

EFICIÊNCIA DE SISTEMAS MICROEMULSIONADOS FORMULADOS COM TENSOATIVOS E/OU FASE OLEOSA DE ORIGEM VEGETAL APLICADOS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO: UMA REVISÃO

Suelem Sá Dela Fonte¹
Cibele Costa Barreto da Silva²
Luiz Carlos Lobato dos Santos³
George Simonelli⁴

RESUMO

Sistemas microemulsionados são compostos por tensoativo, fase oleosa, fase aquosa e, em alguns casos, por um cotensoativo. As microemulsões têm sido amplamente aplicadas em diferentes atividades do ramo petrolífero como fluido de perfuração, na quebra de emulsão água-óleo, recuperação avançada e no tratamento da água produzida. Entretanto, alguns tensoativos e fase oleosa são constituídos por derivados de petróleo, os quais apresentam toxicidade ao meio ambiente. A fim de reduzir impactos ambientais ocasionados por formulações tóxicas, diversos autores têm proposto microemulsões compostas por algum composto de origem vegetal, sendo eles a fase oleosa ou o tensoativo. Assim sendo, este trabalho visa investigar microemulsões compostas por algum constituinte biodegradável aplicadas na área do petróleo. As formulações apresentadas neste estudo mostraram-se capazes de atuar na aplicação desejada. Em geral, as eficiências encontradas para formulações com constituintes biodegradáveis foram equivalentes às eficiências das microemulsões não biodegradáveis.

Palavras-chave: Microemulsão, Biodegradável, Tratamento, Recuperação, Emulsão.

INTRODUÇÃO

As atividades pertinentes à indústria do petróleo são diversas. Em meio a sua produção, armazenamento, refino e transporte acontecem diferentes processos (VERMA et al., 2021). A necessidade desse combustível fóssil contribui para sua exploração de forma massiva e rápida, podendo ocasionar diversos problemas, tais como derramamentos, contaminações, vazamentos, entre outros (LUO et al., 2020). A busca por soluções para minimizar esses impactos cresce de maneira exponencial, principalmente por métodos que apresentem grande eficácia e abrangência nas aplicações.

¹ Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal - BA, suelemdf@gmail.com;

² Graduanda pelo Curso de Engenharia de Minas/Petróleo da Universidade Federal - BA, cibelesbarreto@yahoo.com.br;

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal da Bahia - BA, lclsantos@ufba.br;

⁴ Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia - BA, gsimonelli@ufba.br

O uso de sistemas microemulsionados é uma das soluções encontradas na literatura para problemas técnicos da indústria do petróleo. Formadas por tensoativo (T), fase oleosa (FO), fase aquosa (FA) e por vezes um cotensoativo (C), as microemulsões (ME) são sistemas que reduzem a tensão interfacial entre fases polares e apolares, têm grande estabilidade termodinâmica e diversas possibilidades para escolha de sua composição, entre elas, elementos de origem vegetal (SILVA et al., 2020a). Sistemas microemulsionados são representados graficamente por um diagrama ternário ou pseudoternário (quando há presença de cotensoativo). A razão entre o cotensoativo e o tensoativo (C/T) está diretamente relacionada com o tamanho da região de microemulsão. Jesus et al. (2019) observaram através de experimentos que uma maior razão proporciona uma maior região microemulsionada. Em geral, o diagrama pseudoternário é construído pelo método da titulação mássica, no qual são fixadas massas de fase oleosa e C/T. A mistura é titulada com a fase aquosa.

As microemulsões têm apresentado diferentes potenciais na indústria do petróleo. No entanto, as microemulsões, em geral, são formuladas por tensoativos ou fase oleosa industrializados, os quais apresentam toxicidade ao meio ambiente. Pesquisas nos últimos anos têm buscado trazer componentes de origem vegetal em microemulsões para aplicação em diversas áreas da indústria do petróleo. O presente trabalho visa realizar um levantamento bibliográfico de microemulsões com componentes de origem vegetal atuando como tensoativo e/ou fase oleosa. As eficiências dos estudos realizados com substâncias biodegradáveis foram ainda comparadas as eficiências de microemulsões não biodegradáveis.

