

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE
HIDROGÉIS DE GLICERINA PARA FRATURAMENTO
HIDRÁULICO**

AUTORES:

Pamella Domingos Paulino¹, Keila Regina Santana Fagundes², Raquel Alves Ramos², Kilton Renan Pereira³,
Fabio Pereira Fagundes⁴

INSTITUIÇÃO:

Bolsista PRH-55.1 ANP, E-mail pamelladp@gmail.com¹; Engenharia de Petróleo, UFERSA²; Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água - PPGMSA, UFERSA³; Químico de fluidos, Baker Hughes⁴

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE HIDROGÉIS DE GLICERINA PARA FRATURAMENTO HIDRÁULICO

Resumo

O fluido de fraturamento ideal deve formar reboco nas faces da fratura para diminuir sua perda e simultaneamente minimizar o dano ao “pacote” do agente de sustentação e faces da fratura da formação. A fratura é criada pela redistribuição de tensões causada pela pressurização do poço, que provoca o surgimento de esforços na parede do poço superiores à resistência à tração da rocha. Já a geometria das fissuras, está relacionada com as propriedades mecânicas da rocha e o campo de tensão entre a zona fraturada e adjacências. A baixa viscosidade do fluido e concentrações de propante causam geometrias de fratura complexas devido à penetração mais profunda de fluidos de fraturamento em micro e nanofraturas. Além disso, a sedimentação do propante devido à fluidização e deposição em monocamadas de aderência entre faces de fratura alinhadas ou deslocadas podem aumentar esta complexidade. Diante desse cenário constitui um desafio-chave o desenvolvimento de novos hidrogéis capazes de desempenhar uma maior estabilidade térmica e mecânica, além proporcionar um menor dano à formação. Nesse contexto, a glicerina surge como uma alternativa promissora na confecção desses géis poliméricos reticulados. Por essa razão, o objetivo principal desse trabalho consiste em avaliar as propriedades reológicas desse hidrogéis à base de glicerina, de forma a entender o impacto que cada formulação exerce no processo de fraturamento hidráulico. Os hidrogéis foram formulados em função de diferentes concentrações de glicerina e polímero de goma guar. Para tratamento dos dados, o programa estatístico *Statistica Software versão 8.0* foi empregado para obtenção dos efeitos, Diagrama de Pareto e as superfícies de respostas. Os parâmetros reológicos foram avaliados com base na viscosidade aparente pré-gel e pós quebra. De acordo com os resultados obtidos, foi verificado que os maiores valores de viscosidade aparente foram obtidos para a maior concentração de goma guar (3lb/bbl) e para o menor valor de temperatura estudado (25°C). Esse efeito pode ser justificado em virtude que maiores temperaturas (75°C) provocam o afastamento das cadeias poliméricas devido ao aumento da energia interna do sistema, reduzindo o atrito entre elas e favorecendo a redução da viscosidade. Outro ponto importante refere-se que a presença de glicerina em todas as concentrações estudadas foi responsável por uma redução da viscosidade aparente, em virtude de sua característica de fluido newtoniano, e proporcionou uma quebra mais eficiente dos sistemas.

Palavras-chave: Fraturamento hidráulico, hidrogéis de glicerina, propriedades reológicas.

Abstract

The ideal fracturing fluid should form plaster on the fracture faces to minimize its loss and simultaneously minimize damage to the “package” of the supporting agent and fracture faces of the formation. The fracture is created by the redistribution of stresses caused by the pressurization of the well, which causes the emergence of stresses in the well wall greater than the tensile strength of the rock. The crack geometry, on the other hand, is related to the mechanical properties of the rock and the stress field between the fractured zone and its surroundings. Low fluid viscosity and proppant concentrations cause complex fracture geometries due to deeper penetration of fracturing fluids into micro and nanofractures. In addition, sedimentation of proppant due to fluidization and deposition in bonding monolayers between aligned or displaced fracture faces can increase this complexity. Given this scenario, the development of new hydrogels capable of providing greater thermal and mechanical stability, in addition to providing less damage to the formation, constitutes a key challenge. In this context, glycerin appears as a promising alternative in the manufacture of these cross-linked polymeric gels. For this reason, the main objective of this work is to evaluate the rheological properties of these

