



Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
-----	--

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

CAPÍTULO 7	53
DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	
Helena Pletsch Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias Marcos Rogério Mafra	
DOI 10.22533/at.ed.3711903047	
CAPÍTULO 8	59
ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO	
Rebeca Albino de Jesus Ezequiel José da Silva Honorato Fábio George Nogueira Cruz José Nilton Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903048	
CAPÍTULO 9	73
COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX	
Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia Rosilanny Soares Carvalho Anna Clara Marques de Queiroz João Carlos Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.3711903049	
CAPÍTULO 10	80
ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE <i>KRAFT</i>	
Jamilly Marques Gasparoni Cássia Regina Santos Nunes Almeida Gustavo Matheus de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.37119030410	
CAPÍTULO 11	96
PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ	
Vitor Alves Garcia Fran Sérgio Lobato Luiz Gustavo Martins Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.37119030411	
CAPÍTULO 12	111
SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Marcelo da Silva Pedro Jonas Laedson Marinho da Silva Santos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030412	

CAPÍTULO 13	119
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍTICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Sílvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
Alex da Silva Sirqueira Monica Cristina dos Santos Vieira Monica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
Hugo Perazzini Maise Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO

Amanda Brito de Carvalho

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB

Fabiola Dias da Silva Curbelo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rio de Janeiro - RJ

Elayne Andrade Araújo

Universidade Federal da Paraíba
Guarulhos - SP

Alfredo Ismael Curbelo Garnica

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Santa Clara, província de Villa Clara (Cuba).

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo obter sistemas microemulsionados em diferentes concentrações de NaCl (1, 2 e 3% em massa) e analisar as características reológicas e térmicas desses SME, de modo a garantir a viabilidade do seu uso em EOR. O tensoativo utilizado foi o Ultranex NP100 (U100), a fase aquosa foi glicerina solubilizada em água (1:1 m/m) e a fase oleosa, um óleo vegetal. Os diagramas ternários foram construídos pelo método da titulação volumétrica; os ensaios reológicos foram realizados nas temperaturas de 30 a 70°C e as análises termogravimétricas foram realizadas de 25 a 600°C. Nos diagramas, foi possível observar regiões de Winsor tipo IV e tipo I, em que a região de microemulsão não

foi fortemente influenciada pela salinidade. O SME com 1% de NaCl m/v foi classificado como fluido newtoniano em todas as temperaturas avaliadas; e os SME com 2 e 3% de NaCl m/v se comportaram como fluidos não newtonianos a 30°C, ajustando-se ao modelo de Herschel-Bulkley, e como fluidos newtonianos nas demais temperaturas; além disso, todos os SME apresentaram medidas satisfatórias de viscosidade. As curvas de termogravimétricas atreladas ao ponto de turbidez (~51,9°C) mostraram que as microemulsões analisadas podem ser aplicadas a poços com temperaturas de até 55°C; além disso, a tensão superficial obtida para os três SME (~56,6 D/cm) foi suficientemente baixa. Assim, os SME à base de glicerina possuem potencial para serem aplicados em EOR em poços de petróleo com viscosidades variadas, temperatura de até 55°C e salinidade de até 3%.

PALAVRAS-CHAVE: Microemulsão. Recuperação avançada de petróleo. Reologia. Termogravimetria. Ponto de turbidez.

ABSTRACT: The objective of this work was to obtain microemulsion systems for 1, 2 and 3% w/v of NaCl and to analyze rheological and thermal characteristics of these SMEs, in order to guarantee the viability of their use in EOR. The surfactant used was Ultranex NP100 (U100), the aqueous phase was glycerin solubilized in

water (1:1) and the oil phase was vegetable oil. The diagrams were constructed by the volumetric titration method; the rheological tests were performed at temperatures of 30 to 70 ° C and the thermogravimetric analyzes were performed from 25 to 600 ° C. In the diagrams, it was possible to observe regions of Winsor IV and I, in which the region of microemulsion did not suffer great influences with the increase of the salinity. The SME with 1% NaCl w/v was classified as newtonian fluid at all temperatures evaluated; and SME's with 2 and 3% NaCl w/v behaved as non-newtonian fluids at 30 ° C, adjusting to the Herschel-Bulkley model, and as newtonian fluids at the other temperatures; in addition, all SME showed high viscosity measurements. The TG curves attached to the turbidity point (51.9 ° C), showed that the microemulsions analyzed can be applied to wells with temperatures of up to 55 ° C; moreover, the surface tension obtained for the three SMEs (56.6 D / cm) was sufficiently low. Thus, glycerol-based SMEs have potential to be applied in EOR in wells up to 55 ° C, salinity up to 3% and varying viscosities.

KEYWORDS: Microemulsion. Advanced oil recovery. Rheology. Thermogravimetry. Cloud point.

1 | INTRODUÇÃO

Os métodos convencionais de recuperação de petróleo apresentam algumas desvantagens devido às baixas eficiências de deslocamento e, portanto, baixas recuperações, visto que o fluido injetado no reservatório não consegue deslocar o óleo do meio poroso devido às altas tensões interfaciais. (Lima, 2013).

Dentre os métodos especiais de recuperação, o método químico vem se mostrando muito eficiente, seja com a injeção de tensoativos ou de sistemas microemulsionados (Kumar e Mandal, 2016; Budhathoki et al., 2016). A utilização de sistemas microemulsionados consegue minimizar, de maneira significativa, as diferenças interfaciais entre água e óleo, o que melhora a eficiência de deslocamento do óleo no meio poroso (Thomas, 2004).

Estimativas a respeito da porcentagem de óleo recuperado através de métodos convencionais têm conduzido a um fator de recuperação de cerca de 30%, ou seja, de todo o óleo descoberto, apenas 30% pode ser recuperado por estes métodos (Thomas, 2004, Curbelo, 2007 e 2008), de modo que um grande percentual de óleo permanece retido no meio poroso.

