

AVALIAÇÃO DA POTENCIAL APLICAÇÃO DA GLICERINA BIDESTILADA EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO AQUOSOS.

Luiza Maria de Sousa¹, Keila Regina Santana¹

Resumo: Devido à novas normas ambientais e a busca pela sustentabilidade, a indústria petrolífera tem necessitado se adequar cada vez mais, e investir em pesquisas de como atingir tais normas. Os fluidos de perfuração, por serem essenciais ao processo de perfuração de poços, são grande parte do impacto ambiental do processo de exploração de petróleo, logo, cria-se uma demanda de pesquisa de outras formulações mais adequadas as novas normas ambientais. Foi realizado um estudo com o uso da glicerina bidestilada em fluidos de perfuração aquosos, onde foram avaliadas vinte e sete diferentes formulações, a fim de se observar a influência da presença desta, nos parâmetros reológicos e densidade dos fluidos. Os resultados obtidos foram analisados através de mapeamento de modelagem fatorial com a construção do diagrama de pareto e superfícies de resposta, utilizando o software Statistica 8.0. De acordo com os resultados obtidos foram observados aspectos positivos no ajustes de densidade, através da redução de bolhas dada pela diminuição da tensão superficial das mesmas. No que se refere a viscosidade aparente, observou-se que é possível reduzir a concentração de polímero dos fluidos sem impacto nesta, e reduzindo o custo da formulação.

Palavras-chave: Glicerina bidestilada; Perfuração de poços; petróleo.

1. INTRODUÇÃO.

Na indústria petrolífera, os fluidos de perfuração desempenham um papel fundamental para as perfurações de poços de petróleo, sendo um dos pilares estratégicos para a indústria do óleo e gás, atuando ativamente no resfriamento da broca quando está acontecendo a perfuração do poço, ele ajuda em sua estabilidade e controla a pressão subterrânea, evitando assim acidentes graves, como um blowouts. Tradicionalmente, os fluidos podem ser formulados com bases aquosas, oleosas ou mesmo sintéticos, além de terem em sua composição uma série de aditivos químicos [1]

É de interesse da indústria, se adequar a causa sustentável devido as normas regulamentadoras mais arrojadas que pressionam as empresas, por isso procuram novas alternativas para os fluidos de perfuração e investem pesado em tecnologias e investem também em novos estudos na área, devido que na maioria das formulações de fluidos tem aditivos nocivos ao meio ambiente, com isso as empresas do ramo petrolífero estão tomando medidas agressivas para adição de novos fluidos, que na sua composição sejam mais sustentáveis e que possa reduzir os impactos ambientais. [2]

O não-cumprimento das normas ambientais pode acarretar multas milionárias para as empresas, com isso a glicerina aparece como uma opção viável para se alinhar aos interesses das mesmas [3], a glicerina tem custo baixo e é ecologicamente menos tóxica que outros fluidos dispostos no mercado [4]. Apesar de terem uma eficiência mais validada, os fluidos à base óleo, tem o contraponto de não estarem atendendo os requisitos de sustentabilidade que as empresas petrolíferas buscam. [5]

A glicerina bidestilada, tem características viscosas e uma baixa toxicidade comparada a outras bases, por conta de seus aspectos, ela se torna uma opção de grande viabilidade em comparação a outros fluídos. Como a indústria procura se adequar as regulamentações e a questão sustentável presente, o glicerol se alinha a estes requisitos com sua biodegradabilidade e não nocividade.[6] Este estudo, fundamentado em dados experimentais e pesquisas anteriormente realizadas, tem como objetivo avaliar a eficiência da glicerina bidestilada na formulação de fluidos de perfuração aquosos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. FLUÍDOS DE PERFURAÇÃO

Segundo, THOMAS et al. (2001), “os fluidos de perfuração são misturas complexas de sólidos, líquidos, produtos químicos e, por vezes, até de gases. Sendo que, do ponto de vista químico, eles podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo do estado físico dos componentes”. [7].