glycerin-based hydrogels, in order to understand the impact that each formulation has on the hydraulic fracturing process. The hydrogels were formulated according to different concentrations of glycerin and guar gum polymer. For data processing, the statistical program Statistica Software version 8.0 was used to obtain the effects, Pareto diagram and response surfaces. The rheological parameters were evaluated based on the pre-gel and post-crack apparent viscosity. According to the results obtained, it was verified that the highest values of apparent viscosity were obtained for the highest concentration of guar gum (3lb/bbl) and for the lowest temperature value studied (25°C). This effect can be explained by the fact that higher temperatures (75°C) cause the polymer chains to move away due to the increase in the internal energy of the system, reducing the friction between them and favoring the reduction of viscosity. Another important point is that the presence of glycerin in all concentrations studied was responsible for a reduction in the apparent viscosity, due to its characteristic of a Newtonian fluid, and provided a more efficient breakdown of the systems.

Keywords: Hydraulic fracturing, glycerin hydrogels, rheological properties.

Introdução

O fraturamento hidráulico é uma operação que visa estimular a produção de poços que contenham petróleo e gás natural. É uma técnica que estima aumentar a permeabilidade da formação rochosa, através da criação de caminhos altamente condutores gerados pela injeção de um fluido pressurizado. É uma das mais eficazes técnicas empregadas para a elevação do fluxo dos fluidos do reservatório para o poço, provocando, assim, um aumento da produção do petróleo e gás (Goel et al., 2002; Sousa et al., 2014).

Durante a injeção do fluido no poço são acrescentados agentes de sustentação para manter a fratura aberta, criando assim uma permeabilidade artificial. Esses agentes de sustentação são materiais que impedem o fechamento das fraturas, quando a injeção do fluido de fraturamento é interrompida, após o tratamento de fraturamento hidráulico. Esse processo é usado em campos novos ou em campos que já atingiram seu pico de produção (campos maduros), ou que possuam baixa permeabilidade (baixo fator de recuperação) (SOUSA et al., 2014).

O fluido de fraturamento exerce papel importante é ele o responsável em formar um reboco nas paredes da estrutura fissurada bem como exercer pressão sobre elas. Segundo SANTANNA (2003). O fluido de fraturamento ideal deve formar reboco nas faces da fratura para diminuir a perda de fluido e simultaneamente minimizar o dano (redução da permeabilidade) no pacote de agente de sustentação em faces da fratura. Segundo Grothe (2000), o fenômeno da perda de fluido por filtração durante a propagação de uma fratura assume papel relevante uma vez que está diretamente relacionado à eficiência volumétrica do tratamento, tendo implicações tecno-econômicas no projeto e também na execução do método.

A baixa viscosidade do fluido e as concentrações de propante causam geometrias de fratura complexas devido à penetração mais profunda de fluidos de fraturação em micro e nanofraturas. Além disso, a sedimentação do propante devido à fluidização e deposição em monocamadas de aderência entre faces de fratura alinhadas ou deslocadas podem aumentar esta complexidade. Em um estudo de caso relatado, redes de fraturas significativamente maiores e mais complexas foram observadas utilizando fluidos de fraturamento de água em comparação com fluidos reticulados para o mesmo poço.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades reológicas desse hidrogéis à base de glicerina, de forma a entender o impacto que cada formulação exerce no processo do fraturamento hidráulico.

Metodologia

Preparação dos géis reticulados

Os géis poliméricos (Tabela 1) foram preparados em um agitador Hamilton Beach, adicionando sequencialmente todos os aditivos. Os aditivos foram incorporados ao fluido em intervalos de 10 minutos e, posteriormente, o processo de reticulação foi concluído com a adição de 1 ml de hidróxido de sódio (8 M).

Tabela 1: Formulação do hidrogel base

Aditivo	Concentração
Água (ml)	200
Glicerina (%)	10, 15 e 20
Goma Guar (lb/bbl)	1, 2 e 3
KCl (lb/bbl)	10
H ₃ BO ₃ (lb/bbl)	1
NaOH 8 M (ml)	1

Processo de quebra dos géis reticulados

Os géis foram submetidos a diferentes temperaturas (25°C, 50°C e 75°C) em presença de persulfato de amônia ((NH₄)₂S₂O₈) em função da cinética do tempo. A eficiência de quebra foi avaliada com base na massa restante de polímero (g) e na redução da viscosidade para valores próximos de 10 cP (ZAMORA et al., 2010).