Com isso, o objetivo dos métodos especiais é atuar na parcela correspondente a 70% do óleo, que é o volume percentual médio restante nos reservatórios após a recuperação convencional. Dessa forma, o estudo de sistemas microemulsionados realizados neste trabalho se faz importante na tentativa de melhorar a eficiência da recuperação de petróleo.

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para a construção dos diagramas ternários, foram utilizados: o tensoativo não iônico Ultranex NP100 (U100) cedido pela Oxiteno e utilizado sem purificação, um óleo vegetal como fase oleosa e a glicerina com 1, 2 e 3% de NaCl em massa como fase aquosa. Devido a maior influência do NaCl na redução da solubilidade do tensoativo em água, quando comparado aos sais KCl e MgCl₂ (CURBELO, 2006) e, conseqüentemente, na redução da região de microemulsão, outros sais não foram utilizados como sal inorgânico na construção dos diagramas.

2.2 Obtenção dos diagramas ternários

Para a construção do diagrama, foi adicionado 1 g de dois dos componentes - com proporções mássicas conhecidas - em um tubo de ensaio. Em seguida, iniciou-se a titulação com o terceiro componente, até o surgimento de qualquer região; após o aparecimento de uma nova fase, a fração mássica do terceiro componente era determinada.

2.3 Ensaio Reológico

Os parâmetros reológicos foram determinados através do reômetro Brookfield LVDVIII Ultra. A amostra foi colocada no recipiente do reômetro e submetida a um torque suficiente para manter a rotação do spindle CP51 imerso na amostra. A faixa de rotação foi de 0 a 90 rpm, nas temperaturas de 30 a 70°C, variando a cada 10°C.

2.4 Tensão interfacial

As medidas de tensão interfacial das microemulsões foram determinadas através do Tensiômetro SensaDyne. O método foi o da pressão máxima da bolha, em que gás nitrogênio é bombeado por dois capilares de diâmetros diferentes. Os capilares são imersos no fluido e a frequência de borbulhamento do gás é determinada. O bombeamento do nitrogênio através desses dois capilares produz um diferencial de pressão (ΔP) que é diretamente relacionado com a tensão superficial do fluido.

2.5 Ponto de turbidez

A temperatura correspondente ao ponto de turbidez foi obtida visualmente através da turbidez do sistema microemulsionado, que ocorria mediante variações na temperatura de aproximadamente 2°C/min. As soluções foram mantidas em agitação e aquecidas por Agitador Magnético com controle de temperatura. A temperatura foi medida por Thermometer Hanna com sensor de temperatura interligado ao Termopar.

2.6 Análise termogravimétrica

As curvas termogravimétricas (TG) foram obtidas em um módulo termogravimétrico da série C305746 (TA – Instruments), na razão de aquecimento de 10°C/min até 600°C, com atmosfera de nitrogênio em fluxo de 50 mL/min. As massas das amostras analisadas foram pesadas em cadinho de alumina e a referência utilizada foi o óxido de alumínio (Al_2O_3).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Microemulsões

As Figuras 1-3 mostram os diagramas determinados para o sistema ternário: U100 (tensoativo), óleo vegetal (fase oleosa) e glicerina (fase aquosa). A diferença entre os 3 diagramas está na percentagem em massa de NaCl presente na fase aquosa (1, 2 e 3% m/v).

Todos os três diagramas apresentaram duas regiões: uma de uma única fase de microemulsão (WIV) e outra com duas fases, microemulsão e fase oleosa em excesso na parte superior (WI). O aumento da concentração do sal (1, 2 e 3% de NaCl em massa), entretanto, não provocou mudanças significativas na região de microemulsão. Isso aconteceu, provavelmente, pelo fato do Ultranex NP100 ser um tensoativo não-iônico e apresentar baixa interação com os íons Na^+ e Cl^- .

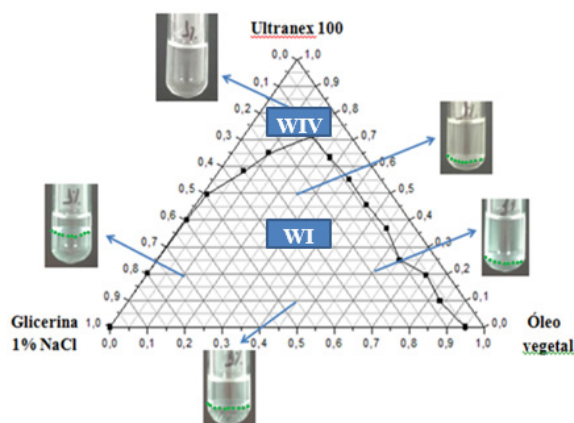


Figura 1 - Diagrama ternário para o sistema 1: U100, óleo vegetal e glicerina 1% NaCl.

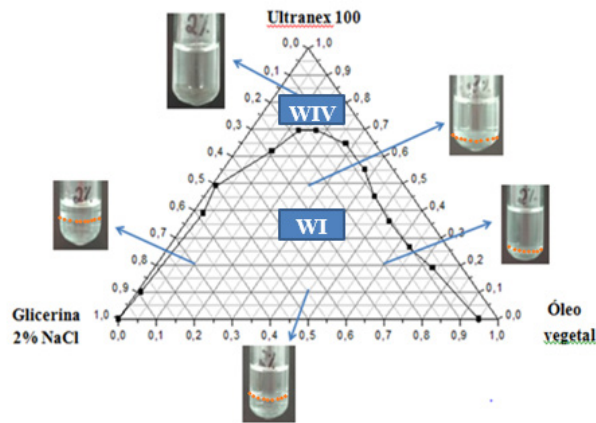


Figura 2 - Diagrama ternário para o sistema 2: U100, óleo vegetal e glicerina 2% NaCl.