Em operações de perfuração de poços, os fluidos utilizados podem ter bases aquosas, oleosas e até gasosas, eles são vistos como essenciais, pois exercem diversas funções cruciais, incluindo i) resfriar e lubrificar a broca; ii) remover os cascalhos do subsolo; iii) regular a pressão das formações; iv) construir uma camada de reboco que veda os poros e outras aberturas nas estruturas expostas pela broca; v) transmitir informações. Para que as funcionalidades operem adequadamente, é necessário que suas propriedades físico-químicas estejam reguladas e sob controle, a fim de se ajustarem às condições da subsuperfície. [8]

A classificação dos fluídos, se realiza conforme o material principal que compõe a fase contínua. Se dado componente a fase contínua é majoritariamente formada por água, o fluido é categorizado como fluido a base água, caso contrário, se o material principal for óleo, será um fluido com base oleosa, além desses fluídos, temos fluido a base gás, que engloba tanto o gás está em fase contínua, como o gás seco, e também onde o gás está em fase descontínua, como espumas. [7]

Embora os fluidos de base oleosa apresentem vantagens em termos de desempenho, como maior capacidade de lubrificação, controle de filtrado e estabilidade em formações rochosas, eles não são ambientalmente sustentáveis e não atendem às crescentes exigências normativas ambientais do setor. Em contrapartida, os fluidos que contêm água se sobressaem pelo preço baixo, menor impacto ambiental e maior biodegradabilidade. [5]

As propriedades físico-químicas dos fluídos de perfuração, precisam ser observadas durante a aplicação, em categoria de importância é extremamente preciso observar os parâmetros reológicos, pois eles terão um impacto direto na determinação da dissipação de energia nas tubulações e na taxa de velocidade de transporte dos cascalhos para a superfície. Por meio das análises reológicas do fluido, conseguimos prever o comportamento do fluido em diferentes condições de temperatura, pressão e taxa de cisalhamento.. [7]

2.2. PARÂMETROS REOLÓGICOS

Derivado das palavras gregas "rheo" que significa "fluxo" e "logos" que significa estudo. A reologia é uma sub-área da física que tem como objetivo fazer a análise pelas propriedades reológicas do como os fluídos se comportam quando submetidos a diferentes níveis de tensão, possibilitando prever seu comportamento sob diversas circunstâncias. [9]

Para entender a categorização dos fluidos viscosos, é necessário entender como a viscosidade e a taxa de cisalhamento se relacionam. Se a proporcionalidade for constante, o fluido é categorizado como newtoniano; caso contrário, não newtoniano. Isaac Newton instituiu o princípio básico da viscosidade, com a seguinte lei: $\tau = \mu\gamma$, em que τ corresponde à tensão de cisalhamento; μ representa a viscosidade e γ representa a taxa de cisalhamento, é também chamada de equação dos fluidos newtonianos. [10]

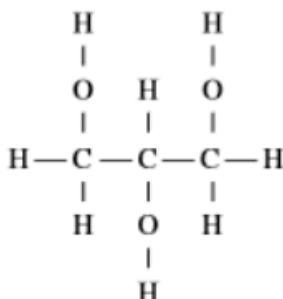
Por conta que sua deformação não é proporcional a tensão de cisalhamento, isso afeta diretamente a viscosidade do fluido não newtoniano que não será constante. A viscosidade aparente se altera conforme a taxa de cisalhamento aplicada. [11]

Ao analisar as características reológicas de um fluido, o primeiro critério de análise é determinar se ele é newtoniano ou não-newtoniano, para então poder determinar sua classificação. O comportamento do fluxo será indicado de acordo com os parâmetros da reologia, determinados através de formulações matemáticas, que tem influência diretamente com cálculo da perda de carga na tubulação e a velocidade de transporte dos cascalhos. [12]

2.3 GLICERINA

O glicerol é uma substância viscosa com elevado grau de solubilidade em água, devido à presença de três grupos hidroxila em sua estrutura molecular. Quando submetido ao processo de destilação dupla, alcança um nível de pureza superior ao de sua forma bruta [13].

Figura 1: Estrutura molecular da glicerina



Fonte: Castello, 2009.

Há um grande interesse na sua reaplicação no setor da industrial, ela é resultante da reação de transesterificação, processo responsável pela produção de biodiesel e tendo como subproduto o glicerol. [14] A produção de glicerina aumenta na mesma proporção que a demanda por biodiesel, e conforme a lei 13.263/2016 é estabelecido uma adição obrigatória de 15 % de biodiesel ao diesel em todo território nacional.