METODOLOGIA

Para elaboração deste estudo foi realizado um levantamento bibliográfico por meio de consultas às bases de dados *ScienceDirect*, *Google Acadêmico*, *Web of Science* e *Scopus*. Foram adotadas algumas estratégias de pesquisa, como a utilização de palavras-chave, período de publicação e a seleção de artigos científicos, artigos de revisão e anais de congressos. Para cada área de aplicação foram utilizadas palavras-chave relacionadas com a aplicação da microemulsão. O período de publicação foi restringido para os últimos 5 anos (2016-2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As microemulsões formuladas com tensoativos de origem vegetal têm sido aplicadas em diferentes áreas da indústria do petróleo devido as suas vantagens, tais como baixo custo, estabilidade termodinâmica, requerem poucos equipamentos, ampla diversidade de substâncias para formulações e biodegradabilidade. Diante da diversidade de aplicações e amplas vantagens, este estudo visa analisar as aplicações das microemulsões nas áreas de perfuração, tratamento de água produzida, recuperação avançada e quebra de emulsão.

1. Fluido de Perfuração

O fluido de perfuração visa resfriar e lubrificar a broca, manter a pressão do poço e estabilizar as paredes do poço por meio de sua composição química (KRISHNA et al., 2020). Os fluidos de perfuração são classificados de acordo com a sua composição em: fluido base água, fluido base óleo e fluido base ar. Os fluidos a base água tem como principal componente a água, a qual pode ser doce, dura ou salina. Os fluidos à base ar ou gás são indicados para formações produtoras com baixa pressão ou susceptíveis a formação de danos. Nesse caso, o fluido circulante é um gás ou ar (comprimido ou nitrogênio) O fluido base óleo é o mais utilizado e com maior teor de contaminantes. Isso acontece devido a sua composição química, que é basicamente uma solução de hidrocarbonetos líquidos ou derivados com água (THOMAS, 2004).

Nos últimos anos, diferentes estudos foram realizados com o objetivo de desenvolver sistemas microemulsionados para atuarem como fluidos de perfuração ou como aditivos. A Tabela 1 apresenta estudos realizados nesta temática. As palavras-chave utilizadas para pesquisas relacionadas à fluido de perfuração foram: “fluido de perfuração”, “microemulsão”, “vegetal”; e em inglês: “*drilling fluid*”, “*microemulsion*” e “*vegetable*”.

Tabela 1: Microemulsões aplicadas como fluido de perfuração (ou aditivos) de poços de petróleo

Função da ME	Composição da ME	Componente de origem vegetal	Proporções mássicas	Referência
Fluido de perfuração	Tensoativo não iônico Tween80; solução 1:1 água-glicerina; óleo de pinho	FO*	40% T* 55% FO* 5% FA	Garnica et al. (2018)

Aditivo Lubrificante do fluido de perfuração base água	solução aquosa NaCl 2% massa; óleo de pinho; tensoativo não iônico comercial (Tween 80)	FO*	70% T* 15% FA* 15% FO*	Garnica et al.(2020)
	Água/glicerina 1:1 massa; óleo de pinho; tensoativo não iônico comercial (Tween 80)	FO*	55% T* 5% FA* 40% FO*	
Fluido de perfuração	Tensoativo não iônico (NP40 ultranex); solução aquosa 2% KCl em peso; óleo de canola	FO*	15% FO* 15% FA* 70% T* 50% FO* 10% FA* 40% T*	Soares, Garnica & Curbelo (2020)
Fluido de perfuração	Tensoativo não iônico (Ultranex NP100); água/glicerina 1:1; óleo de pinho	FO*	40% T*; 55% FA*; 5% FO*	Leal et al. (2020)
Fluido de perfuração	Tensoativo não iônico; solução aquosa de glicerina; óleo vegetal	FO*	70% FA* 25% T* 5% FO*	Sousa et al. (2020)

*T: tensoativo; FO: fase oleosa; FA: fase aquosa

Constatamos por meio da Tabela 1 que para a preparação de ME para atuação como fluido de perfuração ou aditivos, autores como Soares, Garnica & Curbelo (2020) e Leal et al. (2020) se preocuparam em obter formulações que apresentassem a menor quantidade de tensoativo possível de ser utilizada visando reduzir custos associados à produção da ME. Todas as formulações propostas apresentaram comportamentos (viscosidade, lubricidade, molhabilidade, entre outros) similares aos fluidos de perfuração, indicando assim que as mesmas podem ser aplicadas em situações reais.