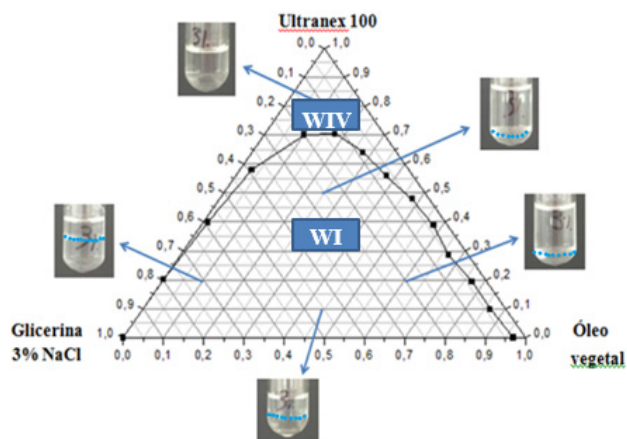


Figura 3 - Diagrama ternário para o sistema 3: U100, óleo vegetal e glicerina 3% NaCl.

3.2 Reologia

Dentre os diagramas mostrados anteriormente, o ponto escolhido para o ensaio reológico pertence à região de microemulsão, pois o SME utilizado em EOR deve apresentar somente uma fase.

O ponto utilizado para o estudo reológico contém 80% de U100, 10% de óleo vegetal e 10% de glicerina com 1, 2 e 3% em massa de NaCl. Como a base de cálculo utilizada foi de 2 g, o sistema continha: 1,6 g de U100 (800 g/L, 2500 vezes acima da CMC), 0,2 g de óleo vegetal e 0,2 g de glicerina com 1, 2 e 3% em massa de NaCl.

As microemulsões com 1, 2 e 3% de NaCl em fase aquosa são chamadas de sistemas 1, 2 e 3, respectivamente. Os resultados de tensão de cisalhamento (D/cm^2) em função da taxa de cisalhamento ($1/s$) e de viscosidade ($10^{-3} Pa.s$) em função da taxa de cisalhamento ($1/s$) e para estes sistemas estão representados nas Figuras 4 a 9.

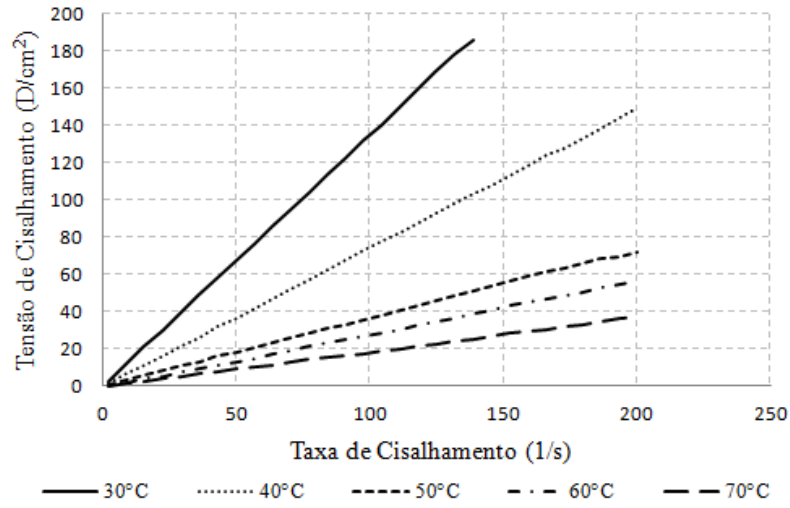


Figura 4 - Tensão de Cisalhamento versus Taxa de Cisalhamento para o sistema 1.

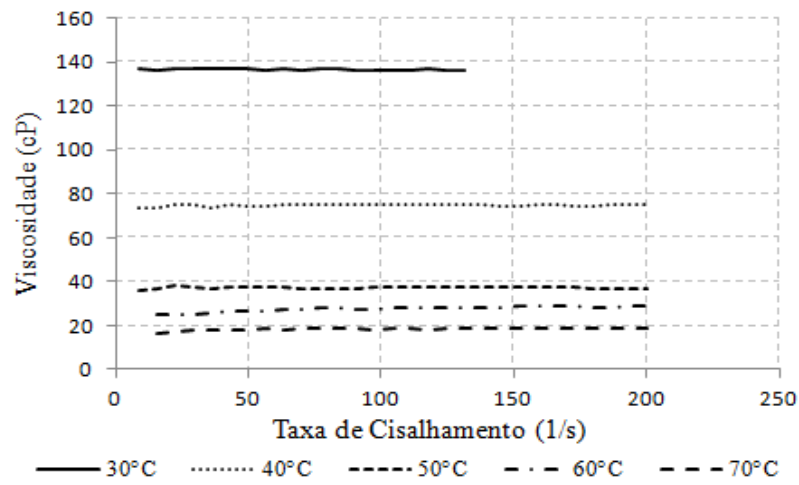


Figura 5 - Viscosidade versus Taxa de Cisalhamento para o sistema 1

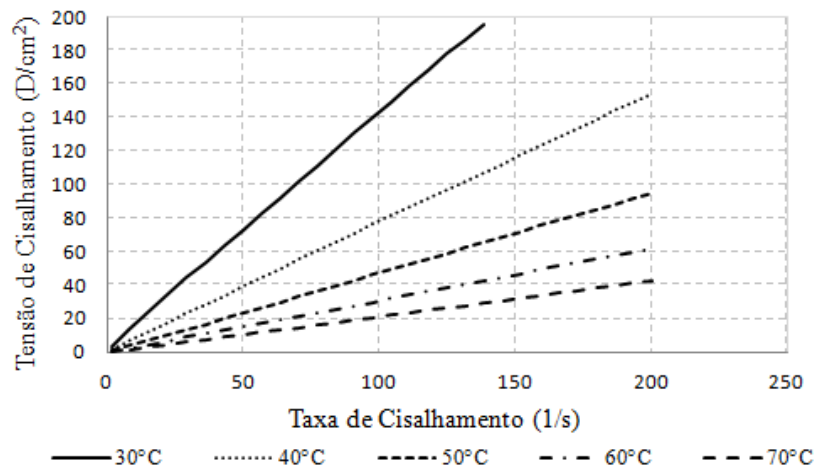


Figura 6 - Tensão de Cisalhamento versus Taxa de Cisalhamento para o sistema 2.

