

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Influência da composição química sobre a estabilidade térmica de géis de fraturamento à base de hidroxipropilguar

AUTORES:

Jéssica Pessoa Araújo¹, Fabio Pereira Fagundes², Rodrigo César Santiago¹, Keila Regina Santana Fagundes¹

INSTITUIÇÃO:

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Engenharia de Petróleo, ²Universidade Potiguar, Programa de pós-graduação em Engenharia de Petróleo e Gás

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA SOBRE A ESTABILIDADE TÉRMICA DE GÉIS DE FRATURAMENTO À BASE DE HIDROXIPROPILGUAR

Abstract

Hydraulic fracturing is a technique that aims to increase the permeability of the rock formation by creating highly conductive paths through the application of a pressure differential. Fracturing gels are used for the purpose of transmitting the pressure differential needed to cause the break formation and thus enable the continued opening of channels created by the proppant agent within the reservoir rock. The gel composition in association with the pressure and temperature are the main factors that control the hydraulic conductivity of the well. In this context, the main objective of this study is to evaluate the effect of the hydroxypropyl concentration (HPG), boric acid and potassium chloride (KCl) in the thermal stability of crosslinked gels in order to associate the viscoelastic behavior to the process of hysteresis and degradation suffered by fracturing gel at different temperatures. The rheological properties of HPG-based gels (no crosslinking) were evaluated on a Model 35-A viscometer (FANN). The thermal stability evaluation of gels according to the hysteresis was determined from the mass balance calculation, in temperatures of 25, 45 and 65°C in association to ionic strength and polymer concentration using a statistical design (Statistica 7.0). According to results, it was evidenced that temperature in association to ionic strength was responsible for affecting the entanglements between polymeric chains, and consequently, the hysteresis phenomenon. Based on experimental design (Statistica 7.0) was proved that the HPG concentration of 2 lb/bbl in the range from 25 to 45 °C showed higher thermal stability degree, whereas high concentration of salt was responsible to promote high hysteresis, justified by salting out effect.

Introdução

A técnica de estimulação através do fraturamento hidráulico tem como objetivo aumentar a produtividade de poços de petróleo ou gás. Nesta técnica, um fluido viscoso é bombeado para o fundo do poço a uma pressão suficientemente elevada, visando à criação de uma fratura de alta condutividade na formação de interesse (GROTHE, 2000). A fratura inicia-se junto à parede do poço e propaga-se em direção ao interior da formação à medida que o fluido é injetado. O fluido de fraturamento transporta sólidos responsáveis pela sustentação da fratura (areia, bauxita ou cerâmica), os quais asseguram a existência de um canal efetivo e permanentemente aberto ao fluxo de hidrocarbonetos após o fim do bombeio (NOBREGA, 2007).

As soluções poliméricas são extensivamente utilizadas na preparação de géis reticulados (Liu et al., 2010; Goel et al., 2002). A composição do gel em associação com a pressão e temperatura constituem os principais fatores que controlam a condutividade hidráulica do poço. Por essa razão, constitui um desafio-chave o entendimento do sinergismo entre a composição do gel (Força iônica, agente reticulante, concentração de polímero) em associação com fatores externos como pressão e temperatura.

Nesse contexto, o objetivo principal desse trabalho consiste em avaliar o efeito da concentração de hidroxipropilguar (HPG) e do cloreto de potássio (KCl) na estabilidade térmica de géis reticulados, de forma a associar o comportamento viscoelástico ao processo de histerese e degradação sofrida pelo gel de fraturamento em diferentes temperaturas.

Metodologia

Materiais

Os materiais utilizados na preparação dos géis de fraturamento foram: hidroxipropilguar (HPG), Cloreto de potássio (KCl), Ácido bórico e Hidroxido de sódio (8N), todos doados pela PETROBRAS.

Preparação dos Fluidos

Os géis de fraturamento foram preparados em um agitador Hamilton Beach, adicionando sequencialmente todos os aditivos. A avaliação da estabilidade térmica dos géis em função da histerese foi determinada com base no cálculo de balanço de massa, em função das temperaturas de 25, 45 e 65 °C, onde foram avaliados os efeitos da concentração de hidroxipropilguar – HPG (Tabela 1) e Cloreto de potássio – KCL (Tabela 2).

Tabela 1. Efeito da concentração de Hidroxipropilguar (HPG)

	F ₁	F ₂	F ₃
Água Destilada (ml)	200	200	200
HPG (lb/bbl)	1	2	3
KCl (lb/bbl)	8	8	8
Ácido Bórico (lb/bbl)	0,5	0,5	0,5
NaOH -8N (ml)	2	2	2

Tabela 2. Efeito da concentração de Cloreto de Potássio (KCl)

	F ₄	F ₅	F ₆
Água Destilada (ml)	200	200	200
HPG (lb/bbl)	3	3	3
KCl (lb/bbl)	4	8	12
Ácido Bórico (lb/bbl)	0,5	0,5	0,5
NaOH -8N (ml)	2	2	2

Determinação dos parâmetros Reológicos

As propriedades reológicas 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 fluido foi realizada nas rotações de 600 e 300 rpm e, posteriormente, a viscosidade plástica (VP), foi determinadas, conforme a norma API.