A indústria demonstra grande interesse em desenvolver fluidos que contenham glicerol em sua formulação, o que colabora com este fato, são suas propriedades que trazem otimização do desempenho dos processos, trazendo melhoria na lubrificação, por conta das suas propriedades viscosas ajuda no controle da viscosidade dos fluidos de perfuração. [15]

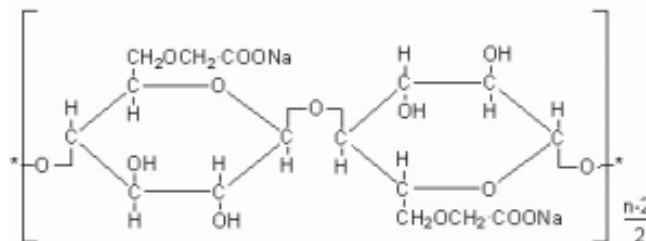
A Glicerina enfrenta atualmente o desafio de manter um equilíbrio entre suas características naturais e a densidade do fluido, além de controlar a pressão do poço. Para que seja usada da melhor forma é necessária a adaptação na formulação do fluido para que possa oferecer suas propriedades sem que aja o comprometimento da

operação. Em razão da mesma ter uma densidade menor que alguns fluidos com base óleo, isso pode resultar em que ela não consiga produzir a pressão requerida nos reservatórios de maior profundidade e alta pressão. [16]

2.4 CELULOSE POLIANIÔNICA(PAC)

A celulose polianiônica é um componente polimérico amplamente utilizado na indústria petrolífera na perfuração de poços offshore, como aditivo em fluidos de perfuração, é empregado para reduzir a perda de fluidos para a formação, é empregado também para trazer maior estabilidade térmica e traz um ganho de viscosidade para o fluido. [17]

Figura 2: Estrutura molecular da Celulose Polianiônica

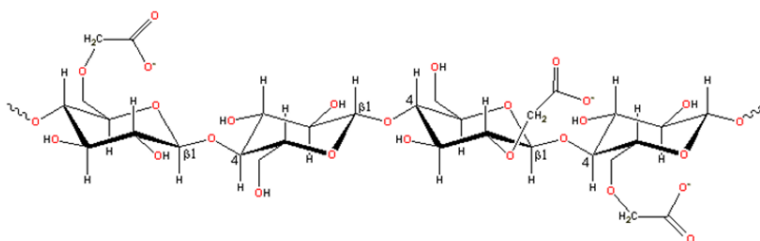


Fonte: IRO Group Inc.

2.5 CARBOXIMETILCELULOSE

A carboximetilcelulose é um aditivo derivado da celulose com alta solubilidade em água e com características biodegradáveis, ele é utilizado no desenvolvimento de fluidos de perfuração de poços, ela atua como viscosificante e como controlador de filtração, quando é adicionado sal (NaCl) ao CMC, sua eficiência aumenta, impactando na redução do volume do filtrado e com o aumento da viscosidade. [18]

Figura 3: Estrutura molecular da Carboximetilcelulose



Fonte: Kaistner, 1996.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Os componentes empregados na preparação dos fluidos de perfuração foram: glicerina bidestilada, goma xantana (GX), carboximetilcelulose (CMC), Celulose polianiônica (PAC), Cloreto de Sódio (NaCl), óxido de magnésio (MgO) e Carbonato de Cálcio (CaCO_3).

3.2. Formulação dos fluidos

Utilizou-se um agitador Hamilton beach para preparar os fluidos de perfuração, adicionando gradualmente todos os aditivos. Os componentes foram adicionados ao fluido a cada 10 minutos e, posteriormente, passaram por análises de densidade e propriedades reológicas. A tabela 1 que apresenta a formulação dos fluidos:

Tabela 1: Composição das formulações dos fluidos de perfuração.

Aditivo	Concentração
Água (%)	30,50 e 70
Glicerina (%)	30, 50 e 70
CMC (lb/bbl)	0, 0,5 e 1
PAC (lb/bbl)	0, 0,5 e 1
MgO (lb/bbl)	0,3
CaCO ₃ (lb/bbl)	10
Goma Xantana (lb/bbl)	2
NaCl (lb/bbl)	10

3.3. Determinação da densidade

Para a medição da densidade dos fluidos de perfuração foi utilizado o equipamento balança densimétrica modelo Fann 140 e a técnica empregada para a obtenção dos resultados foi a do teste padrão API-13B-2.

3.4. Determinação dos parâmetros reológicos

Em um viscosímetro rotativo da FANN, modelo 35 A, com a combinação de R1-B1 e mola de torção F1, as propriedades reológicas foram avaliadas. A avaliação reológica de cada fluido foi feita em diversas rotações (600, 300, 200, 100, 6 e 3 rpm). Em seguida, foram calculadas a viscosidade plástica (VP), a viscosidade aparente (VA) e o limite de escoamento (LE), de acordo com a norma API.