Wan et al. (2011) propuseram um fluido de perfuração polimérico obtido por meio da microemulsão inversa, sem utilização de compostos biodegradáveis. Os resultados indicaram que os fluidos de perfuração poliméricos apresentaram propriedades reológicas adequadas para aplicabilidade em ambiente salino e de alta temperatura. Nesse estudo, foram utilizados

ciclohexano e dois tensoativos comerciais não iônicos. As análises experimentais foram realizadas sob a temperatura de 60 °C. Os estudos apresentados na Tabela 1 e o estudo proposto por Wan et al. (2011) obtiveram resultados promissores para aplicabilidade em situações reais. No entanto, os estudos descritos na Tabela 1 foram realizados em temperatura ambiente e obtiveram bons resultados. Desse modo, a utilização de substâncias biodegradáveis além de reduzir impactos ambientais, pode ainda minimizar custos energéticos.

2. Remoção do *filter cake*

Durante o processo de perfuração de poços, ocorre a deposição do fluido de perfuração na formação rochosa, formando os *filter cakes*. A formação ocorre de forma intencional, com a finalidade de criar uma película permeável para evitar que materiais sólidos passem para as rochas. Os *filter cakes* devem ser pouco espessos, pois sua espessura impacta diretamente na dificuldade de inserção do tubo de perfuração. Em situações de *filter cakes* com grandes espessuras, é necessário que esse excesso seja removido (ALOTAIBI et al., 2008). Atualmente, existem algumas técnicas para remoção do excesso do *filter cake*, como por exemplo, a utilização de ácidos orgânicos, enzimas (ALOTAIBI et al., 2008) e, mais recentemente, por meio de microemulsões (OKORO et al., 2018). A Tabela 2 apresenta estudos sobre remoção do *filter cake* por meio de sistemas microemulsionados formulados por fase oleosa de origem vegetal. As palavras-chave utilizadas para pesquisas relacionadas ao tratamento de água produzida foram: “*filter cake*”, “microemulsão”, “vegetal”; e em inglês: “*filter cake*”, “*microemulsion*” e “*vegetable*”.

Tabela 2: ME aplicadas a remoção do *filter cake*

Função da ME	Composição da ME	Componente de origem vegetal	Proporções mássicas	Eficiência máxima de remoção (%)	Referência
Remoção do <i>filter cake</i>	tensoativo não iônico NP100; água e glicerina 1:1; óleo vegetal 1 (não informado)	FO*	55%T 40%FO 5%FA	96	Cabral et al. (2017)
		FO*	55%T 40%FO 5%FA	82	
	tensoativo não iônico NP100; óleo vegetal 2 (não				

	informado); água e glicerina 1:1				
Remoção do <i>filter cake</i>	Solução aquosa glicerina (1:1); Óleo de pinho; Tensoativo não iônico (Tween 80)	FO*	50%FO 45%T 5%FA	50	Curbelo et al. (2018)
	Solução aquosa glicerina (1:1); Óleo de pinho; Tensoativo não iônico (Ultranex NP150)	FO*	70%FO 25%T 5%FA	100	
Remoção do <i>filter cake</i>	Óleo de castor; 2% em massa KCl em solução aquosa; Tensoativo não iônico (Ultranex NP40)	FO*	70%T 25%FO 5%FA	84	Curbelo et al. (2019)
Remoção do <i>filter cake</i>	tensoativo não iônico (Tween 80); glicerol; óleo vegetal	FO*	60% T 35%FO 5%FA	100	Araújo et al. (2020)
	Tween 80 glicerol/água 1:1; óleo vegetal	FO*	60% T 35%FO 5%FA	100	
	Tween 80 água; óleo vegetal	FO*	60%T 35%FO 5%FA	100	

*FO: Fase Oleosa; T: Tensoativo; FA: Fase Aquosa

Por meio da Tabela 2, observamos que todas as formulações microemulsionadas propostas foram capazes de remover o *filter cake*. As melhores eficiências foram encontradas por Curbelo et al. (2018) e Araújo et al. (2020), na qual conseguiram alcançar 100% de remoção do *filter*

cake. Assim sendo, constatamos que todas as formulações microemulsionadas compostas por fase oleosa de origem vegetal, apresentadas na Tabela 2, apresentaram êxito para essa aplicação.