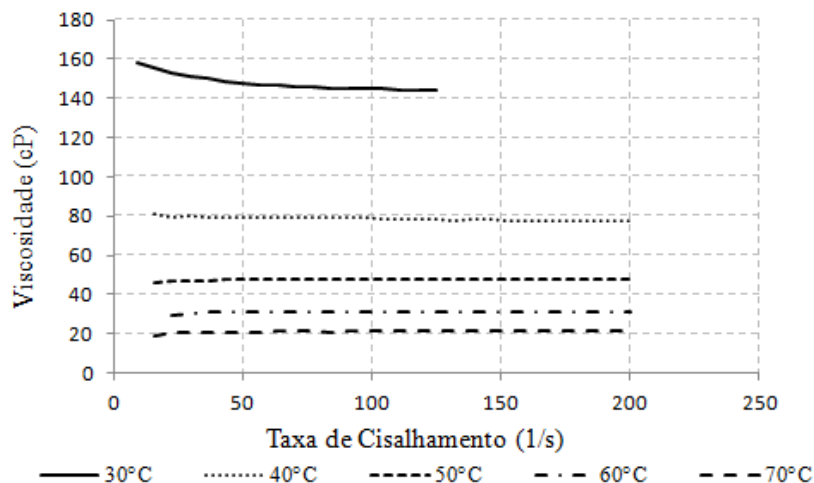


Figura 7 - Viscosidade versus Taxa de Cisalhamento para o sistema 2.

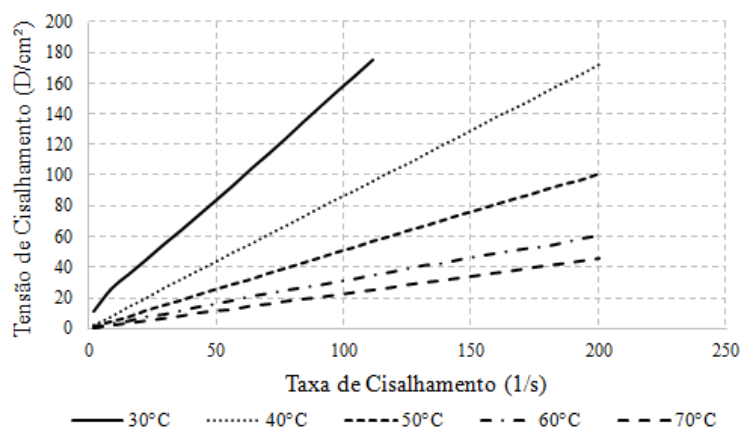


Figura 8 - Tensão de Cisalhamento versus Taxa de Cisalhamento para o sistema 3

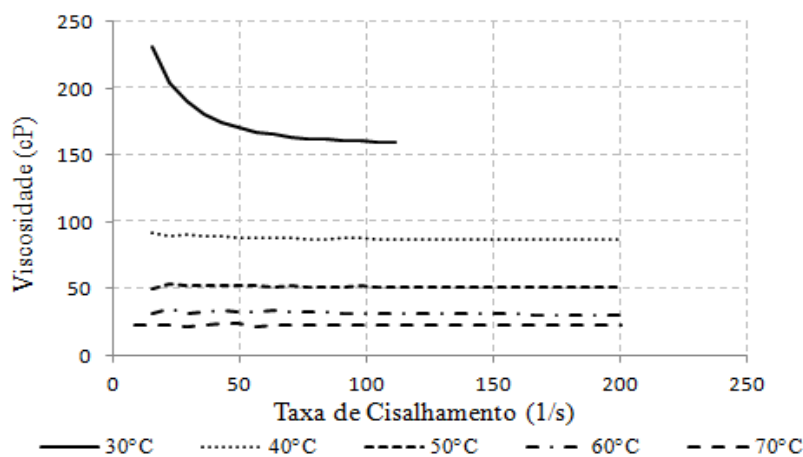


Figura 9 - Viscosidade versus Taxa de Cisalhamento para o sistema 3

Conforme os dados apresentados nas Fig. 4 e 5, foi possível classificar o fluido do sistema 1 como newtoniano em todas as temperaturas avaliadas (30, 40, 50, 60 e 70°C). Já para os sistemas 2 e 3, conforme as Fig. 6 a 9, o fluido foi classificado como não-newtoniano (pseudoplástico com limite de escoamento) para a temperatura de 30°C; ajustando-se ao modelo de Herschel Bulkley, e newtoniano para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.

Os termos da equação de Herschel-Bulkley para os sistemas 2 e 3 a 30°C estão

representados na Tabela 1.

	R^2	t_0 (N/m ²)	N	K
Sistema 2	1,0	10×10^{-3}	0,9545	1,76
Sistema 3	0,9979	$8,0 \times 10^{-1}$	0,92	2,15

Tabela 1 - Termos da equação de Herschel-Bulkley para os sistemas 2 e 3 a 30°C

Os fluidos newtonianos, como foi possível observar nas Fig. 4 a 9, são caracterizados pela proporcionalidade entre tensão cisalhante e taxa de cisalhamento, de modo que a sua viscosidade seja única e absoluta para dada temperatura, não dependendo do gradiente de velocidade.

Ainda em relação à viscosidade, foi possível observar que a mesma é fortemente influenciada pela temperatura, pois com o aumento da temperatura, ocorreu a diminuição da viscosidade, visto que a agitação das moléculas de maneira desordenada aumenta a distância entre as micelas adjacentes; o decaimento da viscosidade como aumento da temperatura pode ser observado nos sistemas 1, 2 e 3.

