

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LORRAINE VIEIRA SIMÃO BORGES

**APLICAÇÃO DE BIOSURFACTANTES EM FLUIDOS DE
PERFURAÇÃO**

JOÃO PESSOA- PB

2024

LORRAINE VIEIRA SIMÃO BORGES

APLICAÇÃO DE BIOSURFACTANTES EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba em cumprimento aos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Sharline Florentino de Melo
Santos.

JOÃO PESSOA-PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B732a Borges, Lorraine Vieira Simao.
Aplicação de biossurfactantes em fluidos de
perfuração / Lorraine Vieira Simao Borges. - João
Pessoa, 2024.

34 f. : il.

Sharline Florentino de Melo Santos.

TCC (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. Tensoativos. 2. Poços de petróleo. 3. Operação
de perfuração. 4. Biodegradabilidade. 5. Biossurfactantes.
I. Santos, Sharline Florentino de Melo. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU

66.01(043.2)

LORRAINE VIEIRA SIMÃO BORGES

**APLICAÇÃO DE BIOSURFACTANTES EM FLUIDOS DE
PERFURAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro de
Tecnologias da Universidade Federal da Paraíba
em cumprimento aos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 16 de outubro de 2024.

Orientadora: Profa. Dra. Sharline Florentino de
Melo Santos

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **SHARLINE FLORENTINO DE MELO SANTOS**
Data: 23/10/2024 07:21:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Sharline Florentino de Melo Santos DEQ
- CT - UFPB
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **ANDREA FARIAS DE ALMEIDA**
Data: 23/10/2024 14:40:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Andréa Farias de Almeida
DBTC - CBIOTEC - UFPB
Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **GILVAN FIGUEIREDO MACIEL FILHO**
Data: 23/10/2024 10:52:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Gilvan Figueiredo Maciel Filho
PPGEQ - CT - UFPB
Examinador

Aos meus.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho é a materialização do encerramento de uma jornada bela, porém árdua, a concretização de um sonho que não foi sonhado só. Sendo assim, a minha gratidão é infinita a todos que fizeram parte desse ciclo e que contribuíram de alguma forma pra o meu crescimento pessoal e intelectual. O amparo e suporte recebidos jamais serão esquecidos.

Não estar fisicamente perto de quem amamos às vezes é complexo. Agradeço a Deus pela força, perseverança e fé que foram colocadas à prova, e por ser meu constante ouvinte ao longo dessa jornada acadêmica.

Aos meus pais, agradeço por todo o apoio incondicional, paciência e compreensão, sempre me incentivando a seguir meus sonhos e objetivos. Sem vocês ao meu lado, nada disso seria possível.

A minha orientadora, por sua orientação e acolhimento durante o processo. Aos professores e colegas do curso de Engenharia Química, pelo compartilhamento de conhecimentos e pelas contribuições acadêmicas durante esses anos.

Agradeço aos meus amigos e familiares, que, de maneira direta ou indireta, me apoiaram ao longo desta jornada.

E por fim minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, o meu muito obrigada!

RESUMO

Os fluidos de perfuração são fundamentais nas operações da indústria de petróleo sendo responsáveis pela manutenção da estabilidade e segurança dos poços. Contudo, a utilização desses fluidos pode ocasionar impactos ambientais devido à toxicidade dos aditivos químicos comumente empregados. Nesse cenário, a incorporação de biossurfactantes nas formulações de fluidos de perfuração tem se destacado como uma alternativa sustentável. Esses compostos, com sua natureza anfipática, oferecem propriedades como redução da tensão interfacial, biodegradabilidade e baixa toxicidade. Sendo assim, este trabalho revisa a literatura sobre o potencial dos biossurfactantes em diversas funções nos fluidos de perfuração como emulsificantes, antiaglomerantes e lubrificantes. Os 6 estudos revisados demonstraram que os biossurfactantes melhoraram a estabilidade dos fluidos, preveniram a formação de cristais de hidrato e foram eficazes como lubrificantes, podendo substituir aditivos tradicionais com menor impacto ambiental. A análise revela que a aplicação de biossurfactantes pode melhorar a estabilidade e a eficiência dos fluidos, promovendo operações de perfuração mais seguras e ambientalmente responsáveis. No entanto, apesar de se apresentarem como uma alternativa promissora aos aditivos sintéticos, ainda existem desafios técnicos a serem enfrentados para sua ampla adoção na indústria.

Palavras-chave: Tensoativos; poços de petróleo; operação de perfuração; biodegradabilidade; biossurfactantes.

ABSTRACT

Drilling fluids are fundamental in the operations of the oil industry, responsible for maintaining the stability and safety of wells. However, the use of these fluids can lead to environmental impacts due to the toxicity of the chemical additives commonly employed. In this context, the incorporation of biosurfactants into drilling fluid formulations has emerged as a sustainable alternative. These compounds, with their amphiphilic nature, offer properties such as reduced interfacial tension, biodegradability, and low toxicity. Therefore, this work reviews the literature on the potential of biosurfactants in various functions within drilling fluids, such as emulsifiers, anti-aggregants, and lubricants. The six reviewed studies demonstrated that biosurfactants improved the stability of fluids, prevented hydrate crystal formation, and were effective as lubricants, potentially replacing traditional additives with a lower environmental impact. The analysis reveals that the application of biosurfactants can enhance the stability and efficiency of fluids, promoting safer and more environmentally responsible drilling operations. However, despite presenting themselves as a promising alternative to synthetic additives, there are still technical challenges to be addressed for their widespread adoption in the industry.

Keywords: Surfactants; oil wells; drilling operations; biodegradability; biosurfactants.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 12 |
| 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO..... | 12 |
| 3. METODOLOGIA..... | 13 |
| 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 14 |
| 4.1 FLUIDO DE PERFURAÇÃO | 14 |
| 4.2 BIOSSURFACTANTE | 17 |
| 5. RESULTADOS..... | 20 |
| 5.1 APLICAÇÃO DE BIOSSURFACTANTES COMO EMULSIFICANTE EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO | 20 |
| 5.2 APLICAÇÃO DE BIOSSURFACTANTES COMO ANTIAGLOMERANTE (AA) EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO..... | 23 |
| 5.3 APLICAÇÃO DE BIOSSURFACTANTES COMO LUBRIFICANTE..... | 25 |
| 5.4 COMPLEMENTO EXPERIMENTAL: TENTATIVA DE FORMULAÇÃO DE UM FLUIDO DE PERFURAÇÃO USANDO BIOSSURFACTANTE | 27 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 30 |
| REFERÊNCIAS..... | 31 |

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da indústria do petróleo, a exploração e produção de poços de petróleo têm sido cada vez mais sofisticadas. Isso está associado com a descoberta de lugares com condições naturais tecnicamente complexas, pois gera a necessidade de criar novas tecnologias que permitam a exploração destes campos e aumentem a eficácia da retirada dos materiais de interesse (COSTA, 2020).