3.5. Mapeamento por modelagem fatorial

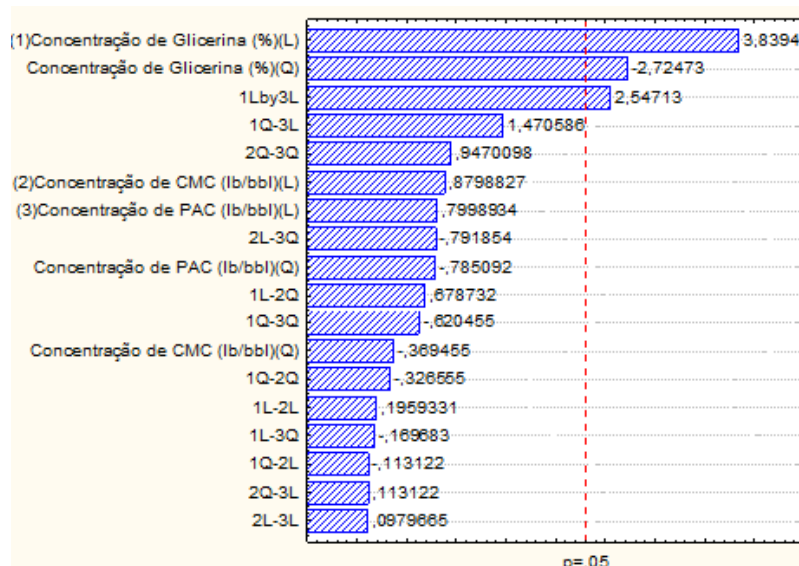
Com o objetivo de avaliar as interações entre os fatores que determinam a reologia dos fluidos a razão glicerina/água (%), a concentração CMC e a concentração de PAC, foram mapeadas através da análise estatística experimental (DOE – *Design of experiment*), por MSR e gráficos de Pareto, considerando como variáveis de resposta a densidade, as viscosidades plástica e aparente, bem como o limite de escoamento.

4. RESULTADOS DE DISCUSSÕES

4.1. Avaliação da Densidade

A Figura 4 mostra o diagrama de Pareto a fim de se observar a sensibilidade da densidade dos fluidos em relação aos parâmetros analisados.

Figura 4: Diagrama de Pareto – Densidade

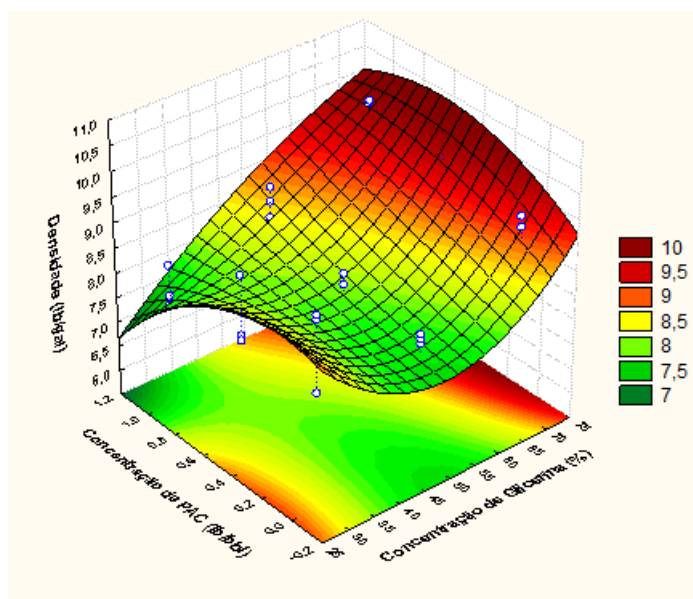


Fonte: Autoria própria

Conforme mostrado na figura 4, os efeitos estatisticamente significativos na densidade dos fluidos foram a concentração de glicerina e a interação entre a concentração de glicerina e a concentração de PAC, onde foi possível observar menores valores de densidade do fluido à medida que aumenta a concentração de polímero no meio. Essa discrepância nos valores é atribuída a enorme formação de bolhas trapeadas no fluido como aumento da viscosidade.

Dado o efeito da interação entre as concentrações de glicerina e PAC, que a Figura 5 apresenta a Superfície de resposta obtida em relação à densidade dos fluidos. A região em vermelho das Superfícies de Resposta representa a área de maior densidade registrada dentro do intervalo de parâmetros analisados.

