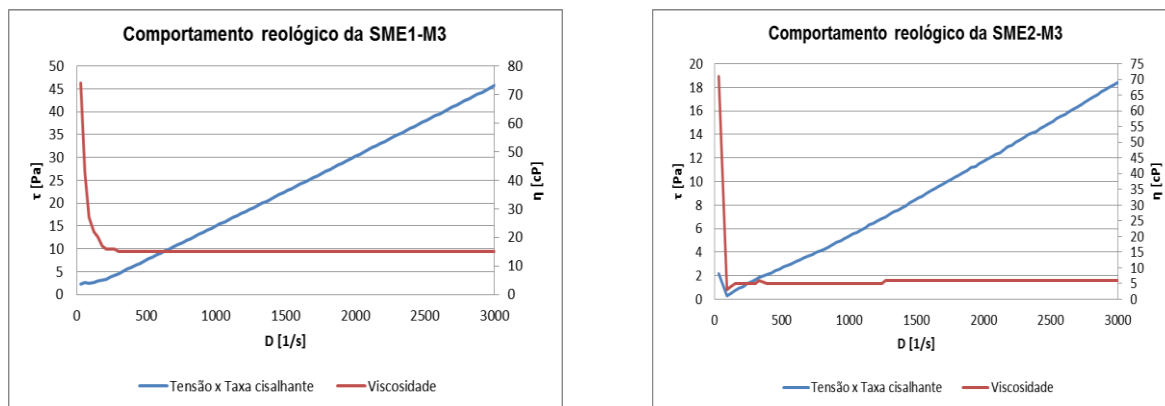


Figura 3 - Comportamento reológico das microemulsões SME1-M3 e SME2-M3

Fonte: Elaborada pelos autores

### 4. Conclusões

A estabilidade termodinâmica dos sistemas é essencial para a aplicação como inibidores de corrosão, e para que estes possam cumprir a sua função da melhor forma possível. A caracterização físico-química não deixa dúvida que os pontos do SME1 e do SME2 realmente se tratam de sistemas microemulsionados. Nesse sentido, podem ser aplicados como inibidores de corrosão, pois possuem a capacidade de adsorção em superfícies metálicas e são estáveis em sistemas diluídos (exceção dos pontos SME2-M1 e SME2-M2, todos os demais pontos foram extremamente estáveis em baixas concentrações de tensoativos e frente ao meio salino), ricos em fase aquosa. Porém, o SME1, formulado utilizando o Tween 80 como tensoativo, apresenta algumas desvantagens em comparação

com o SME2, formulado com o Ultrol L90/butanol. Devido à elevada viscosidade, o Tween 80 ao ser misturado com água forma um gel. Este gel por sua vez se solubiliza na fase água lentamente a temperatura ambiente, necessitando de aquecimento (75°C) sob agitação durante 40 minutos para que a condição de microemulsão seja estabelecida. O SME2, por sua vez, se forma instantaneamente ao misturar os constituintes da microemulsão. Os SME's obtidos a partir do Tween 40 e do Tween 80/Span 20 não se mostraram interessantes para formulação de sistemas diluídos, pois apresentaram uma restrita região de microemulsão, impossibilitando sua utilização como inibidores de corrosão. Exposto isso, dentre os sistemas formulados, o ponto SME2-M3 é mais adequado para uma futura aplicação como inibidor de corrosão devido a ser o mais estável quando diluído em água e por possuir baixíssima tensão superficial, excelente característica para este fim, tendendo a recobrir um percentual maior da superfície metálica, além de ser de fácil obtenção.

## 5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Tensoativos do Instituto de Química e ao Núcleo de Pesquisa em Petróleo e Gás (NUPEG PRH-ANP 14) da Universidade Federal do Rio grande do Norte pelo suporte técnico.

## 6. Referências Bibliográficas

BARROS, R. M. **Influência da densidade de carga e da massa molar da poliacrilamida na reologia de sistemas microemulsionados**. 2014. 125f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Instituto de Química. Programa de Pós-graduação em Química, Natal-RN.

CARVALHO, R.H.R. *et al.* Extraction, fatty acid profile and antioxidant activity of sesame extract (*Sesamum Indicum L.*). **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v.29, n.2, p.409-420, Apr./June 2012.

DANTAS, T.N.C. *et al.* Microemulsion System as a steel corrosion inhibitor. **Corrosion**, v.58, n.9, p.723-727, Sept. 2002.

LIANG, M.T. *et al.* Separation of sesamin and sesamolin by a Supercritical Fluid-Simulated Moving Bed. **American Journal of Analytical Chemistry**, v.3, p.931-938, Dec. 2012.

QURAIISHI, M.A. *et al.* Green approach to corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid and sulphuric acid solutions by the extract of *Murraya koenigii* leaves. **Materials Chemistry and Physics**, v.122, n.1, p.114-122. July 2010.

ROBERTO, E. C. *et al.* The effect of type of self-assembled system and pH on the efficiency of corrosion inhibition of carbon-steel surfaces. **Progress in Organic Coatings**, v.76, n.10, p.1308-1315, Oct. 2013.

WANDERLEY NETO, A.O. *et al.* Recent advances on the use of surfactant systems as inhibitors of corrosion on metallic surfaces. **The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection**, p.479-508, 2014.

ZHU, Y.; FREE, M. L.; CHO, J. Integrated evaluation of mixed surfactant distribution in water-oil-steel pipe environments and associated corrosion inhibition efficiency. **Corrosion Science**, v.110, p.213-227, Sept. 2016.