Os fluidos de perfuração são sistemas multicomponentes que contêm muitos aditivos cuidadosamente formulados para desempenhar funções específicas, durante as operações de perfuração. Algumas dessas funções incluem fornecer controle hidrostático, manter a estabilidade do poço, minimizar a corrosão do equipamento de manuseio, controlar a pressão da formação, resfriar e lubrificar a broca de perfuração, suspender e circular os fragmentos de perfuração, vedar as formações permeáveis do poço e minimizar danos à formação (JINASENA e SHARMA, 2020; SABOORI et al., 2018; KAFASHI et al., 2017).

De acordo com Organização das Nações Unidas Brasil (2015), o setor ambiental tem pressionado diversas áreas de inovações tecnológicas e uma das demandas está na síntese de novos compostos para a aplicação nos fluidos para a perfuração de poços de petróleo. Assim, a utilização de materiais biodegradáveis e não agressivos ao meio ambiente para a obtenção de petróleo está alinhada com as diretrizes da Agenda 2030 da ONU.

A grande maioria dos surfactantes disponíveis comercialmente é sintetizada a partir de derivados de petróleo. Entretanto, a preocupação ambiental entre os consumidores, combinada a novas legislações de controle do meio ambiente têm levado à procura por biossurfactantes como alternativa aos produtos existentes (SARUBBO et al., 2022).

Os compostos de origem microbiana que exibem propriedades surfactantes são denominados biossurfactantes e consistem em subprodutos metabólicos de bactérias, leveduras e fungos filamentosos (DRAKONTIS & AMIN, 2020; ALMEIDA et al., 2016). Os biossurfactantes ou “surfactantes verdes” podem ser não tóxicos, biodegradáveis e estáveis sob condições ambientais adversas em comparação com surfactantes químicos. Propriedades como detergência, emulsificação, dispersão e solubilização atribuem grande versatilidade a essas biomoléculas, tornando-as uma alternativa comercial promissora (FARIAS et al., 2021).

Para Onaizi (2023) o interesse cada vez maior na utilização de materiais ecologicamente corretos e produzidos de forma sustentável, além de uma gestão adequada dos resíduos tornam os biossurfactantes candidatos ideais para aplicações em campos petrolíferos.

Sendo assim, esta revisão integrativa busca fornecer uma perspectiva ampla das potenciais aplicabilidades dos biossurfactantes na formulação de fluidos de perfuração abordando os seguintes aspectos: a função e a importância dos fluidos de perfuração, as propriedades e tipos de biossurfactantes, bem como os benefícios e desafios da sua aplicação. A revisão será baseada em estudos recentes e relevantes, com o propósito de apresentar uma visão abrangente do estado atual da pesquisa e identificar áreas para futuras investigações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação de biossurfactantes em fluidos de perfuração, investigando diferentes usos dos biossurfactantes dentro das formulações, suas funções e efeitos nas propriedades e desempenho dos fluidos. O foco é entender como esses aditivos podem melhorar características como viscosidade, estabilidade e lubrificação, e como interagem com outros componentes do fluido, visando otimizar a eficiência operacional e reduzir impactos ambientais.

2.2 Objetivo Específico

- Avaliar os benefícios da aplicação de biossurfactantes em fluidos de perfuração.
- Analisar os desafios da utilização de biossurfactantes em formulações de fluidos de perfuração.
- Revisar estudos recentes sobre o uso de biossurfactantes em fluidos de perfuração.
- Sugerir áreas de pesquisa futuras relacionadas ao uso de biossurfactantes.

3. METODOLOGIA

Esta revisão bibliográfica tem como objetivo investigar a aplicação de biossurfactantes em fluidos de perfuração e suas diferentes funções em formulações de fluidos de perfuração. A busca foi conduzida em bases de dados acadêmicas, como *Google Scholar*, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *Web of Science* e *Science Direct* utilizando palavras-chave específicas como biossurfactantes, fluidos de perfuração, emulsificação.

O trabalho foi estruturado de maneira a apresentar uma introdução ao tema, objetivos, metodologia, uma análise crítica dos estudos revisados, uma prática experimental e uma conclusão que sumariza os achados e propõe recomendações para futuras pesquisas

Durante o processo de revisão, foram acessados mais de 100 títulos. No entanto, a maioria dos artigos encontrados tratava apenas de testes preliminares com biossurfactantes em outras áreas da indústria do petróleo, sem focar diretamente na formulação de fluidos de perfuração. Esses artigos, embora apresentassem dados promissores, não eram inteiramente relevantes para o escopo desta revisão, que exigia uma análise mais direcionada sobre o uso de biossurfactantes em aplicações reais de fluidos de perfuração

Foram analisados detalhadamente 30 artigos, nos idiomas inglês e português, mas apenas 6 cumpriam os critérios específicos de relevância para este estudo. Esses artigos abordavam diretamente a utilização de biossurfactantes nas formulações de fluidos de perfuração.

Dessa forma, a limitação de artigos disponíveis sobre o tema reflete o estágio inicial de desenvolvimento e aplicação industrial dos biossurfactantes em fluidos de perfuração, o que reforça a necessidade de mais estudos nessa área.

Além da revisão bibliográfica, foi realizada uma prática experimental para fabricação de fluidos de perfuração utilizando biossurfactante. A formulação utilizada no experimento foi baseada em uma formulação previamente desenvolvida e testada com sucesso por mim no Laboratório de Petróleo (Lapet) da Universidade Federal da Paraíba. No entanto, ao invés de utilizar tensoativos convencionais, o objetivo deste experimento foi desenvolver uma formulação que utilizasse exclusivamente o biossurfactante como tensoativo, em concordância com as metas de sustentabilidade discutidas na revisão bibliográfica.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Fluido de Perfuração

Fluido de perfuração ou lama de perfuração é uma mistura de líquidos e/ou gases com aditivos que circula no poço durante a perfuração, facilitando o processo de perfuração. De acordo com Asme (2005), o termo “fluido de perfuração” pode se referir a qualquer fluido utilizado na perfuração de um poço de petróleo. Esse fluido é circulado ou bombeado da superfície, passando pela coluna de perfuração e pela broca, e retorna à superfície através do espaço anular entre as paredes do poço e a coluna.

De acordo com Thomas (2004), todos os fluidos de perfuração devem assegurar uma perfuração rápida e segura, e, para isso, devem possuir as seguintes características:

- Apresentar estabilidade química;
- Estabilizar as paredes do poço, mecânica e quimicamente;
- Tornar fácil a separação dos cascalhos na superfície;
- Quando em repouso manter os sólidos em suspensão;
- Não danificar as rochas produtoras;
- Estar suscetível a qualquer tratamento, físico e químico;
- Ser bombeável;
- Ter baixo grau de corrosão e de abrasão em relação à coluna de perfuração e demais equipamentos de sistema de circulação;
- Facilitar as interpretações geológicas das formações;
- Apresentar custo compatível com a operação.

Conforme a PETROBRAS (1991), as principais funções dos fluidos de perfuração envolvem a limpeza, resfriamento e lubrificação da broca e da coluna de perfuração, o controle de pressão das camadas a serem perfuradas impedindo o influxo dos fluidos nelas existentes, o transporte para a superfície dos cascalhos gerados durante a perfuração, a estabilização das paredes do poço através de mecanismos físico-químicos, a transmissão de potência hidráulica à broca, a minimização ou redução de corrosão da coluna de perfuração e dos equipamentos de superfície de sonda, e a transmissão de dados de parâmetros de perfuração para a superfície.