Figura 5: Superfície de resposta - Densidade



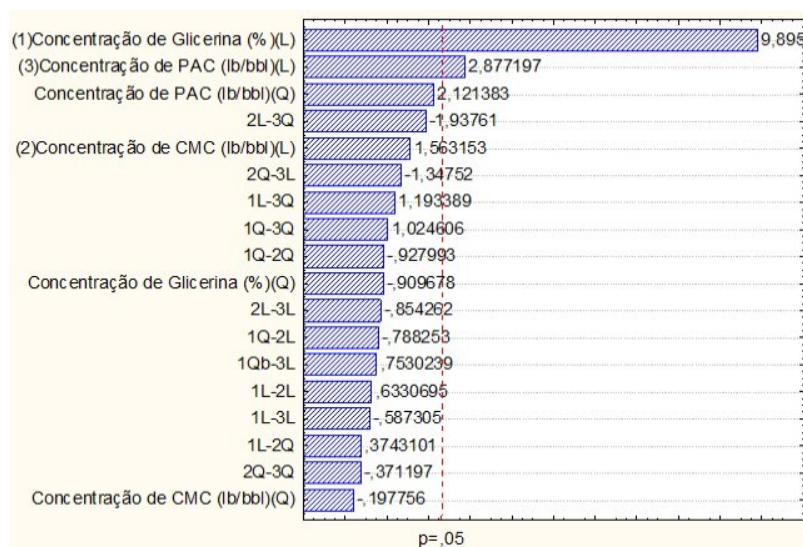
Fonte: Autoria própria

De acordo com a Figura 5 observa-se que os maiores valores de densidade dos fluidos foram obtidos para os maiores valores de glicerina utilizados em todo o intervalo de concentração de PAC estudado, ficando assim comprovada a eficiência da glicerina na redução de bolhas no fluido através da redução da tensão superficial destas, provocando uma leitura real dos valores de densidade.

4.2. Avaliação da Viscosidade Aparente

A Figura 6, representada no diagrama de Pareto, mostra a sensibilidade da viscosidade aparente dos fluidos aos intervalos de análise dos parâmetro.

Figura 6: Diagrama de Pareto – VA

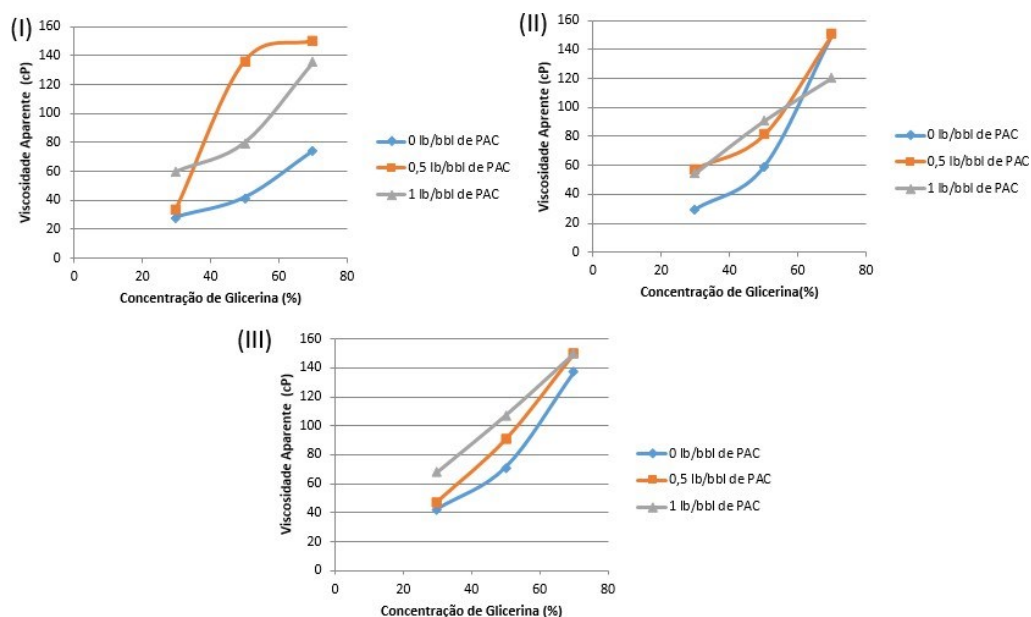


Fonte: Autoria própria

De acordo com a Figura 6, nota-se que as concentrações de glicerina e PAC, ambas com sinal positivo, foram os parâmetros estatisticamente significativos na viscosidade aparente dos fluidos. Um aumento desses parâmetros resultará em um aumento na viscosidade aparente dos mesmos.

Na Figura 7 apresenta as medições de viscosidade aparente em relação à concentração de glicerina para os três níveis de concentração de CMC empregados: 0 lb/bbl (I), 0,5 lb/bbl (II) e 1 lb/bbl (III).

Figura 7- Viscosidade aparente em relação à concentração de glicerina 0 lb/bbl de CMC (I), 0,5 lb/bbl de CMC (II) e 1 lb/bbl de CMC (III).