Na intenção de avaliar o efeito da concentração de NaCl na viscosidade dos sistemas microemulsionados, foram plotados os valores de viscosidade em função da taxa de cisalhamento para os SME com 1, 2 e 3% de NaCl m/v a cada temperatura (30, 40, 50, 60 e 70°C), conforme pode ser observado nas Fig. (10 a 14).

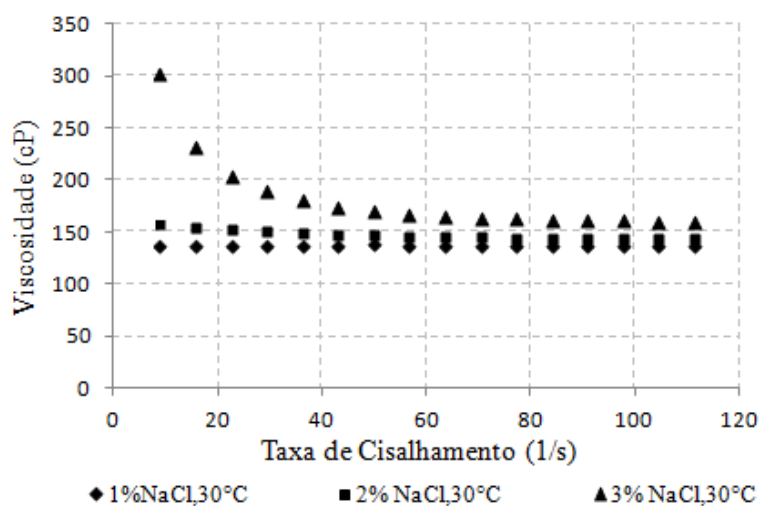


Figura 10 - Influência da concentração de NaCl na viscosidade a 30°C

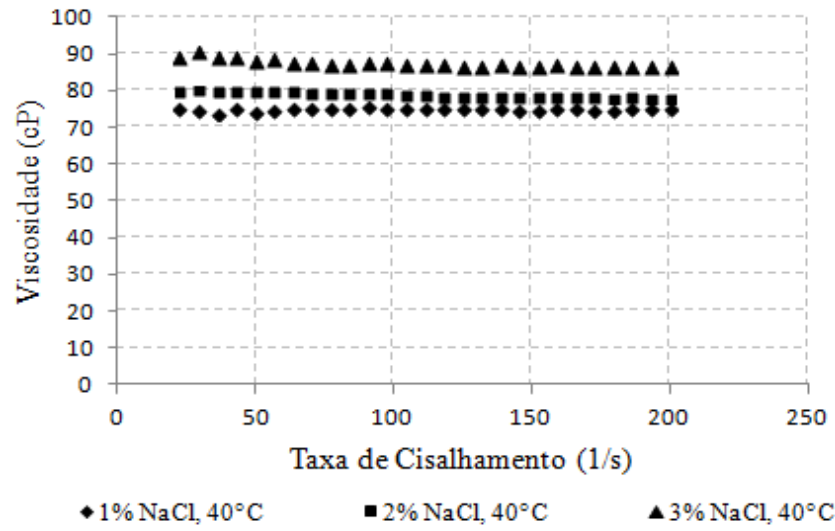


Figura 11 - Influência da concentração de NaCl na viscosidade a 40°C

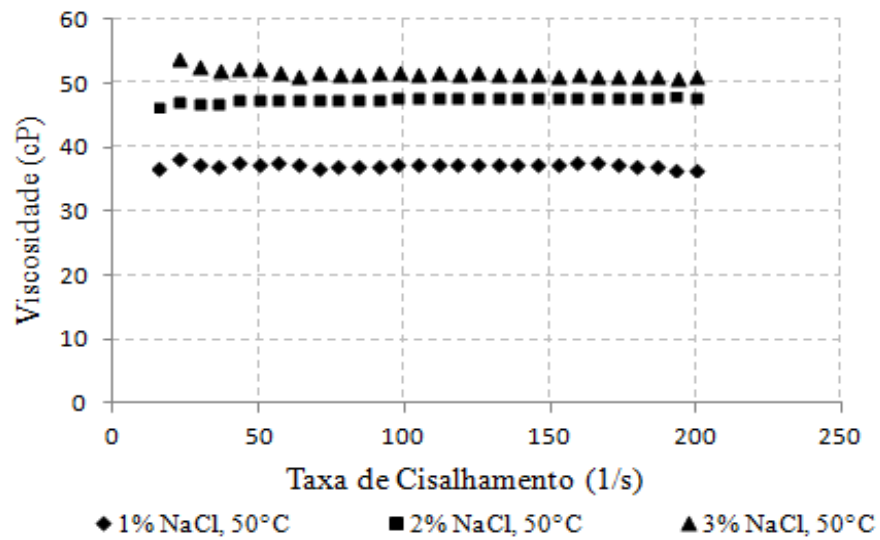


Figura 12 - Influência da concentração de NaCl na viscosidade a 50°C.