Historicamente, os fluidos de perfuração evoluíram de uma simples mistura de água e argila para sistemas complexos que utilizam água ou óleo combinados com diversos aditivos, atendendo assim às necessidades técnicas e desafios da perfuração.

De acordo com Caenn et al. (2014), os fluidos de perfuração são classificados com base em sua composição, levando em consideração o principal componente da fase contínua do fluido, que é o elemento predominante na fase dispersante. Com base nesse critério, os fluidos de perfuração se dividem em fluidos à base de água, fluidos à base de óleo e fluidos à base de ar.

Os fluidos base água (FBA) foram os primeiros fluidos a serem utilizados no processo de perfuração. O seu desenvolvimento ocorreu com o início da tecnologia de perfuração de poços de petróleo (DARLEY e GRAY, 1988). Nestes fluidos o meio para dispersão dos sólidos é a água ou a salmoura, podendo o óleo estar emulsionado na fase contínua. (CAENN, DARLEY e GRAY, 2011)

São fluidos menos agressivos ao meio ambiente, com baixo custo inicial, porém tem baixa estabilidade em altas temperaturas e não são utilizáveis para formações rochosas compostas de argilas sensíveis à água (GUIMARÃES e ROSSI, 2007). Além disso, apresentam baixa lubrificidade e são responsáveis por promover a corrosão de componentes metálicos do sistema de perfuração (MAHTO e SHARMA, 2004).

Os fluidos de perfuração base óleo (FBO) podem apresentar como fase contínua óleo cru, óleo diesel ou óleo mineral.

O meio para dispersão dos sólidos é o óleo. A água ou a salmoura é emulsionada no óleo, que é a fase contínua (CAENN, DARLEY e GRAY, 2011). São fluidos estáveis em altas temperaturas, são aplicáveis para elevadas profundidades, são leves, conferem uma perfuração mais rápida, baixa corrosão, alto grau de inibição frente as rochas ativas, porém possuem maior custo inicial e podem causar bastante danos ao meio ambiente (GUIMARÃES e ROSSI, 2007).

Quando se compara os fluidos base água com os fluidos base óleo, algumas desvantagens do FBO se destacam como o alto risco ambiental, o maior custo inicial, as menores taxas de penetração e a dificuldade na detecção do gás no poço devido a sua solubilidade na fase contínua (THOMAS, 2004)

Os fluidos pneumáticos, baseados em ar/gás, são menos empregados em comparação com os fluidos aquosos e não aquosos, devido a sua tecnologia pouco consolidada na indústria (NEGRAO; LAGE, 1997).

Por meio destas categorias de fluido, o ar ou o gás circulam do mesmo modo que o fluido líquido convencional através de pressão fornecida por compressores, instalados na

superfície com os demais equipamentos (SCHAFFEL, 2002; DARLEY e GRAY, 1988). São aplicados em zonas com grandes perdas de circulação, formações produtoras com baixas pressões, em regiões com escassez de água e regiões com espessas camadas de gelo (SILVA, 2003).

Os fluidos sintéticos, na equivalência técnica são semelhantes aos fluidos base óleo e são superiores a todos os sistemas base água (CAENN, DARLEY e GRAY, 2011). Fluidos de base sintética (FBS) utilizam compostos como ésteres sintéticos, polialfaolefinas, cicloalcanos e óleos de estearato de metal.

A maior vantagem desse fluido é o seu potencial menos agressivo a natureza, sendo usado como substituto dos fluidos base óleo, que são proibidos em várias partes do mundo (SCHAFFEL, 2002). Sua desvantagem é o custo, uma vez que dois fatores influenciam para o seu custo direto: os custos por barril e as perdas do fluido de perfuração por filtração. (CAENN, DARLEY E GRAY, 2011)

As propriedades de controle dos fluidos de perfuração podem ser físicas ou químicas, sendo estas ajustáveis para cada tipo de situação. Algumas das propriedades importantes são:

Parâmetros reológicos: O controle das propriedades reológicas no fluido de perfuração é essencial nas operações de perfuração, pois elas são responsáveis pela remoção dos cascalhos perfurados. Além disso, influenciam no progresso da perfuração, quando a limpeza é deficiente, a taxa é prejudicada, pois a broca fica trabalhando sobre os cascalhos reduz a taxa de penetração. No campo, as propriedades reológicas de interesse para o desenvolvimento de um fluido de perfuração são: viscosidade aparente (VA), viscosidade plástica (VP), força gel e limite de escoamento (LE).

A viscosidade dos fluidos de perfuração depende principalmente do teor de sólidos e da presença de polímeros. Um aumento na viscosidade, portanto, só pode ser combatido por remoção de sólidos (CAENN, DARLEY e GRAY, 2017). Do ponto de vista prático, define-se dois tipos de viscosidade, ambas expressas em cP: uma viscosidade aparente (VA) e uma viscosidade plástica (VP) frequentemente ligada ao tamanho das partículas e sua forma. Desta forma, VP é sensível à concentração de sólidos e indica os requisitos de diluição.

Parâmetros de filtração: Para evitar a invasão de fluidos existentes na formação para o poço, o fluido tem a capacidade de formar uma camada de partículas úmidas, denominada de reboco, sobre as rochas permeáveis expostas pelas brocas. Devido à obstrução dos poros com a formação do reboco, somente a fase líquida do fluido de perfuração, denominada filtrado, invade a formação. Esse processo é conhecido por “filtração” e é essencial que o fluido tenha

uma fração razoável de partículas com dimensões ligeiramente menores que as dimensões dos poros das rochas expostas. O comportamento do fluido em relação ao filtrado é analisado pela qualidade do filtrado e a espessura do reboco.

4.2 Biossurfactante

Os biossurfactantes podem ser definidos como surfactantes de origem biológica, produtos do metabolismo de algumas plantas, bactérias, fungos e leveduras, sendo considerados surfactantes naturais (WATTABAPHON et al., 2007; BUSTAMANT et al., 2012; ARAÚJO et al., 2013).

A maioria dos surfactantes comercializados é proveniente de fontes não renováveis, como produtos da indústria petroquímica, e podem ser produzidos a baixos custos e maiores rendimentos. A natureza tóxica e sua baixa biodegradabilidade, contudo, motivaram a busca por produtos alternativos que, sobretudo, minimizem esses impactos ambientais e estejam também de acordo com as metas globais estabelecidas pela ONU para o desenvolvimento sustentável (SARUBBO et al., 2022). Neste contexto, a classe de surfactantes denominada biossurfactante vem se destacando por apresentar alta biodegradabilidade, baixa toxicidade, estabilidade em condições diversas de temperatura, pH e salinidade e biocompatibilidade (SARUBBO et al., 2022; BUSTAMANT et al., 2012; WATTABAPHON et al., 2007).

No entanto, a produção de biossurfactante é um processo caro, para tornar o biossurfactante mais competitivo é necessário o desenvolvimento de processos que viabilizem o uso de matéria prima mais barata, principalmente vindas de fontes renováveis, e de resíduos industriais (MARINHO; SILVA E LUNA, 2022).