Determinação da viscosidade aparente dos géis pós-quebra

As viscosidades aparentes dos géis submetidos a diferentes tipos e concentração de quebradores e temperatura foram determinadas em um viscosímetro rotativo da FANN, modelo 35 A, combinação de R1-B1 e mola de torção F1. A análise reológica de cada gel foi realizada na rotação de 600 rpm e, posteriormente, a viscosidade aparente (VA) foram determinadas, conforme a norma API.

Parâmetros analisados

Foi utilizado um planejamento fatorial 3³, com três níveis e três variáveis (mínimos (-1), intermediários (0) e máximos (+1)), como mostra a Tabela 2 para avaliar a interação dos parâmetros utilizados (tipo de quebrador, concentração de quebrador e temperatura), tendo como variáveis de resposta: Perda de massa, turbidez e viscosidade aparente.

Tabela 2: Intervalo de análise dos parâmetros avaliados

Parâmetro	Valor Mínimo (-1)	Valor Intermediário (0)	Valor Máximo (+1)
Concentração de glicerina (%)	10	15	20
Concentração de Goma Guar (lb/bbl)	1	2	3
Temperatura (°C)	25	50	75

Para tratamento dos dados, o programa estatístico *Statistica Software versão 8.0* foi empregado para obtenção dos efeitos, diagrama de pareto e as superfícies de respostas.

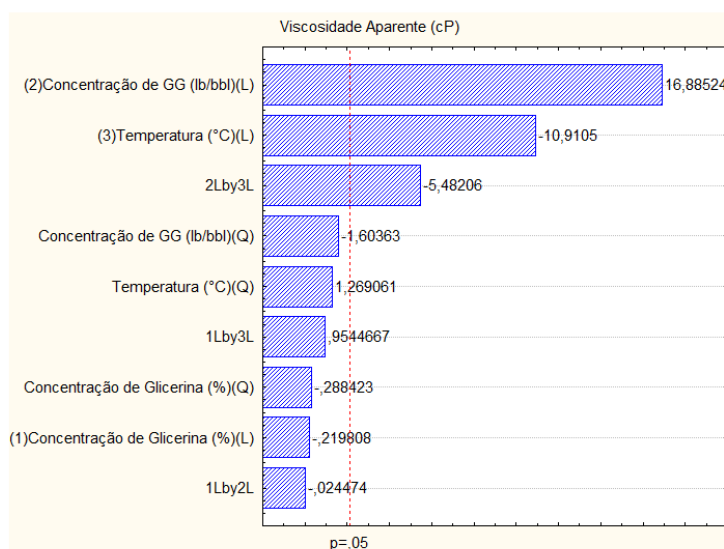
Resultados e Discussão

Comportamento Reológico pós-quebra dos géis

De acordo com Zamora e colaboradores (2010), a quebra completa dos géis, refere-se a um fenômeno no qual a viscosidade de um gel é reduzida até tal nível que o gel possa ser expelido da formação pelo fluxo de fluidos formados ou que possa ser recuperado por operação de pistoneio (*swabbing*). Em laboratório, um gel não reticulado completamente quebrado é aquele cuja viscosidade é aproximadamente 10 cP ou menos, conforme medida em viscosímetro modelo 35 Fann equipado com rotor R1B1.

A Figura 1 mostra o diagrama de Pareto para se observar a sensibilidade das propriedades reológicas em relação aos intervalos dos parâmetros avaliados.

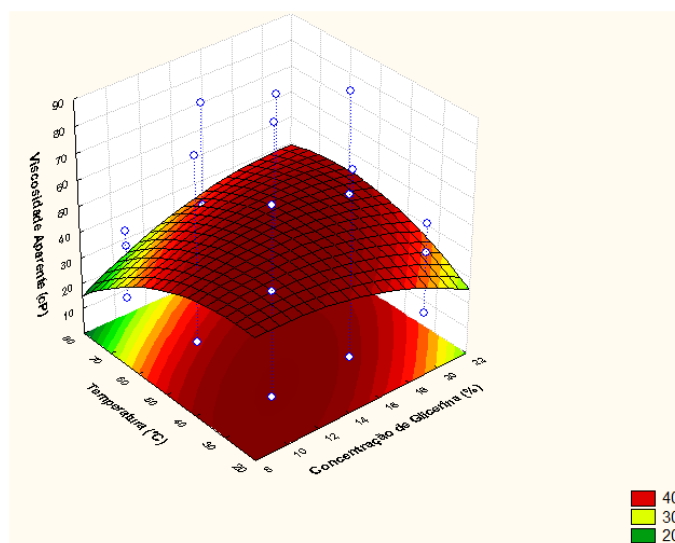
Figura 1: Diagrama de Pareto – Viscosidade Aparente