Silva et al. (2020c) e Silva et al. (2020d) desenvolveram formulações microemulsionadas para remoção de *filter cake*, utilizando substâncias não-biodegradáveis. Em Silva et al. (2020c) a formulação proposta foi tensoativo não iônico (SDS), querosene e água destilada, enquanto Silva et al.(2020d) utilizaram querosene, água produzida, tensoativo não iônico (NSL60, NSL90 e NSL230) e 1-butanol. Ambos estudos alcançaram 100% de remoção do *filter cake*. Assim sendo, a aplicação de substâncias de origem vegetal torna-se uma alternativa viável, visto que podem alcançar a mesma eficiência das formulações não-biodegradáveis e tem a vantagem de contribuir na redução dos impactos ambientais.

3. Tratamento de água produzida

Durante o processo de produção de petróleo, a água localizada no interior da rocha reservatórios é levada para a superfície, recebendo o nome de água produzida. Essa água é composta por partículas sólidas, gases e óleo. Devido a sua composição, a água produzida deve passar por tratamentos adequados para que possa retornar ao meio ambiente sem causar impactos ambientais. Recentemente, a utilização de sistemas microemulsionados tem sido aplicada no tratamento da água produzida. A Tabela 3 apresenta estudos sobre tratamento de água produzida por meio de sistemas microemulsionados formulados por tensoativos de origem vegetal. As palavras-chave utilizadas para pesquisas relacionadas ao tratamento de água produzida foram: “água produzida”, “microemulsão”, “vegetal”; e em inglês: “*water produced*”, “*microemulsion*” e “*vegetable*”.

Tabela 3: Tratamento de água produzida por meio de sistemas microemulsionados

Composição da microemulsão	Componente de origem vegetal	Razão C/T	Condições operacionais	Eficiência máxima de remoção de óleos e graxas (%)	Referência
Sabão de coco; n-butanol; água produzida; hexano	T*	--	Centrifugação: 5 min e 2000 rpm	Acima de 94	Dantas et al. (2018)
Óleo de pinho; 2-butanol;	T* FO*	10	30 min 9:1 água produzida/ME	85 para sabão de coco	Souza et al. (2019)

sabão de coco,
 girassol e de
 soja;
 solução salina
 2% NaCl

Tensoativo
 comercial
 L1905B;
 2-butanol;
 água destilada;
 óleo de pinho

FO*

10

tempos: 30, 60 e
 90 min;
 Temperaturas:
 25, 35 e 45 °C;
 ME:10, 30 e
 50% em
 massa/óleo

97
 (50% ME;45
 °C; 90 min)

Souza et
 al.(2020)

Sabão de
 babaçu; álcool
 isoamílico;
 querosene;
 água destilada

T*

1

Temperaturas:
 40, 60 e 80 °C;
 velocidade de
 agitação: 700,
 1100 e 1500
 rpm;

100
 (ME com água
 produzida;40
 °C; 1500 rpm;
 15 min
 agitação)

Silva et
 al.(2020a)

Sabão de
 babaçu;
 álcool
 isoamílico;
 água produzida;
 querosene

T*

1

Sabão +cloreto
 de cálcio: 15,
 225 e 435 mg.L⁻¹

*FO: fase oleosa; T: tensoativo; C/T: razão cotensoativo/tensoativo

Por meio da Tabela 3, observamos que todas as formulações microemulsionadas propostas foram capazes de remediar a água produzida. Wang et al. (2019) afirmaram que a eficiência de remoção é diretamente proporcional à massa de tensoativo utilizada. Desse modo, concluímos que os tensoativos de origem vegetal utilizados nos estudos apresentados na Tabela 3 foram os principais responsáveis para atingir as altas eficiências. Por outro lado, Souza et al. (2020) constataram que incrementos da fase oleosa da microemulsão analisada favoreceram a remoção dos hidrocarbonetos presentes na água produzida. Observou-se ainda que Dantas et al. (2018) fizeram uso da centrífuga a fim de acelerar o processo de separação das fases (oleosa e microemulsionada).

Al-Kaabi et al. (2019) e Silva et al. (2020b) realizaram tratamento de água produzida por meio de microemulsões formuladas sem componentes biodegradáveis. Os autores obtiveram 100% e 95% de remoção, respectivamente. Verificamos que há uma similaridade nas eficiências das microemulsões formuladas com alguma substância biodegradável e com componentes tóxicos. Desse modo, a utilização de substâncias de origem vegetal torna-se uma

boa alternativa, pois é possível atingir altas eficiências de remoção e, ao mesmo tempo, reduzir a toxicidade da formulação microemulsionada.