As principais classes de biossurfactantes incluem glicolipídeos, lipopeptídeos, lipoproteínas, fosfolipídeos e ácidos graxos, surfactantes poliméricos e surfactantes particulados (GAUTAM, 2006). Contudo, alguns autores preferem agrupar os biossurfactantes de acordo com seu peso molecular, pois de modo geral, as moléculas de baixa massa molecular reduzem a tensão superficial de forma mais eficiente, enquanto as de alta massa molecular se caracterizam por formar emulsões de sistemas óleo/água mais estáveis. As moléculas de baixa massa molecular são as que possuem maior interesse pela indústria, especialmente as classes dos ramnolipídeos, lipopeptídeos e fosfolipídeos. Na Figura 1 são mostradas as estruturas de alguns biossurfactantes.

Figura 1- Estrutura de biossurfactantes: a) Raminolipídeos; b) fosfolipídeos; c) surfactina.

amplamente considerados mais seguros do que produtos farmacêuticos sintéticos (CAMPOS et al., 2013).

A Tabela 1 apresenta um resumo das funções e aplicações industriais dos biossurfactantes.

Tabela 1: Principais aplicações comerciais dos biossurfactantes.

| Funções | Campos de aplicações |
|---------------------------------|---|
| Emulsionantes e dispersantes | Cosméticos, tintas, biorremediação, óleos, alimentos |
| Solubilizantes | Produtos farmacêuticos e de higiene. |
| Agentes molhantes e penetrantes | Produtos farmacêuticos, têxteis e tintas. |
| Detergentes | Produtos de limpeza, agricultura. |
| Agentes espumantes | Produtos de higiene, cosméticos e flotação de minérios. |
| Agentes espessantes | Tintas e alimentos. |
| Sequestrantes de metais | Mineração. |
| Formadores de vesículas | Cosméticos e sistemas de liberação de drogas. |
| Fator de crescimento microbiano | Tratamento de resíduos oleosos. |
| Desemulsificantes | Tratamento de resíduos, recuperação de petróleo. |
| Redutor de viscosidade | Transporte em tubulações, oleodutos. |
| Dispersantes | Mistura carvão-água, calcáreo-água. |
| Fungicidas | Controle biológico de fitopatógenos. |
| Agentes de recuperação | Recuperação terciária de petróleo (MEOR). |

Fonte: Nitschke & Pastore, 2002.

5. RESULTADOS

O uso de biossurfactantes em fluidos de perfuração tem emergido como uma alternativa sustentável e eficaz, contribuindo para a melhoria do desempenho e redução dos impactos ambientais dessas formulações. Esta seção discute o papel dos biossurfactantes e suas diferentes aplicações em fluidos de perfuração.

5.1 Aplicação de biossurfactantes como emulsificante em fluidos de perfuração

Sagheer A. Onaizi, em uma série de estudos, investigou o uso de biossurfactantes em lamas de perfuração à base de óleo, destacando sua eficácia e contribuição para soluções mais sustentáveis em desafios operacionais, como a remoção de H_2S . Esses estudos abordam o potencial dos biossurfactantes tanto na melhoria das propriedades reológicas quanto na eficiência de captura de gases tóxicos, oferecendo uma alternativa mais ecológica para a indústria de petróleo e gás. A seguir, serão analisados quatro estudos conduzidos por Onaizi:

- Formulação de fluido de perfuração à base de óleo mineral usando biossurfactante e nanopartículas com bom comportamento reológico e excelente capacidade de eliminação de H_2S (2023);
- Lama de perfuração à base de óleo composta por biossurfactantes e nanopós de zinco hidrofóbicos com excelente desempenho de eliminação de H_2S (2023);
- Formulação de lama de perfuração de emulsão invertida de óleo de cozinha residual com desempenho eficaz de eliminação de H_2S (2024);
- Utilização de óleo de palma usado para formular lamas de perfuração à base de óleo com excelente capacidade de eliminação de H_2S (2024);

Os estudos utilizam o biossurfactante ramnolipídeo, um glicolipídio, na formulação de fluidos de perfuração com o objetivo de eliminar o sulfeto de hidrogênio (H_2S), um gás altamente tóxico liberado durante as operações de perfuração de petróleo e gás. Nesse contexto, o ramnolipídeo atua como tensoativo secundário, em conjunto com o Span 80, que é o tensoativo primário, para estabilizar o fluido e potencializar sua eficiência.

Os tensoativos primários, como o Span 80, são responsáveis pela estabilização de emulsões e dispersões em fluidos de perfuração, garantindo propriedades como viscosidade e transporte de sólidos. Já os tensoativos secundários, como o ramnolipídeo, atuam em sinergia

com os primários, melhorando a estabilidade e incorporando características como redução de toxicidade e eficiência na remoção de contaminantes, como o H₂S.

O primeiro estudo "Formulação de fluido de perfuração à base de óleo mineral usando biossurfactante e nanopartículas com bom comportamento reológico e excelente capacidade de eliminação de H₂S" explorou o uso de óleo mineral como fluido base e a adição de permanganato de potássio (KMnO₄) como eliminador de H₂S. Este fluido assim como os demais tinha como objetivo melhorar o comportamento reológico e a capacidade de eliminação de sulfeto de hidrogênio (H₂S) nas formações.

Já o segundo estudo "Lama de perfuração à base de óleo composta por biossurfactantes e nanopós de zinco hidrofóbicos com excelente desempenho de eliminação de H₂S" se concentrou na formulação de lama de perfuração utilizando o diesel como fluido base, biossurfactante ramnolipídico e nanopartículas de zinco hidrofóbicas modificadas com octadecanotiol.

Em contrapartida, os estudos de 2024 fazem uso de óleos residuais. O estudo "Formulação de lama de perfuração de emulsão invertida de óleo de cozinha residual com eficácia na eliminação de H₂S" utilizou como base o óleo de cozinha (milho) residual para formular lamas de perfuração inversas o que destaca a eficácia da formulação em termos de sustentabilidade e desempenho na eliminação de H₂S. Enquanto o estudo "Utilização de óleo de palma usado para formular lamas de perfuração à base de óleo com excelente capacidade de eliminação de H₂S" utilizou o óleo de palma reciclado como base para a lama.

Esses estudos não apenas destacam o uso de biossurfactantes como uma solução eficaz e sustentável, mas também evidenciam a diversidade de bases oleosas que podem ser utilizadas na formulação de fluidos de perfuração, ampliando as opções disponíveis para a indústria.

Os artigos trazem a utilização de biossurfactantes, especificamente os ramnolipídios, na formulação das lamas de perfuração. Segundo Costa (2010) os ramnolipídios são considerados a classe de biotensoativos mais promissora em termos de produção industrial, pois apresentam características físico-químicas e biológicas distintas e podem ser obtidos em concentrações superiores às de outros biossurfactantes, o que contribui para a difusão do uso dessas moléculas, especialmente em situações em que o benefício da aplicação supera o custo da produção.

Desse modo, o ramnolipídeo, biossurfactante aniônico, é responsável por estabilizar os fluidos junto com o Span 80 um surfactante sintético. O processo de estabilização é essencial para manter a integridade da emulsão durante as operações de perfuração, garantindo que o fluido seja eficaz em sua função ao longo do tempo. Logo, os emulsificantes funcionam reduzindo a tensão superficial entre as fases óleo e água, o que ajuda a criar uma emulsão

estável. Essa estabilização evita a separação das fases de óleo e água, garantindo que o fluido permaneça homogêneo durante o uso.