De acordo com a Figura 1, os principais efeitos estatisticamente relevantes são:

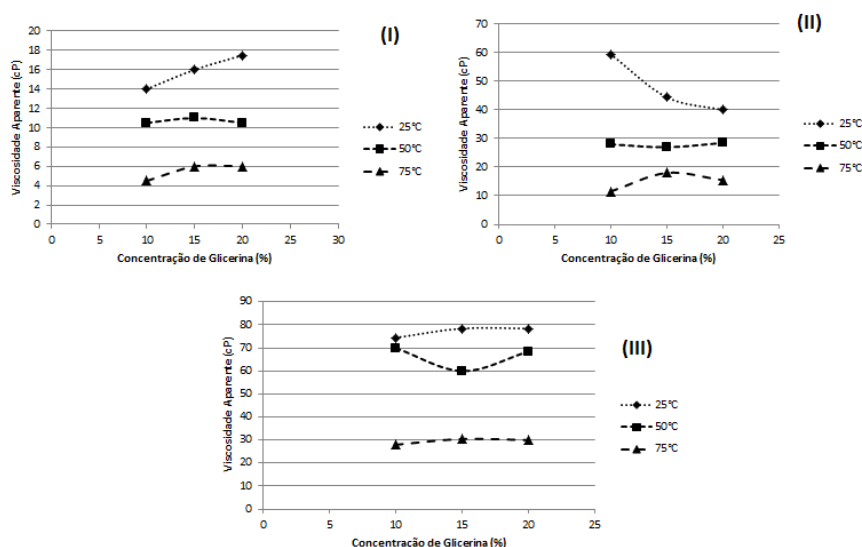
1. Concentração de Goma Guar (GG): o efeito foi significativo positivo, logo se espera um incremento na viscosidade aparente quando a maior concentração de polímero for utilizada (3 lb/bbl). Esse efeito pode ser explicado devido ao fato o uso dessa concentração foi responsável por intensificar o grau de entrelaçamento das cadeias poliméricas, promovendo assim, uma maior estabilidade do gel linear.
2. Temperatura: o efeito foi significativo com sinal negativo, logo para o nível mínimo de temperatura utilizado (25°C) tem-se um aumento na viscosidade aparente dos géis lineares.

Em virtude da influência da interação entre a concentração de GG e a temperatura, a Figura 2 mostra a Superfície de resposta obtida referente a viscosidade aparente dos géis. A região vermelha das Superfícies de Resposta mostra a região de maior viscosidade aparente obtida no intervalo dos parâmetros estudados.

Figura 2: Superfície de Resposta – Viscosidade Aparente.

De acordo com a Figura 2, percebe-se que os maiores valores de viscosidade aparente foram obtidos para a maior concentração de GG (3lb/bbl) e para o menor valor de Temperatura estudado (25°C). Esse efeito pode ser justificado em virtude que maiores temperaturas (75°C) provocam o afastamento das cadeias poliméricas devido ao aumento da energia interna do sistema, reduzindo o atrito entre elas e favorecendo a redução da viscosidade.

A Figura 3 mostra os resultados de viscosidade aparente versus a concentração de glicerina para os 3 níveis de concentração de goma guar utilizados: 1 lb/bbl (I), 2 lb/bbl (II) e 3 lb/bbl (III).

Figura 3: Viscosidade aparente versus concentração de glicerina 1 lb/bbl de GG(I), 2 lb/bbl de GG (II) e 3 lb/bbl de GG (III).