Fonte: Autoria própria

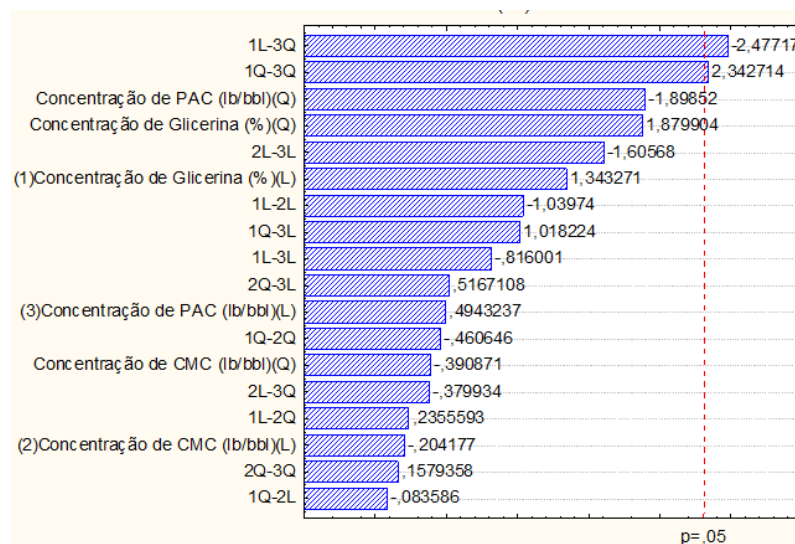
De acordo com a Figura 7 nota-se um crescimento na concentração de glicerina. provocou um aumento na viscosidade aparente dos fluidos avaliados, esse efeito comprova que o uso da glicerina, além de melhorar os parâmetros reológicos, contribui significativamente para redução da quantidade de polímero nos fluidos. Outro ponto importante refere-se à eficiência da glicerina na inibição de argilas expansivas. Resultados preliminares comprovaram o efeito de inibição de formulações contendo essa proporção de glicerina (70:30) no fluido.

Além disso, notou-se que a presença de CMC teve uma influência mínima nos parâmetros reológicos, em comparação ao fluido que continha apenas PAC em todas as concentrações de glicerina analisadas.

4.3. Avaliação da Viscosidade Plástica e Limite de Escoamento

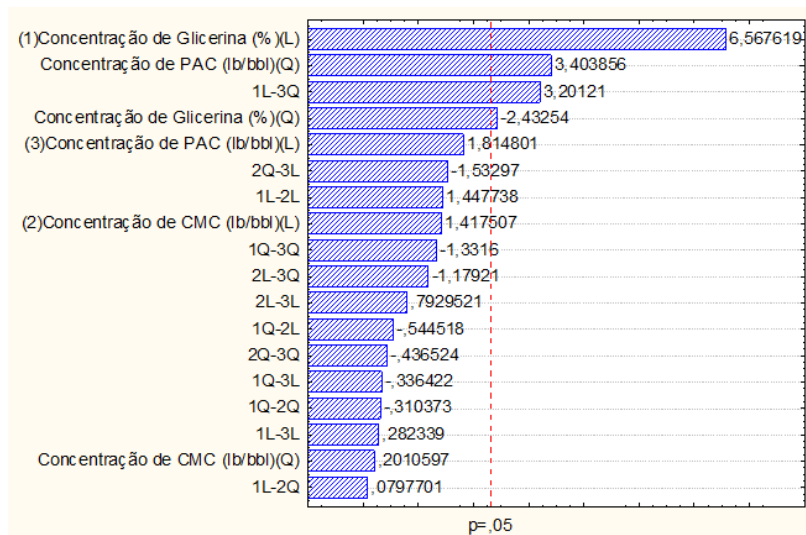
As Figuras 8 e 9 mostram o diagrama que podemos observar a sensibilidade da viscosidade plástica e do limite de escoamento dos fluidos em relação aos intervalos dos parâmetros avaliados, respectivamente.