Como os biossurfactantes promovem a redução da tensão superficial isso auxilia em uma melhor capacidade de solubilização de diferentes materiais. Portanto, essa propriedade pode aumentar a capacidade de interação entre os aditivos contidos na lama e influenciar no aumento da capacidade de eliminação do H_2S , foco dos fluidos relatados.

Todos os fluidos analisados apresentaram boa estabilidade e estudos reológicos favoráveis. Os fluidos apresentaram comportamento reológico não newtoniano, típico de fluidos à base de óleo, o que é essencial para o sucesso das operações de perfuração. Além disso, todos os fluidos formulados apresentaram afinamento por cisalhamento, caracterizado por uma diminuição na viscosidade à medida que a taxa de cisalhamento aumenta, o que é essencial para suspender partículas e manter a fluidez em diversas condições de perfuração.

Dessa forma, a inclusão de biossurfactantes contribuiu para as propriedades reológicas gerais dos fluidos de perfuração indicando que os dados da taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento se ajustam bem a modelos reológicos propostos na literatura, o que sugere que os biossurfactantes ajudam a alcançar as características de fluxo desejáveis, que são críticas para o desempenho dos fluidos de perfuração.

A utilização de emulsificantes naturais como o biossurfactante ramnolipídico, contribui para o desenvolvimento de fluidos de perfuração mais ecológicos. Logo essa abordagem também se alinha às metas de sustentabilidade ambiental no setor de petróleo e gás.

Assim nos estudos que utilizaram biossurfactante e óleos residuais os benefícios ambientais foram mais evidentes, já que o reaproveitamento de resíduos minimiza os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de óleo de cozinha. Por outro lado, os estudos que utilizaram óleo diesel e óleo mineral apresentaram capacidades de eliminação de H_2S superiores, especialmente com o uso de permanganato de potássio como eliminador. Isso sugere que, embora os óleos reciclados representem uma alternativa sustentável, pode haver uma compensação em termos de desempenho em aplicações de perfuração extremas.

Os estudos mostram que a utilização de biossurfactantes pode melhorar a eficácia dos fluidos de perfuração, especialmente na eliminação de H_2S . As formulações que utilizam óleos residuais oferecem vantagens em termos de custo e impacto ambiental, enquanto as demais proporcionam melhor desempenho técnico, mas com custos potencialmente mais altos.

A escolha da formulação ideal deve considerar um equilíbrio entre desempenho, custo e impacto ambiental. As abordagens sustentáveis com óleos residuais são promissoras para

aplicações práticas, enquanto as demais oferecem avanços tecnológicos que podem ser explorados conforme as necessidades específicas do processo de perfuração.

A utilização de biossurfactantes, como os ramnolipídios, apresentam oportunidades e desafios diversos na formulação de fluidos de perfuração à base de óleo especialmente na eliminação de sulfeto de hidrogênio (H_2S). Embora esses compostos sejam conhecidos por seu desempenho em condições adversas, sua eficácia em fluidos base óleo ainda não está amplamente documentada. Logo, pesquisas futuras são indispensáveis e devem se concentrar em entender como esses componentes podem manter sua eficácia em ambientes extremos de perfuração, como altas temperaturas e pressões.

Apesar dos ramnolipídios terem apresentado uma boa compatibilidade junto aos outros aditivos contidos nos fluidos de perfuração, incluindo nanopartículas hidrofóbicas de zinco, indicando que estes podem ser integrados efetivamente em diversas formulações, ainda é necessária uma investigação mais profunda para um melhor entendimento sobre como otimizar as interações entre eles e os demais componentes, a fim de garantir uma máxima eficiência dos fluidos de perfuração.

Outro aspecto relevante a ser considerado é a viabilidade econômica do uso de biossurfactantes em comparação com os surfactantes tradicionais. Desse modo estudos futuros devem avaliar as implicações de custo do fornecimento e incorporação dos biossurfactantes, o que ajudará a determinar sua praticidade para adoção em larga escala na indústria de perfuração.

Além disso, como há um crescente interesse em sustentabilidade, os biossurfactantes se destacam como soluções viáveis devido à presença de características como biodegradabilidade e menor toxicidade em comparação com os surfactantes sintéticos. Dessa forma, ensaios de campo serão essenciais para avaliar o desempenho das lamas de perfuração que contendo biossurfactantes, fornecendo dados valiosos sobre os desafios práticos e os benefícios de seu uso em operações reais.

Por fim, conforme o uso de biossurfactantes cresce, entender e navegar pelas estruturas regulatórias será essencial para garantir a conformidade e promover sua adoção na indústria. Em síntese, apesar dos biossurfactantes possuírem um potencial promissor na melhoria e desempenho das lamas de perfuração, superar esses desafios é primordial para sua implementação comercial bem-sucedida.

5.2 Aplicação de biossurfactantes como antiaglomerante (AA) em fluidos de perfuração

Saikia et al. (2018) em o “Estudo da Aglomeração de Cristais de Hidrato com o Uso de Lecitina de Soja e CTAB” aborda de forma inovadora o uso de biossurfactantes como a lecitina de soja para reduzir a formação de hidratos em oleodutos. Os hidratos são sólidos que podem se formar em tubulações e equipamentos durante operações de perfuração, quando o gás natural se combina com a água sob altas pressões e baixas temperaturas.

O estudo traz a lecitina de soja, um biossurfactante natural, como alternativa ecologicamente correta ao brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB), um surfactante quaternário de amônio já utilizado comercialmente como antiaglomerante (AA). Desse modo, diferentes concentrações de lecitina de soja e CTAB foram adicionadas a fluidos de perfuração à base de água, visando avaliar o efeito destes aditivos como antiaglomerantes e suas propriedades reológicas e de filtração.

A lecitina de soja faz parte do grupo dos fosfolipídios e atua nos fluidos como um agente antiaglomerante ao impedir que os cristais de hidrato se unam e formem bloqueios nas tubulações. Isso garante que os fluidos de perfuração possam continuar a fluir de maneira eficiente, mesmo em condições de alta pressão e baixas temperaturas, onde os hidratos tendem a se formar.

Esses surfactantes apresentam uma estrutura com uma porção hidrofílica e uma cauda hidrofóbica. Sendo assim, a porção polar do surfactante se liga à superfície do cristal de hidrato e retarda o crescimento do hidrato. Já a cauda hidrofóbica permite que os cristais de hidrato se dispersem no condensado e torna a pasta de hidrato fluida (Klomp, Kruka e Reijnhart, 1995). Em 1990, descobriu-se que os surfactantes de amônio quaternários eram AA eficazes (Kelland, 2006). Posteriormente, o interesse pelo uso de biossurfactantes como agentes antiaglomerante (AA) aumentou. Os biossurfactantes apresentam propriedades muito desejáveis em relação ao meio ambiente, como maior biodegradabilidade e menor toxicidade, além de serem mais seguros para uso (YORK & FIROOZABADI, 2008; FU, HOUSTON, & SPRATT, 2005).