4. Recuperação avançada

A recuperação avançada visa melhorar a recuperação do óleo residual, buscando atingir cerca de 50% que permanece na rocha após o decaimento da produtividade do poço nas primeiras etapas de produção (KARAMBEIGI, ASL & NASIRI, 2018). Dentre as opções de execução estão métodos miscíveis, químicos e térmicos. Neles, é feita a injeção de fluidos até atingir a formação de interesse. Em especial, o método químico trata da injeção de soluções que alteram as tensões interfaciais entre óleo e água, ação que possibilita o melhor escoamento do óleo que está aprisionado na rocha reservatório (FERREIRA et al., 2018). A Tabela 4 apresenta estudos recentes utilizando diferentes composições de ME, rochas de teste e razão C/T, resultando dessa forma em diferentes eficiências. As palavras-chave utilizadas para pesquisas relacionadas à recuperação avançada foram: para pesquisa em português: “recuperação avançada”, “microemulsão”, “vegetal”; e em inglês: “*enhanced recovery*”, “*microemulsion*” e “*vegetable*”.

Tabela 4: Aplicação de microemulsões para recuperação avançada

Composição da ME	Características da rocha	Componente de origem vegetal	Razão C/T*	Eficiência máxima-óleo residual(%)	Referência
DBB-7107 e DBB-7191; Álcool isopropílico; Óleo de pinho e glicerina	Porosidade: 39%; Diâmetro: 3.8 cm; Comprimento: 9 cm; Permeabilidade: 2.19–3.14 mD	FO*	10	49	Ferreira et al. (2018)
Alquil poliglicosídeo; Monooleato de glicerina; Óleo de palmiste	-----	FO*	2	71,8	Karambeigi, Asl & Nasiri (2018)
Sulfonato de éster metílico; Propan-1-ol; Óleos de	Comprimento: 40 cm; diâmetro do suporte do núcleo: 3,5 cm	T*	2	32,07	Pal et al. (2019)

salmoura e
 alcanos com
 comprimentos
 de cadeia
 variados; Água
 destilada

*FO: fase oleosa; T: tensoativo

Observando a Tabela 4 verificou-se que os percentuais de óleo residual recuperado variaram de 32,07% a 71,8%. Esses resultados foram similares e até maiores aos encontrados na literatura para a recuperação avançada por meio das microemulsões sem substâncias biodegradáveis. Hu et al. (2017), Zhou et al. (2020) e Dantas et al. (2020) obtiveram 28,9%, 46% e 30%, respectivamente. Desse modo, a utilização de substâncias de origem vegetal além de reduzir impactos ambientais, pode ser aplicada mantendo ou elevando a eficiência.

Por ser um método de recuperação avançada feito geralmente após outras duas fases de recuperação, as porcentagens de menor valor também são consideradas de sucesso por alguns autores, dependendo das condições de seus experimentos. Hu et al. (2017) relatam aumento de 10% para 28,9% na recuperação aplicando inundação de ME. Considerando que se trata da produção de óleo residual, afirmam ser uma boa alternativa.

5. Quebra de emulsão

Na indústria do petróleo, pode ocorrer a formação de emulsões dos tipos água em óleo ou óleo em água (SANTOS et al., 2019). As emulsões podem causar problemas que impactam a eficiência e o financeiro do projeto, tais como corrosão e incrustação dos equipamentos, entre outros (JESUS et al., 2019; SOUZA et al., 2016). As microemulsões têm se tornado uma alternativa para quebra de emulsões devido principalmente a facilidade de solubilização de fases polares e apolares (ANDRADE et al., 2020). A Tabela 5 apresenta formulações microemulsionadas aplicadas na quebra de emulsão. Para confecção desta tabela foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “quebra de emulsão”, “microemulsão” e “vegetal”, e suas respectivas traduções para a língua inglesa.