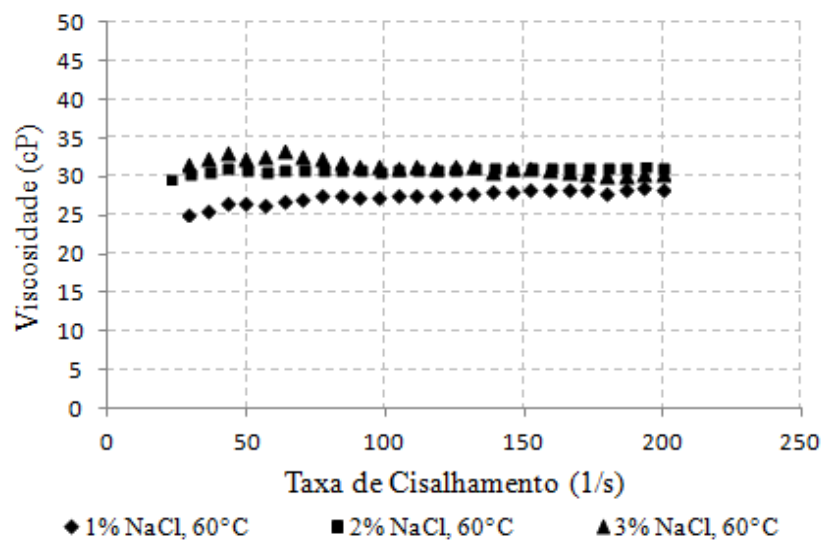


Figura 13 - Influência da concentração de NaCl na viscosidade a 60°C

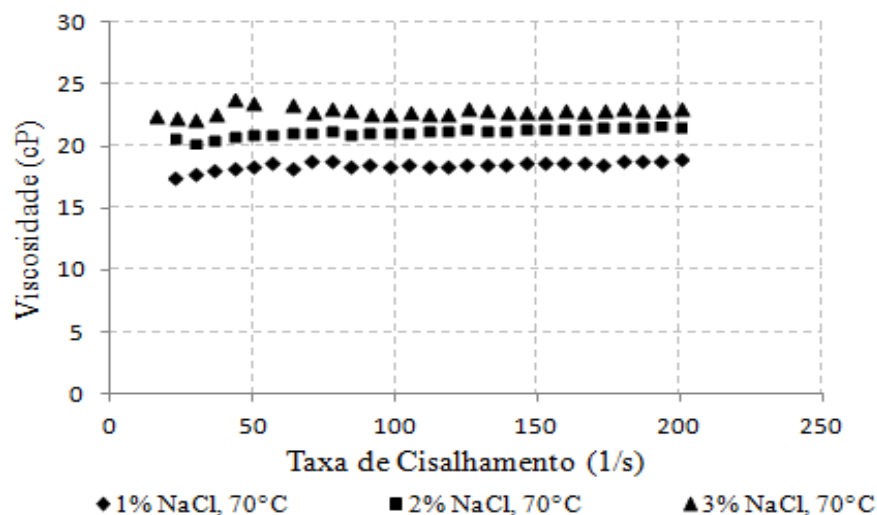


Figura 14 - Influência da concentração de NaCl na viscosidade a 70°C

As Fig. 10 - 14 mostraram que, para os SME estudados, houve um incremento na viscosidade com o aumento da porcentagem de NaCl (1, 2 e 3% m/v). Este comportamento pode ser explicado considerando que, como já observado no trabalho de FERREIRA (2011), a presença do sal altera (distorce) a estrutura micelar, fazendo com que as micelas tomem forma cilíndrica e tenham o seu movimentado reduzido/restrito, de modo a elevar a viscosidade.

Dessa forma, a presença do sal no SME não confere características negativas, mas positivas ao sistema, uma vez que, o aumento da viscosidade facilita o deslocamento do óleo no meio poroso e elimina as chances de o fluido encontrar caminhos preferenciais.

Os dados das Fig. 10 – 14 foram agrupados na Tabela 2, que mostra os valores das viscosidades médias obtidas para os SME 1, 2 e 3 nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C e taxa de cisalhamento de 0 até 200 s⁻¹.

SME 1	30°C	136,71 cP
	40°C	75,07 cP
	50°C	37,27 cP
	60°C	27,79 cP
	70°C	18,05 cP
SME 2	30°C	146,34 cP
	40°C	78,59 cP
	50°C	47,65 cP
	60°C	31,08 cP
	70°C	21,23 cP
SME 3	30°C	165,94 cP
	40°C	87,405 cP
	50°C	51,56 cP
	60°C	31,6 cP
	70°C	22,9 Cp

Tabela 2 - Valores médios de viscosidades para os SME 1, 2 e 3 nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C.

Os valores de viscosidades obtidos para os SME à base de glicerina foram altos comparados aos valores encontrados por Soares (2016), que realizou ensaios de EOR com microemulsões aditivadas com polímero. O óleo a ser recuperado era proveniente da Bacia Potiguar do campo de Ubarana e tinha viscosidade de 15,69 cP (extraleve) a 30°C. O sistema que apresentou maior fator de recuperação foi a microemulsão com presença de sal (KCl) e 0,5% de polímero, cuja viscosidade era de 31,617 cP a 30°C.

Os SME 1, 2 e 3, por sua vez, apresentaram viscosidades muito mais elevadas, quando comparados com SOARES (2016) (Tabela 2), sendo, portanto, aplicáveis a poços de óleos extraleves (viscosidade de até 50 cP), leves (viscosidade de 50 cP a 100 cP) e alguns poços de óleos pesados (viscosidade superior a 100 cP), com alto potencial de se obter bons fatores de recuperação. Além disso, a alta viscosidade dos SME 1, 2 e 3 é decorrente do uso da glicerina, o que dispensa a necessidade da utilização de polímeros.

3.3 Ponto de Turbidez e Tensão Superficial

O ponto de turbidez e a tensão superficial são importantes parâmetros no que diz respeito à recuperação de petróleo, pois, no momento em que se alcança o ponto de turbidez, havendo a separação em duas fases (diluída e coacervato), a fase coacervato (rica em tensoativo) pode se adsorver na rocha reservatório, o que diminui a eficiência na recuperação avançada de petróleo. Além disso, deseja-se que o sistema utilizado na recuperação possua baixas tensões interfaciais para facilitar o deslocamento do óleo dos poros da rocha, aumentando a eficiência de varrido. Os resultados de ponto de turbidez e tensão interfacial dos sistemas 1, 2 e 3 estão representados na Tabela 3.