Antiaglomerantes são substâncias usadas para evitar que partículas sólidas, como cascalhos e outros materiais, se aglomerem ou formem grandes massas durante a perfuração de poços. Sendo assim, são essenciais para manter a eficiência do processo de perfuração, pois evitam o acúmulo de sólidos que podem causar obstruções, reduzir a circulação do fluido e aumentar o risco de complicações operacionais, como o atolamento do equipamento.

De acordo com os resultados, o aumento da concentração de lecitina e CTAB nos fluidos ocasionou um aumento dos parâmetros reológicos. No entanto, mesmo em concentrações mais elevadas a lecitina conseguiu manter a reologia dos fluidos em níveis aceitáveis diferente do CTAB. Apesar disto, ambos aditivos conseguiram aumentar o tempo de aglomeração dos

hidratos, ou seja, na presença dos surfactantes esses hidratos demoravam mais tempo para se aglomerarem.

Este estudo é relevante dentro do contexto da transição para práticas sustentáveis nas indústrias de petróleo e gás, onde a formação de plugues de hidratos de gás pode gerar custos elevados e problemas operacionais.

A utilização de aditivo eficazes e também menos prejudiciais ao meio ambiente é crucial para a sustentabilidade. A lecitina de soja, ao ser um produto natural, logo um surfactante ecologicamente correto, pode reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos que são prejudiciais ao meio ambiente. Sendo assim ela apresenta um perfil ambiental mais favorável em comparação com surfactantes sintéticos, como o CTAB, que podem ter impactos negativos e não contribuem para práticas mais sustentáveis na indústria de perfuração.

À medida que o mundo busca por práticas mais sustentáveis na indústria do petróleo e do gás as pesquisas sobre a lecitina de soja como aditivo antiaglomerante em fluidos de perfuração apresentam uma série de desafios e oportunidades. Entre os desafios, destacam-se a necessidade de produção da lecitina em larga escala para atender à demanda bem como possíveis barreiras regulatórias que podem dificultar sua aceitação no mercado. No entanto, há também grandes oportunidades, como a inovação em formulações de fluidos de perfuração mais sustentáveis e eficientes bem como o amplo potencial de substituição dos aditivos sintéticos por alternativas ecológicas, e a possibilidade de fomentar colaborações interdisciplinares que ajudem a minimizar o impacto ambiental. Além disso, o campo de pesquisa em torno da lecitina de soja oferece espaço para aprofundar o conhecimento sobre seu desempenho em diferentes contextos de perfuração e explorar futuras aplicações.

5.3 Aplicação de biossurfactantes como lubrificante

No estudo de Medeiros et al. (2008), os biossurfactantes são utilizados como lubrificantes em fluidos de perfuração, visando substituir os aditivos tradicionais. Os autores destacam o potencial desses compostos como uma alternativa mais sustentável, oferecendo benefícios como alta lubricidade e menor impacto ambiental. A pesquisa explora o uso de biossurfactantes em diversas formulações, demonstrando sua eficácia no aprimoramento das propriedades dos fluidos de perfuração.

O artigo apresenta um estudo experimental que examina diferentes formulações de fluidos poliméricos de perfuração, com e sem aditivos lubrificantes, como biossurfactantes,

glicerina, parafina e biodiesel, incluindo também a combinação do biossurfactante com esses aditivos, além disso os fluidos utilizados no estudo são de base aquosa.

O estudo não menciona a classe do biossurfactante utilizado, mas a sua utilização como um agente lubrificante nos fluidos de perfuração. Os lubrificantes desempenham o papel de manter a alta lubricidade dos fluidos de perfuração, contribuindo para a eficiência e segurança das operações ao facilitar a penetração da broca e da coluna na formação. Sendo assim, a adição de agentes lubrificantes é essencial para reduzir o atrito entre as superfícies metálicas, minimizando o desgaste e prolongando a vida útil dos equipamentos.

O estudo mostra que os fluidos contendo biossurfactante tiveram um desempenho superior em comparação aos que continham outros aditivos, como glicerina e parafina. Usado sozinho, o biossurfactante reduziu o coeficiente de lubricidade (CL) em 30% em comparação ao fluido padrão sem lubrificante, mas combinado com biodiesel, essa redução chegou a 87%, destacando sua alta eficácia. Além disso, também diminuiu o volume de filtrado em 10%, enquanto a mistura com biodiesel resultou em uma redução de 22%. Comparado à glicerina e parafina, o biossurfactante apresentou melhor performance, e sua sinergia com o biodiesel foi particularmente eficiente na melhoria das propriedades lubrificantes e na redução do volume de filtrado. A diminuição do coeficiente de lubricidade (CL) é benéfica porque o CL mede a resistência ao movimento entre duas superfícies. No contexto de fluidos de perfuração, um menor coeficiente de lubricidade indica que o fluido está proporcionando uma lubrificação mais eficiente, reduzindo o atrito entre a roca e as paredes do poço. Já a diminuição do volume de filtrado significa que os fluidos de perfuração se tornaram mais eficazes em vedar as formações, reduzindo perdas e, conseqüentemente, melhorando a eficiência da operação de perfuração.

O estudo menciona a utilização de biodiesel e biossurfactantes que são materiais sustentáveis. Desse modo, o biodiesel é produzido a partir de fontes renováveis, como a mamona, o que é relevante, pois os combustíveis fósseis são finitos e sua exploração ocasiona grandes impactos ambientais.

O estudo sobre a aplicação de biossurfactantes e biodiesel em fluidos de perfuração revela tanto obstáculos quanto possibilidades para a indústria. Entre os desafios, estão o desenvolvimento e a escalabilidade da produção desses materiais em larga escala, o que pode ser complexo e exigir grandes investimentos. Além disso, a estabilidade dos fluidos contendo biossurfactantes e biodiesel em condições operacionais variáveis ainda precisa ser mais estudada. Outro obstáculo também é a aceitação de novos produtos, que pode ser lenta devido às resistências industriais.

Por outro lado, o estudo aponta oportunidades favoráveis, como a inovação nas formulações de fluidos de perfuração, que contribui para a melhoria da eficiência operacional e redução de custos. Além disso, a crescente demanda por tecnologias verdes oferece à indústria a oportunidade de adotar essas soluções ecológicas, melhorando sua imagem e aumentando sua competitividade.

Desse modo, embora haja desafios a serem superados, as oportunidades para inovação e sustentabilidade são significativas e podem transformar o futuro da indústria de perfuração.

5.4 Complemento experimental: Tentativa De Formulação De Um Fluido De Perfuração Usando Biossurfactante

O biossurfactante utilizado foi cedido pelo Laboratório de Bioengenharia (LaBio) da UFPB e foi produzido pela bactéria *Bacillus pumilus* em meio de cultivo contendo caldo de cana. No experimento foi utilizado o caldo fermentado, rico em biossurfactante, e o concentrado desse caldo que continha biossurfactante em uma concentração cinco vezes maior que a do caldo fermentado. O concentrado foi obtido pela precipitação do biossurfactante presente no caldo fermentado, utilizando etanol absoluto na proporção de 1:3 (v/v). Após a mistura, a solução foi mantida em repouso a 4°C por 24 horas. Posteriormente, o precipitado foi filtrado, seco em estufa a 45°C até atingir peso constante e, por fim, dissolvido em água destilada, equivalente a 10% do volume original do caldo fermentado.