Figura 8: Diagrama de Pareto – Viscosidade Plástica



Fonte: Autoria própria

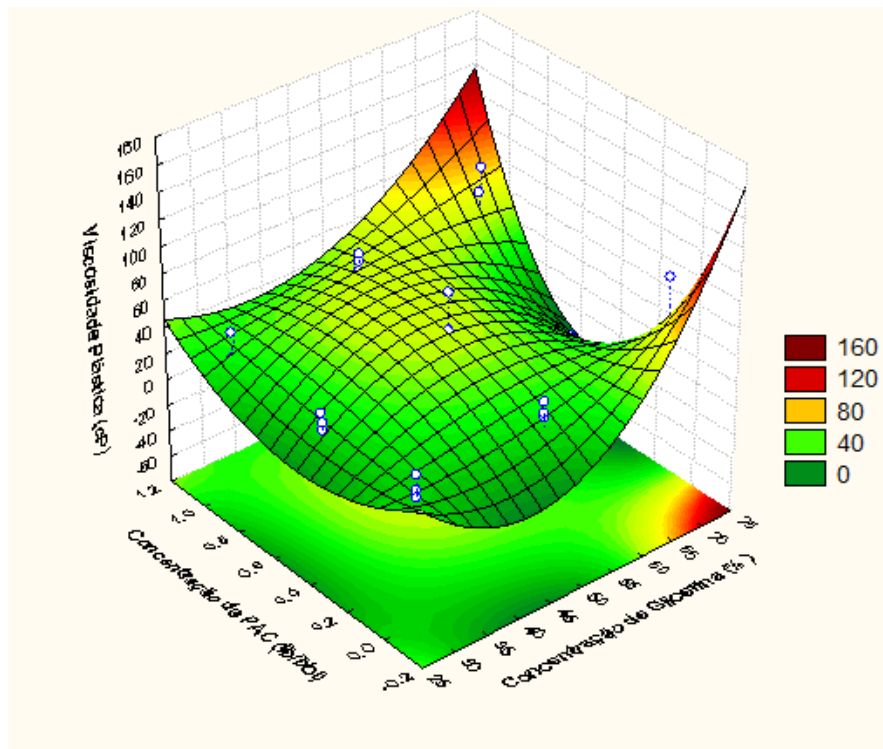
Figura 9: Diagrama de Pareto – Limite de Escoamento



Fonte: Autoria própria

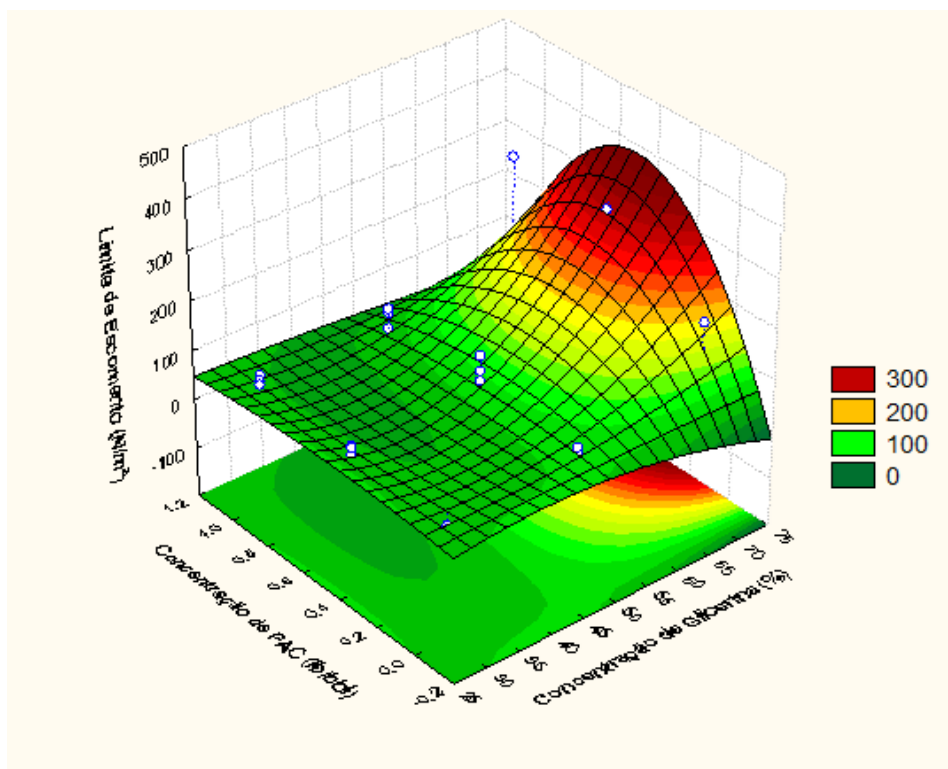
Conforme ilustrado nas Figuras 8 e 9, nota-se que a interação entre as concentrações de glicerina e PAC teve um impacto estatisticamente significativo na viscosidade plástica e no limite de escoamento. Devido a essa relevância, as respectivas Superfícies de resposta foram desenhadas, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10: Superfície de Resposta – Viscosidade Plástica



Fonte: Autoria própria

Figura 11: Superfície de Resposta – Limite de Escomento



Fonte: Autoria própria

De acordo com a Figura 10 constata-se que os valores mais elevados de viscosidade plástica foram obtidos para os maiores valores de glicerina utilizados (70%) para as concentrações mínima (0 lb/bbl) e máxima (1 lb/bbl) de PAC utilizados, esse resultado pode ser atribuído a eficiente contribuição da glicerina nos parâmetros reológicos do fluido, corroborando com os resultados anteriores que mostram a possibilidade da redução da concentração de polímeros sem prejuízo desses, contribuindo assim para uma redução nos custos da sua formulação. Um efeito similar pode ser observado no limite de escoamento (Figura 11), visto que os maiores valores deste foram obtidos para as maiores concentrações de glicerina com a concentração de PAC entre 0 lb/bbl e 0,5 lb/bbl.