Tabela 5: Microemulsões aplicadas na quebra de emulsão

Composição da ME	Razão C/T	Componente de origem vegetal	Condições operacionais	Eficiência de quebra da emulsão (%)	Referência
-------------------------	------------------	-------------------------------------	-------------------------------	--	-------------------

Tensoativo não-iônico comercial (DBB7191) água destilada; óleo de pinho; álcool isopropílico	10	FO*	temperatura: 60 °C tempo: 30 minutos	98,33%	Souza et al. (2016)
óleo de babaçu saponificado como tensoativo e fase oleosa; n-butanol; água destilada	10	T,FO*		21,68	Santos et al. (2019)
óleo de moringa saponificado; n-butanol; água destilada; óleo de moringa	1,5 5 10	T, FO*		70%	Andrade et al. (2020)

*FO: fase oleosa; T: tensoativo

Por meio da Tabela 5, é possível observar que todos os estudos utilizaram razão C/T = 10 pelo menos em uma das análises experimentais. Apesar da discrepância de valores de eficiência, o estudo de Andrade et al. (2020) utilizaram diferentes razões C/T, na qual encontraram seus melhores resultados para a razão igual a 10. Essa escolha proporciona uma maior região microemulsionada disponível para uso nas aplicações da quebra de emulsão. Souza et al. (2016) e Andrade et al. (2020) trabalharam com fase oleosa e tensoativo de origem vegetal e encontraram as maiores eficiências da tabela, 98,33 e 70% respectivamente.

Dantas et al. (2001) propôs formulações microemulsionadas compostas por tensoativos e fase oleosa comerciais para quebra de emulsão. Em sua pesquisa, obteve de 66 a 100% de eficiência na quebra de emulsão. Assim sendo, os resultados apresentados na Tabela 4 encontram-se compatíveis com as microemulsões formuladas com substâncias não biodegradáveis.

CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou realizar um levantamento bibliográfico das microemulsões formuladas com tensoativo e/ou fase oleosa de origem vegetal aplicadas como fluido de perfuração, na quebra de emulsão, na recuperação avançada e no tratamento de água produzida. A literatura mostrou que todas as formulações microemulsionadas propostas tiveram êxito nas suas respectivas aplicações.

As microemulsões analisadas ao longo desse estudo foram comparadas às microemulsões não biodegradáveis disponíveis na literatura. As eficiências das microemulsões com algum componente biodegradável e as sem substâncias de origem vegetal apresentaram resultados semelhantes. Entretanto, a utilização de substâncias biodegradáveis tende a contribuir para a redução dos custos e a diminuição de impactos ambientais.

No entanto, há ainda alguns desafios importantes sobre microemulsões na indústria do petróleo, como por exemplo, a busca por formulações compostas por substâncias que sejam totalmente biodegradáveis. Constatamos ainda que há uma precariedade na aplicação de microemulsões compostas por tensoativos e/ou fase oleosa em áreas como tratamento de sedimentos contaminados, correção de danos em reservatórios, entre outras áreas. Assim, espera-se que estudos futuros busquem analisar formulações totalmente biodegradáveis para as diversas áreas da indústria do petróleo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AL-KAABI, M. A.; AL-GHOUTI, M.A.; ASHFAQ, M.Y.; AHMED, T. An integrated approach for produced water treatment using microemulsions modified activated carbon. **Journal of Water Process Engineering**, v. 31, p. 100830, 2019

ALOTAIBI, M. B.; NASR-EL-DIN, H.A.; HILL, A.D. Characteristics and removal of filter cake formed by formate-based drilling mud. In: **SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control**. Society of Petroleum Engineers, 2008.

ANDRADE, W.A.; CRUZ, G.P.; SILVA, M.S.; OLIVEIRA, M.F. Síntese de um tensoativo a base de óleo de Moringa Oleífera Lam e formulação de sistemas microemulsionados para a quebra de emulsões do tipo água em óleo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e193922194, 2020.

ARAUJO, E.A.; CAMINHA, T.T.; PAIVA, E.M.; SILVA, R.R.; FREITAS, J.C.O; GARNICA, A.I.C.; CURBELO, F.D.S. Application of microemulsion systems in the formulation of biodegradable pre-flush fluid of primary cementing. **Energies**, 13, 4683-4688, 2020.

CABRAL, A.G.; ARAUJO; LOPES, G.S.; GARNICA, A.I.C.; CURBELO, F.D.S. Estudo comparativo de óleos vegetais na preparação de microemulsões utilizadas como colchao lavador. **XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, São Carlos, SP, Brasil, 2017

CURBELO, F. D. S.; CAMINHA, T.T.; GARNICA, A.I.C.; MELO, G.N.A.; ARAUJO, E.A.; FREITAS, J.C.O. Microemulsion-based flushing fluid for effective removal of filter cake in wells cementation. **Brazilian Journal of Petroleum and Gas**, v. 13, n. 3, p.119-127, 2019.