	Tensão interfacial (D/cm)	Ponto de turbidez (°C)
Sistema 1	56,6	52,4
Sistema 2	56,9	51,8
Sistema 3	56,3	51,5

Tabela 3 - Tensão superficial e ponto de turbidez para os sistemas 1, 2 e 3

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que o sal (NaCl) não influenciou de modo significativo nas tensões superficiais e nos pontos de turbidez dos sistemas microemulsionados; que o ponto de turbidez, acima de 50°C, é satisfatório para a aplicação em recuperação de petróleo, pois está próximo da temperatura média dos poços (~55°C); e que as baixas tensões superficiais (inferiores à da água 72 D/cm) facilitam a retirada de óleo dos poros das rochas reservatório.

3.4 Análise Termogravimétrica

O ponto ternário selecionado para as análises termogravimétricas foi o mesmo ponto utilizado para o ensaio reológico: 80% de U100, 10% de óleo vegetal e 10% de

glicerina com 1, 2 ou 3% em massa de NaCl.

Os resultados das análises termogravimétricas, representados nas Figuras 15-18, mostraram que todos os componentes do SME, incluindo, conseqüentemente, a própria microemulsão, apresentaram temperaturas de degradação acima da temperatura média dos poços (~55°C), o que é bastante satisfatório.

A temperatura de degradação (evaporação) do óleo vegetal ficou compreendida entre 80°C e 160°C (Fig.15), enquanto que, para o tensoativo U100 a degradação ocorreu entre 300°C e 425°C (Fig.16). Já para a fase aquosa, que continha NaCl solubilizado em água e glicerina na proporção em massa de 1:1, percebeu-se que a água evaporou em um intervalo de 90°C a 120°C e a glicerina somente entre 200°C e 250°C (Fig. 17).

Dessa forma, para os SME 1, 2 e 3, foi possível observar que, primeiro tem-se a evaporação da água (90 a 120°C) e do óleo (80 a 160°C), com valores bem próximos um do outro, em seguida, a glicerina (200 a 250°C) e, por fim, a maiores temperaturas, é degradado o tensoativo U100 (300 a 425°C), como pode ser observado na Figura 18.