5. CONCLUSÕES

Podemos concluir que:

- 1) Conforme os resultados alcançados, observou-se que a aplicação da glicerina bidestilada pode ter um impacto financeiro positivo, devido a diminuição de custos e além disso contribui no meio ambiente, uma vez que se trata de um subproduto renovável da indústria de biodiesel.
- 2) No que se refere a densidade dos fluidos a adição da glicerina se mostrou uma boa opção na redução de bolhas através da redução da tensão superficial destas, provocando uma leitura real dos valores desse parâmetro.
- 3) Quanto a viscosidade aparente, concluiu-se que o aumento da concentração de glicerina provocou um aumento desse parâmetro, o que permite uma redução da quantidade de polímero nos fluidos.
- 4) A presença de CMC apresentou pouca influência na nos parâmetros reológicos quando comparado ao fluido contendo apenas PAC em todas as concentrações de glicerina avaliadas.
- 5) Os dados obtidos sobre o limite de escoamento e a viscosidade plástica dos fluidos corroboraram com a análise da viscosidade aparente que comprova que é possível se obter valores favoráveis desses parâmetros com uma menor quantidade de polímero utilizado, reduzindo assim o custo na formulação destes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAENN, Ryen; DARLEY, Henry CH; GRAY, George R. **Composition and properties of drilling and completion fluids**. Gulf professional publishing, 2011.
2. AMORIM, Luciana Viana et al. Melhoria, proteção e recuperação da reologia de fluidos hidroargilosos para uso na perfuração de poços de petróleo. 2003.
3. ZHAO, Xiangyang et al. Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid: a review. **RSC advances**, v. 12, n. 35, p. 22853-22868, 2022.
4. RIBEIRO FILHO, Francisco de A.; MAINIER, Fernando B.; MONTEIRO, Luciane P. Costa. Evaluation of the use of glycerin and sodium silicate in water-based drilling fluid. **Int. J. Res.–Granthaalayah**, v. 8, p. 187-193, 2020.
5. MORAVEJI, Mostafa Keshavarz et al. Application of amorphous silica nanoparticles in improving the rheological properties, filtration and shale stability of glycol-based drilling fluids. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 115, p. 104625, 2020.
6. GU, Yanlong; JÉRÔME, François. Glycerol as a sustainable solvent for green chemistry. **Green Chemistry**, v. 12, n. 7, p. 1127-1138, 2010.
7. THOMAS J.E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2001.
8. SERRA, A.C.S., A influência de aditivos de lama de perfuração sobre as propriedades geoquímicas

9. GOMES, A. F. C. Estudo experimental e numérico do comportamento reológico de um fluido de perfuração. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2019

10. MELO, K. C. Avaliação e modelagem reológica de fluidos de perfuração base água. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.

11. SUEHARA, B. B. Síntese de nanoaditivo de argila bentonítica para formulação de fluidos de perfuração à base de água. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Gama, DF, 2013.

12. ZADOROZHNYI, A. A. et al. Correlation of rheological parameters with the flow of non-Newtonian fluids. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2021. p. 012056.

13. PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. New York, McGraw-Hill, 1997

14. CASTELLÓ, M. L. Estudo da glicerina por análises térmicas. **Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro**, 2009.

15. ZHAO, Xiangyang et al. Advanced developments in environmentally friendly lubricants for water-based drilling fluid: a review. **RSC advances**, v. 12, n. 35, p. 22853-22868, 2022

16. LIU, W. et al. Research on evaluation and prevention of hydrate formation and blockage risk in wellbore during deepwater gas wells drilling. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 180, n. November 2018, p. 668–680, 2019.

17. SEIXAS, JE de. Aditivação de fluidos de perfuração. **Monografia de graduação em Engenharia de Petróleo. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ**, v. 83, 2010.

18. YANG, F.; LI, G.; HE, Y.; REN, F.; WANG, G. Synthesis, characterization, and applied properties of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate Polymers*, v. 78, p. 95-99, 200.