A formulação dos fluidos ainda incluía goma xantana (GX), carboximetilcelulose (CMC), óleo de coco da marca Copra e pó de concha de molusco (PCM). Foi utilizada uma balança analítica para a pesagem de todos os componentes utilizados.

Antes da formulação dos fluidos, foram realizados testes de emulsão com diferentes proporções do caldo fermentado e do óleo de coco. Esses testes tinham como objetivo definir uma proporção ideal entre o biossurfactante e o óleo de coco para a formulação dos fluidos verificando a miscibilidade e estabilidade das misturas. Para isso, diferentes proporções de caldo e óleo foram testadas, com 99%, 98% e 97% de caldo misturados a 1%, 2% e 3% de óleo, respectivamente. As misturas foram agitadas e avaliadas quanto à sua miscibilidade. No entanto, nenhuma das tentativas resultou na formação de uma emulsão estável. Por esse motivo, esses testes não serão discutidos nos resultados.

Foram preparados quatro fluidos utilizando o caldo fermentado e um utilizando o concentrado do caldo. Inicialmente, para a preparação dos fluidos, foi adicionado o viscosificante (GX, CMC ou uma mistura de ambos) ao caldo fermentado, com a mistura sendo

realizada em um agitador mecânico, com um intervalo de agitação de 10 minutos entre a incorporação de cada aditivo. Após isso, o óleo de coco foi adicionado gradualmente, seguido pelo pó de concha de molusco (PCM), com novos intervalos de 10 minutos de agitação para cada aditivo. Além disso, utilizou-se um banho-maria ultrassônico para tentar homogeneizar a mistura após a adição do PCM. Os fluidos permaneceram em repouso durante 24 h para posterior caracterização. O mesmo procedimento foi realizado para o fluido contendo o concentrado do caldo. A Tabela 2 apresenta a composição dos 5 fluidos formulados (F1, F2, F3, F4 e F5) para estudo.

Tabela 2: Composição dos fluidos de perfuração F1, F2, F3, F4 e F5.

| Materiais | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
|-----------------------|------|------|------|------|--------|
| Caldo fermentado (g) | 80,0 | 80,0 | 90,0 | 40,0 | - |
| Caldo concentrado (g) | - | - | - | - | 36,58 |
| Goma Xantana (g) | 1,0 | 0,64 | - | 1,0 | 0,9145 |
| CMC (g) | - | 0,36 | 1,0 | - | - |
| Óleo de Coco (g) | 20 | 20,0 | 10,0 | 60,0 | 54,87 |
| PCM | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 |

Fonte: A autora.

A composição utilizada para formular os fluidos foi 80% de caldo e 20 % de óleo para os fluidos F1 e F2, 90% de caldo e 10% de óleo para o fluido F3 e por fim 40% de caldo e 60% de óleo para os fluidos F4 e F5. A proporções adotadas para os fluidos F4 e F5 seguiram a do método de emulsificação de Cooper e Goldberg com 2 partes do caldo para 3 de óleo. A quantidade de PCM variou entre 10 % e 5% do valor total da base do fluido.

Os fluidos de perfuração formulados F1, F2, F3, F4 e F5 estão apresentados na Figura 2. Todos os fluidos apresentaram separação de fases, com exceção do fluido F5, que não apresentou separação de fase após as 24h, mas se solidificou.

Figura 2: Aspecto dos fluidos formulados.

Fluido 1 (F1) Fluido 2 (F2) Fluido 3 (F3) Fluido 4 (F4) Fluido 5 (F5)



Fonte: A autora.

O fluido F5, contendo o caldo concentrado, apresentou inicialmente uma mistura homogênea, apesar de um pouco viscoso, o que indicava potencial para análises reológicas e de filtração. No entanto, após 24 horas, o fluido se solidificou, impossibilitando a continuidade das análises. Já para os fluidos formulados com o caldo concentrado, houve dificuldade em alcançar homogeneidade desde o início, com separação de fases logo após a mistura, ou ficando mais evidente após as 24h o que impediu a realização de testes reológicos e de filtração. Mesmo com a redução da quantidade de PCM de 10% para 5% ainda havia muita dificuldade em solubilizar esse aditivo ao fluido, o que pode ser um indicativo de incompatibilidade entre os componentes do fluido. Os fluidos contendo GX ou a mistura desta com CMC apresentaram uma menor separação de fases.

Os resultados indicam que, apesar do uso do biossurfactante ter sido promissor em um primeiro momento, os desafios relacionados à estabilidade e homogeneidade das formulações persistem. A separação de fases dos fluidos com o caldo fermentado e a solidificação do fluido com caldo concentrado sugerem a necessidade de ajustes nas proporções dos componentes ou, possivelmente, a criação de um diagrama ternário para identificar as proporções corretas de biossurfactante, óleo e água necessárias para gerar uma emulsão ou microemulsão que garantiriam a uma melhor estabilidade ao fluido. Embora a abordagem de utilizar o biossurfactante como tensoativo seja interessante do ponto de vista sustentável, a falta de tempo para ajustes adicionais no experimento, aliada à indisponibilidade de formulações adequadas na literatura, limitou a obtenção de resultados mais conclusivos.

6. CONCLUSÃO

Os estudos revisados reforçam o potencial dos biossurfactantes como componentes inovadores e sustentáveis indicando que estes podem melhorar significativamente a estabilização de emulsões, a prevenção da formação de cristais de hidrato e a lubricidade dos fluidos, promovendo uma perfuração mais segura e eficiente. No entanto, apesar dos resultados promissores ainda há desafios técnicos e econômicos a serem superados para sua ampla adoção, como o custo de produção e a otimização de sua performance em diferentes condições operacionais.