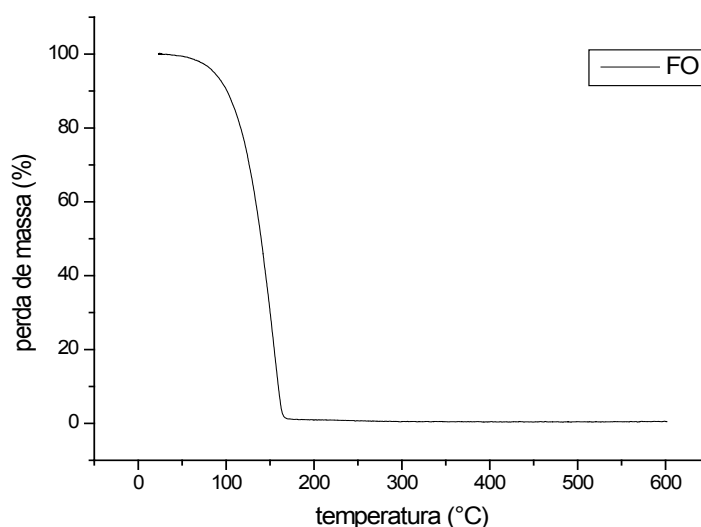


Figura 15 - Análise termogravimétrica do óleo vegetal

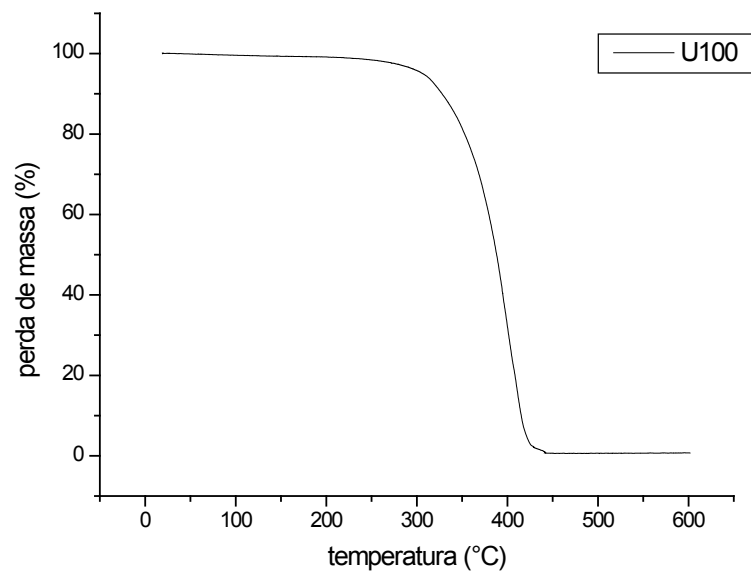


Figura 16 - Análise termogravimétrica do U100

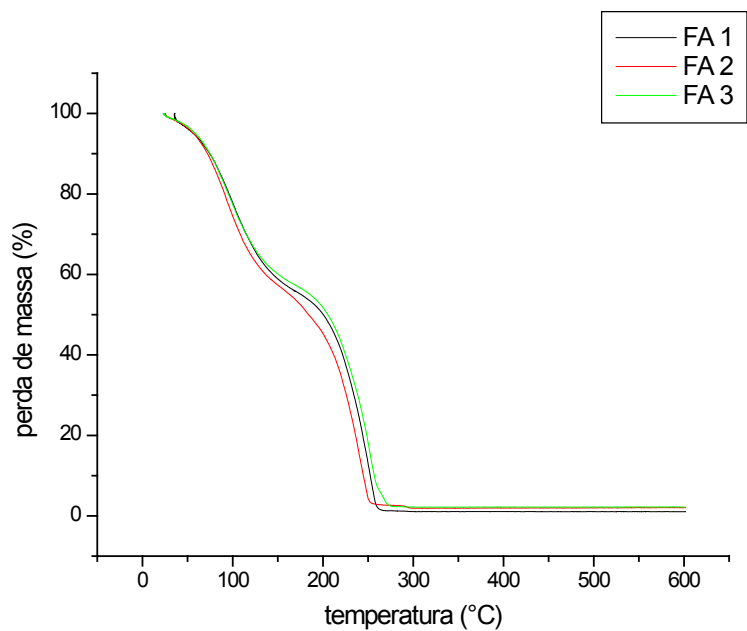


Figura 17 - Análise termogravimétrica da fase aquosa com 1, 2 e 3% de NaCl m/v

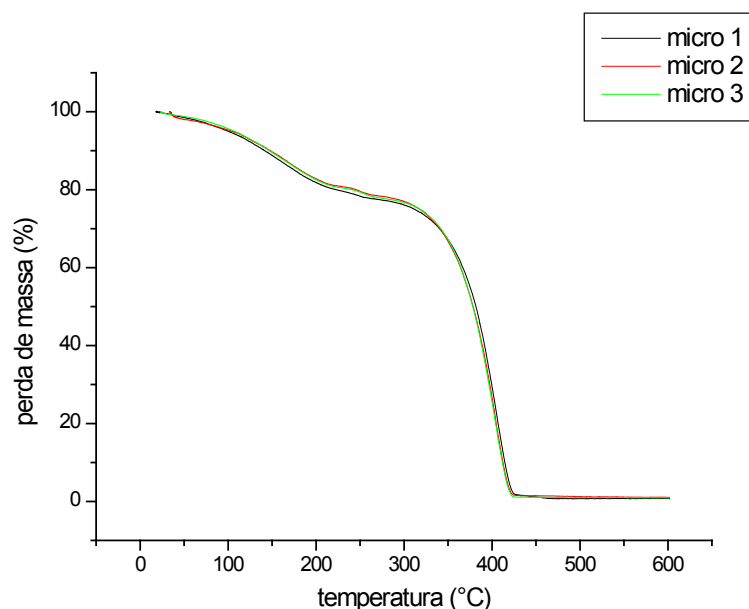


Figura 18 - Análise termogravimétrica dos SME 1, 2 e 3

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a obtenção de sistemas microemulsionados à base de glicerina, através de diagramas ternários, para e posterior avaliação do potencial destes sistemas para serem utilizados em EOR. Dentre as conclusões obtidas através da pesquisa realizada, tem-se que:

- Os diagramas ternários obtidos compostos por U100, óleo vegetal e fase aquosa com 1, 2 e 3% NaCl m/v, apresentaram duas regiões: WIV e WI. O aumento da concentração de NaCl não alterou consideravelmente a solubilidade do U100, o que é satisfatório, visto à presença de água produzida nos poços.
- O SME 1 foi classificado como newtoniano em todas as temperaturas avaliadas (30, 40, 50, 60 e 70°C). Já os SME 2 e 3, foram classificados como não newtoniano (pseudoplástico com limite de escoamento) para a temperatura de 30°C, ajustando-se ao modelo de Herschel Bulkley, e newtoniano para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.
- A tensão superficial média e ponto de turbidez médio para os SME 1, 2 e 3 foram de 56,6 D/cm e 51,9°C, respectivamente. Isto indica que os SME estudados podem ser utilizados em poços com temperaturas próximas a 55°C, sem que haja perdas de tensoativo por adsorção, e que, possivelmente, não haverá dificuldade para a retirada do óleo dos poros das rochas reservatório.
- As curvas de TG mostraram que os SME 1, 2 e 3, em todos os seus componentes, apresentaram temperaturas de degradação (evaporação) acima da temperatura média dos poços (~55°C), o que é bastante satisfatório para a aplicação em EOR, pois garante que o sistema não perderá massa durante a operação.

Dessa forma, foi possível concluir que as microemulsões à base de glicerina com 1, 2 e 3% de NaCl m/v possuem elevado potencial para serem aplicadas em recuperação avançada de petróleo em poços de viscosidades variadas, com temperatura estática de até 55°C e salinidade de até 3% m/v.

REFERÊNCIAS

- BUDHATHOKI, M. et al. **Improved oil recovery by reducing surfactant adsorption with polyelectrolyte in high saline brine.** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v.498, p. 66-73, 2016.
- CURBELO, F. D. S. **Recuperação Avançada de petróleo utilizando tensoativos.** Tese de Doutorado. Rio Grande do Norte: UFRN, 2006.
- CURBELO, F. D. S. et al. **Adsorption of nonionic surfactants in sandstone.** Colloids and Surface A: Physicochem. Eng. Aspects, v. 239, n.1, p. 1-4, 2007.
- CURBELO, F. D. S. et al. **Oil recovery performance of surfactant solutions and adsorption in sandstone.** Petroleum Science and Technology. 26, n. 1, p. 77–90, 2008.
- FERREIRA, A.F.G. et al. **O efeito do sal nas propriedades do xampu e sua relação com a estrutura micelar.** Simpósio de Base Experimental das Ciências Naturais, 2011.
- KUMAR, S. et al. **Studies on interfacial behavior and wettability change phenomena by ionic and nonionic surfactants in presence of alkalis and salt for enhanced oil recovery.** Applied Surface Science, vol. 372, p. 42-51, 2007.
- LIMA, N.M. **Métodos de Recuperação em Reservatórios Carbonáticos.** Monografia de graduação em Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: UFF, 2013.
- SOARES, A. P. J. **Influência da molhabilidade da rocha na recuperação de petróleo de reservatórios carbonáticos.** Tese de Doutorado. Rio Grande do Norte: UFRJ, 2016.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo,** Rio de Janeiro. Interciência, 2004.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-237-1