CURBELO, F.D.S.; GARNICA, A.I.C.; ARAUJO, E.A.; PAIVA, E.M.; CABRAL, A.G.; ARAUJO, E.A.; FREITAS, J.C.O. Vegetable oil-based preflush fluid in well cementing. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 170, p. 392-399, 2018

DANTAS, T. N. C.; NETO, A. A. D.; MOURA, E. F. Microemulsion systems applied to breakdown petroleum emulsions. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 32, p. 145-149, 2001.

DANTAS, T.N.; OLIVEIRA, A.C.; SOUZA, T.T.C.; LUCAS, C.R.S.; ARAUJO, E.A.; AUM, P.T.P. Experimental study of the effects of acid microemulsion flooding to enhancement of oil recovery in carbonate reservoirs. **Journal of Petroleum Exploration and Production Technology**, p. 1-9, 2020.

DANTAS, T.N.C.; NASCIMENTO, Y.I.F. DANTAS NETO, A.A.; MOURA, M.C.P.A.; MARANHÃO, T.A. Produced water treatment by microemulsions: one-step process for simultaneous removal of metals. **Desalination and Water Treatment**, v. 111, p. 329-337, 2018.

FERREIRA, G. F. D.; SOUZA, D. R. Q.; LIMA, LOBATO, A. K. C. L.; SILVA, A. C. M., & SANTOS, L. C. L. Novel glycerin-based microemulsion formulation for enhanced oil recovery. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 167, 674–681, 2018.

GARNICA, A. I. C.; CURBELO, F.D.S.; MAGALHÃES, R.R.; SOUSA, R.P.F. Efeitos de surfactantes na organofilização de argilas bentoníticas para uso em fluidos de perfuração de base microemulsionada. **Holos**, v. 4, p. 89-105, 2018.

GARNICA, A. I. C.; CURBELO, F.D.S.; QUEIROZ, I.X.; ARAUJO, E.A. Desenvolvimento de microemulsões como aditivo lubrificante em fluido de perfuração. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e212973703-e212973703, 2020.

HU, Z.; NOURAFKAN, E.; GAO, H.; WEN, D.S. Microemulsions stabilized by in-situ synthesized nanoparticles for enhanced oil recovery. **Fuel**, United Kingdom, v. 210, p. 272-281, 2017.

JESUS, V.A.S.; SANTOS, M.F.O.; SANTOS, J.P.L.; CUNHA, A.L. Avaliação da influência da fração dos componentes do sistema microemulsionado na quebra de emulsão. **10º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás**, Natal, Brasil, 2019.

KARAMBEIGI, M. S.; ASL, A. H.; NASIRI, M. Multi-Objective Optimization of Microemulsion Flooding for Chemical Enhanced Oil Recovery. **Oil & Gas Science and Technology**, v. 73, 2018.

KRISHNA, S.; RIDHA, S.; VASANT, P.; ILYAS, S. U.; SOPHIAN, A. Conventional and intelligent models for detection and prediction of fluid loss events during drilling operations: A comprehensive review. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, p. 107818, 2020.

LEAL, G. L. R.; CURBELO, F. D. S.; GARNICA, A. I. C.; SILVA, R. R.; TERTULIANO, T. S.; FREITAS, J. C. O.; PAIVA, E. M. Study of the compatibility of a drilling fluid formulated in a microemulsioned system with cement slurry. **International Journal of Research-GRANTHAALAYAH**, v. 8, n. 3, p. 1-9, 2020.

LUO, X.; GONG, H.; HE, Z.; ZHANG, P.; HE, L. Recent advances in applications of power ultrasound for petroleum industry. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 70, 2020.

OKORO, E. E.; KIO-LAWSON, D.; IQWILO, K.C.; EKEINDE, E.B. One stage process removal of

filter cake using micro-emulsion. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 7, n. 4, p. 2890-2894, 2018.

PAL, N.; KUMAR, S.; BERA, A.; MANDAL, A. Phase behaviour and characterization of microemulsion stabilized by a novel synthesized surfactant: Implications for enhanced oil recovery. **Fuel**, v. 235, p. 995-1009, 2019.