De acordo com os dados apresentados na Figura 3, fica evidenciado que a temperatura exerce um parâmetro importante na redução da viscosidade aparente dos sistemas, onde foi observado uma queda nos valores de viscosidade à medida em que se houve o aumento da temperatura. Outro ponto importante, refere-se ao fato que em sistemas com 1 lb/bbl de goma guar, conforme pode ser visualizado no gráfico (I), houve uma tendência no aumento da viscosidade aparente dos sistemas. Por outro lado, na concentração de 2 lb/bbl de goma guar (Ver gráfico II), foi observado um efeito contrário, onde o aumento da concentração de glicerina proporcionou uma queda nos valores de viscosidade aparente (cP).

Esse comportamento pode ser justificado, possivelmente, em função dessa zona de transição sol-gel, onde nessa faixa de concentração de goma guar, associado a temperatura do sistema, os pontos de quebra do gel podem ser facilmente atacados pelo quebrador e assim, o comportamento visco-elástico do gel se torna governado pela presença da glicerina, a qual por ser um fluido newtoniano, tende a trazer o comportamento reológico para valores mais baixos.

No gráfico (III) é observada uma maior estabilidade nos valores de viscosidade aparente à temperatura de 25 °C, mesmo com o aumento da glicerina no meio, o que definitivamente corrobora que o incremento de viscosidade está relacionado aos sítios de reticulação e não à presença de glicerina no meio. De forma geral, o efeito da glicerina se torna mais pronunciado à medida que ocorre uma quebra mais eficiente do gel, ao passo que géis que apresentem um alto grau de reticulação, a glicerina apresenta uma ínfima contribuição ao sistema.

Conclusões

Os resultados obtidos nesse trabalho são alusivos a aplicação de glicerina bidestilada em géis de fraturamento, onde destacam-se as seguintes conclusões:

- No que se refere a concentração de Goma Guar, obteve-se um incremento na viscosidade aparente quando a maior concentração de polímero for utilizada (3 lb/bbl).
- Quanto ao parâmetro temperatura, percebe-se que para o nível mínimo de temperatura utilizado (25°C) tem-se um aumento na viscosidade aparente dos géis lineares.
- Observou-se que em sistemas com 1 lb/bbl de goma guar houve uma tendência no aumento da viscosidade aparente dos sistemas. Por outro lado, na concentração de 2 lb/bbl de goma guar, foi observado um efeito contrário, onde o aumento da concentração de glicerina proporcionou uma queda nos valores de viscosidade aparente (cP).
- Percebeu-se uma maior estabilidade nos valores de viscosidade aparente à temperatura de 25 °C, mesmo com o aumento da glicerina no meio, o que definitivamente corrobora que o incremento de viscosidade está relacionado aos sítios de reticulação e não à presença de glicerina no meio.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PRH 55.1/UFERSA o apoio financeiro e a Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA pelo apoio na execução desse trabalho.

Referências Bibliográficas

GOEL, N., SHAH, S.N., GRADY, B.P. Correlating viscoelastic measurements of fracturing fluid to particles suspension and solids transport. J. Petrol. Sci. Eng. 35, 59–81. 2002

GROTHER, V.P. Estudo da filtração de fluidos reticulados em simulações físicas de fraturamento hidráulico. Dissertação (Mestrado), Engenharia de Petróleo, UNICAMP, Campinas – SP, 2000.

RIBEIRO, Yngrid Fernanda de S.; SPAGNOL, Jayana Nóbrega; FAGUNDES; Fabio Pereira. Viscoelastic properties of linear and cross-linked fracturing gels based on xanthan/guar mixtures - effect of temperature and cross-linker concentration on the proppant settling velocity, 2014. Trabalho apresentado ao 17. Rio Oil & Gas, Rio de Janeiro, 2014.

SOUSA, W.T. de. Et.al. (2014). Perspectivas da Produção de Óleo e Gás pelo Método de Fraturamento Hidráulico. Disponível em: <https://ibram.org.br/sites/1300/1382/00005695.pdf> . Acesso em: 06 de jan. 2022.

SANTANNA, V. C. Obtenção e estudo das propriedades de um novo fluido de fraturamento hidráulico biocompatível. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Programa de Recursos Humanos da ANP em Engenharia de Processos em Plantas de Petróleo e Gás Natural – PRH14, UFRN, Natal-RN, 2003.

Zamora, F., Thompson, J. Kakadjian, S. R., Garza, J.L. Patente PI 1101503-9 A2, número 12/758, 466. Estados Unidos. 2010.