Portanto, é imprescindível que as pesquisas futuras se concentrem no desenvolvimento de formulações de fluidos de perfuração que explorem mais o potencial desse componente, pois uma vez que sua utilização em larga escala se torne viável, os biossurfactantes terão o potencial de transformar a indústria de perfuração.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. G., SOARES DA SILVA, R. D. C. F., LUNA, J. M., RUFINO, R. D., SANTOS, V. A., BANAT, I. M., & SARUBBO, L. A. Biosurfactants: promising molecules for petroleum biotechnology advances. *Frontiers in microbiology*, v.7, p.1718, 2016.
- ARAÚJO, L. V.; FREIRE, D. M. G.; NITSCHKE, M. Biosurfactantes: Propriedades anticorrosivas, antibiofilmes e antimicrobianas. *Quim Nova*, v. 36, n. 6, p. 848-858, 2013.
- ASME, Shale Shaker Committee. *Drilling fluids processing handbook*. Elsevier, p. 651, 2005.
- BANAT, I.M.; SAMARAH, N.; MURAD, M.; HORNE, R.; BANERJEE, S. Biosurfactants production and possible uses in Microbial enhanced oil recovery and oil Pollution remediation: a review. *World J.Microbiol. Biotechnol.*, v. 7, n.1, p. 80-88, 1991.
- BUSTAMANTE, M.; DURÁN, N.; DIEZ, M. Biosurfactants are useful tools for the bioremediation of contaminated soil: a review. *Journal of soil science and Plant Nutrition*, v. 12, n. 4, p. 667–687, 2012.
- CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. *Fluidos de Perfuração e Completação - Composição e Propriedades - Série Engenharia de Petróleo*. 6ª. ed. Elsevier, 2011.
- CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. *Fluidos de perfuração e completação: composição e propriedades* 1ª ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- CAENN, R.; DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. 7. Ed. USA. Gulf Professional Publishing, 2017.
- Campos, J. M., Montenegro Stamford, T. L., Sarubbo, L. A., de Luna, J. M., Rufino, R. D., & Banat, I. M. (2013). Microbial biosurfactants as additives for food industries. *Biotechnology progress*, 29(5), 1097-1108.
- COSTA, P. Desenvolvimento de um fluido de perfuração a base de microemulsão para ser utilizado na perfuração de poço de petróleo. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.
- COSTA, S.G.V.A.O. Estudo da Produção de Metabólitos por *Pseudomonas aeruginosa*: ramnolipídeos e Polihidroxialcanoatos (PHAs). (Tese) Rio Claro/SP 2010. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br>.
- DARLEY, H. C. H.; GRAY, G. R. *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. 5ª. ed, Gulf Publishing Company, 1988.
- DRAKONTIS, C. E., & AMIN, S. Biosurfactants: Formulations, properties, and applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, v.48, p.77-90, 2020.
- FARIAS, C. B. B., ALMEIDA, F. C., SILVA, I. A., SOUZA, T. C., MEIRA, H. M., RITA DE CÁSSIA, F., ... & SARUBBO, L. A. Production of green surfactants: Market prospects. *Electronic Journal of Biotechnology*, v.51, p.28-39, 2021.

- GAUTAM, K. K.; TYAGI, V. K. Microbial Surfactants: A Review. *Journal of Oleo Science*, v. 55, n. 4, p. 155–166, 2006.
- GUIMARÃES, I.B., ROSSI, L. F. S. Estudo dos constituintes dos fluidos de perfuração: proposta de uma formulação otimizada e ambientalmente correta. 4º PDPETRO, Campinas/SP, 2007.
- JINASENA, A., SHARMA, R. Estimativa de perdas de lama durante a remoção da broca estacas na perfuração de petróleo. *SPE J.* v. 25, p. 2162–2177, 2020.
- KARLAPUDI, A. P. et al. Role of biosurfactants in bioremediation of oil pollution-a review. *Petroleum*, v.4, n. 3, p. 241-249, 2018.
- Kelland, M. A. History of the development of low dosage hydrate inhibitors. *Energy & Fuels*, v. 20, p. 825–847, 2006.
- Klomp, U. C., Kruka, V. C., & Reijnhart, R. International Patent Application WO 95/17579, 1995.
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 1 set. 2024.
- MAHTO, V., SHARMA, V.P., Rheological study of a water based oil well drilling fluid, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2004.
- MARINHO, P. S. DA S.; SILVA, R. R. DA; LUNA, J. M. DE. Biossurfactantes microbianos e aplicações ambientais: uma revisão narrativa. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 12, p. e103111234123, 2022.
- MAKKAR, R.S.; CAMEOTRA, S.S. An update on the use of unconventional substrates for biosurfactant production and their new applications. *Appl. Microbiol. Biot.*, v. 58, p. 428-434, 2002.
- MCPHALEN, C.A.; James, M.N.G. Structural comparison of two serine proteinase-protein inhibitor complexes: Eglin-C-subtilisin Carisberg and CI-2-subtilisin novo, *Biochemistry*, v. 27, p. 6582-659, 1988.
- MEDEIROS, S. I. G.; COSTA, M.; MACEDO, S. P. N. Synergy and lubricant effect of biosurfactant/biodiesel addition in polymeric fluids; Acao lubrificante e sinergia da adicao de biosurfactante/biodiesel em fluidos polimericos. Disponível em: <<https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21195923>>. Acesso em: 5 set. 2024.
- Mnif, I., & Ghribi, D. Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.96, n.13, p. 4310-4320, 2016.
- NEGRAO, A.F.; LAGE, A.C.V.M. An Overview of Air/Gas/Foam Drilling in Brazil. *AllDays*, [S.L.], 4 mar. 1997. SPE. <http://dx.doi.org/10.2118/37678-ms>.

NITSCHKE, M.; COSTA, S.G.V.A.O.; CONTIERO, J. Rhamnolipids and PHAs: recent reports on Pseudomonas-derived molecules of increasing industrial interest. *Process Biochem.*, v. 46, p. 621-630, 2011.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: propriedades e aplicações. *Química Nova*. v. 25, n. 5, p. 772-776, 2002.

ONAIZI, S. A. Mineral oil-based drilling fluid formulation using biosurfactant and nanoparticles with good rheological behavior and excellent H₂S scavenging capability. *JCIS Open*, v. 13, n. 100100, p. 100100, 2024b.

ONAIZI, S. A. Oil-based drilling mud comprising biosurfactant and hydrophobic zinc nanoparticles with excellent H₂S scavenging performance. *Journal of Hazardous Materials Advances*, v. 12, n. 100359, p. 100359, 2023a.

ONAIZI, S. A. The utilization of spent palm cooking oil for formulating oil-based drilling muds with excellent H₂S scavenging capability. *Petroleum research*, v. 9, n. 2, p. 280–288, 2024a.

ONAIZI, S. A. Waste cooking oil invert emulsion drilling mud formulation with an effective H₂S scavenging performance. *Geo energy Science and Engineering*, v. 228, n. 212017, p. 212017, 2023b.

PETROBRAS, *Manual de Fluidos de Perfuração*. Rio de Janeiro, CENEPES, 1991.

SAIKIA, T.; MAHTO, V. Evaluation of Soy Lecithin as Eco-Friendly Biosurfactant Clathrate Hydrate Antiagglomerant Additive. *Journal of Surfactants and Detergents*, v. 21, n. 1, p. 101–111, jan. 2018.

SARUBBO, L. A.; SILVA, M. G. C.; DURVAL, I. J. B.; BEZERRA, K. G. O.; RIBEIRO, B. G.; SILVA, I. A.; TWIGG, M. S.; BANAT, I. M. Biosurfactants: Production, properties, applications, trends and general perspectives. *Biochemical Engineering Journal*. v. 181, 2022.

SCHAFFEL, S. B. A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil. 2002. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências de Planejamento Energético., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, Carolina Teixeira da. Desenvolvimento de fluidos de perfuração a base de óleos vegetais. Natal, 2003. 87 f. Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2003.

THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência. Petrobras, 2004.

WATTANAPHON, H. T.; KERDSIN, A.; THAMMACHAROEN, C.; SANGVANICH, P.; VANGNAI, A. S. A biosurfactant from *Burkholderia cepacia* BSP3 and its enhancement of pesticides solubilization. *Journal of Applied Microbiology*, v. 105, n. 2, p. 416–423, 2008.

York, J. D., & Firoozabadi, A. Comparing effectiveness of Rhamnolipid biosurfactant with a quaternary ammonium salt surfactant for hydrate antiagglomeration. *The Journal of Physical Chemistry. B*, v.112, p. 845–851, 2008.