SANTOS, M. F. O.; JESUS, V. S. A.; SILVA, G. F.; SANTOS, J. P. L. Desenvolvimento de um tensoativo a base de óleo de babaçu para formulação de sistemas microemulsionados usado para quebra de emulsões do tipo água em óleo. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 5, n. 2, p. 0179-0183, 2019.

SILVA, D. C.; ARAUJO, C.R.B.; FREITAS, J.C.O.; RODRIGUES, M.A.F.; WANDERLEY NETO, A.O. Formulation of new microemulsion systems containing produced water for removal of filter cake from olefin-based drilling fluid. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 193, p. 107425, 2020d.

SILVA, D. C.; WANDERLEY NETO, A.O.; PERES, A.E.C.; DANTAS NETO; A.A.; DANTAS, T.N.C. Removal of oil from produced water by ionic flocculation using saponified babassu coconut oil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 3, p. 4476-4484, 2020a.

SILVA, D. C.; LUCAS, C.R.S.; JUVINIANO, H.B.M.; MOURA, M.C.P.A.; DANTAS NETO, A.A.; DANTAS, T.N.C. Novel produced water treatment using microemulsion systems to remove oil contents. **Journal of Water Process Engineering**, v. 33, n. October 2019, p. 101006, 2020b.

SILVA, V.L.; RIBEIRO, L.S.; FREITAS, J.C.O.; SILVA, D.N.N.; CARVALHO, L.S.; RODRIGUES, M.A.F.; WANDERLEY NETO, A.O. Application of SDS surfactant microemulsion for removal of filter cake of oil-based drilling fluid: influence of cosurfactant. **Journal of Petroleum Exploration and Production Technology**, v. 10, n. 7, p. 2845-2856, 2020c.

SOARES, A. S. L.; GARNICA, A. I.C.; CURBELO, F. D. Estudo reológico de um fluido de perfuração com características biodegradáveis a base de tensoativo NP40 e óleo de canola. **Holos**, v. 6, p. 1-15, 2020.

SOUSA, R. P. F.; GARNICA, A.L.C.; ARAÚJO, E.A.; FREITAS, J.C.O; BRAGA, G.S. Efeito da goma xantana e da bentonita no desempenho de um fluido de perfuração base microemulsão. **Holos**, v. 2, p. 1-12, 2020.

SOUZA, D.R.Q.A.; FERREIRA, G.F.D.; LOBATO, A.K.L.; SILVA, A.C.M.; SANTOS, L.C.L. Influência do cotensoativo em sistemas microemulsionados na quebra de emulsão de petróleo. **RUNPetro-ISSN 2316-6681**, v. 4, n. 2, p. 33-42, 2016.

SOUZA, J.S.B.; FERREIRA JÚNIOR, J.M.; SIMONELLI, G.; SOUZA, J.R.; GÓIS, L.M.N.; SANTOS, L.C.L. Removal of oil contents and salinity from produced water using microemulsion. **Journal of Water Process Engineering**, v. 38, p. 101548, 2020.

SOUZA, J. S. B.; SOUZA, J.R.; SIMONELLI, G.; SANTOS, L.C.L. Tratamento de água produzida utilizando microemulsões. **10º Congresso Brasileiro De Pesquisa E Desenvolvimento Em Petróleo E Gás**, Natal-Brasil, 2019.

THOMAS, J. E. organizador. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. 2ª edição, Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2004.

VERMA, C.; ALREFAEE, S. H.; QURAIISHI, M. A.; EBENSO, E. E.; HUSSAIN, C. M. Environmental, safety and economic risks of Covid-19 pandemic in petroleum industries: A prospective. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 198, 2021.

WAN, T.; YAO, J.; ZISHUN, S.; LI, W.; JUAN, W. Solution and drilling fluid properties of water soluble AM-AA-SSS copolymers by inverse microemulsion. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 78, n. 2, p. 334-337, 2011.

WANG, M., ZHANG, B., LI, G., WU, T., AND SUN, D. 2019. 1 Efficient remediation of crude 2 oil-contaminated soil using a solvent/surfactant system. **RSC Advances**, v. 9, n. 5, p. 2402-3 2411, 2019.

ZHOU, Y.; YIM, D.; WANG, D.; ZHANG, C.; YANG, Z. Experiment investigation of microemulsion enhanced oil recovery in low permeability reservoir. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 4, p. 8306-8313, 2020.