Planejamento fatorial

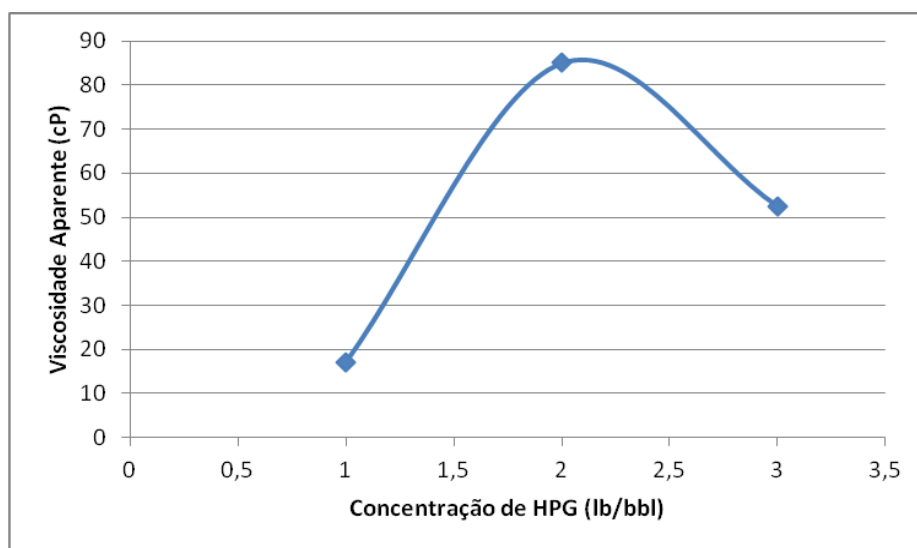
Um planejamento fatorial considera as possíveis combinações que se podem obter entre os diferentes fatores que serão analisados, neste trabalho foram avaliados o efeito da interação entre a temperatura e a concentração de HPG e a temperatura e a concentração de KCl, utilizando o software STATISTICA.

Resultados e Discussão

Influência da concentração de HPG na estabilidade térmica de géis de fraturamento

A Figura 1 mostra a influência da concentração do hidroxipropilgumar na viscosidade aparente dos pré-géis.

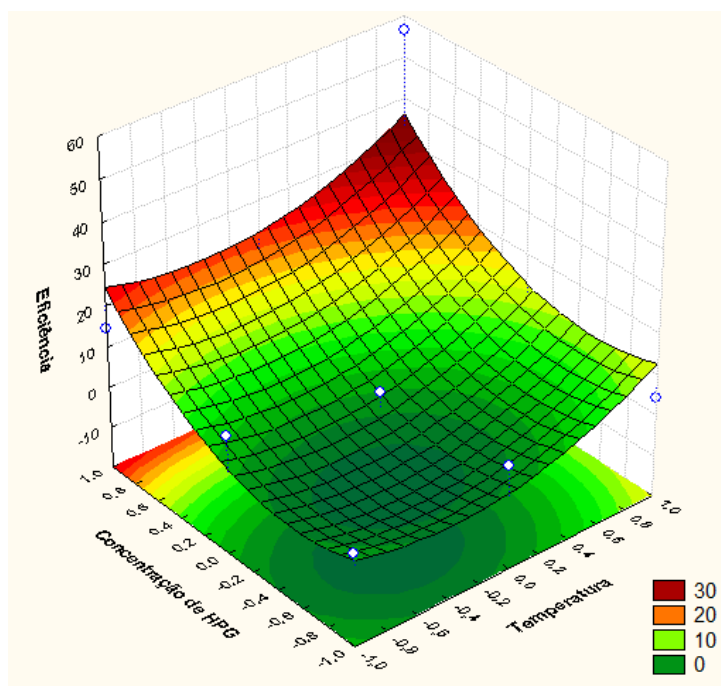
Figura 1 – Efeito da concentração de HPG na viscosidade aparente



De acordo com os resultados mostrados na Figura 1 percebe-se que a concentração de 2lb/bbl de HPG foi responsável por intensificar o grau de entrelaçamento das cadeias poliméricas, promovendo assim, uma maior rigidez do gel e consequentemente, o processo de histerese foi menos evidenciado sob às diferentes temperaturas ao longo do tempo. Além disso, foi observado uma redução da viscosidade aparente na concentração de polímero de 3 lb/bbl. Mesmo sem adição do alcalizante (NaOH) no sistema, o pH do meio favoreceu a formação de íons borato e, consequentemente, promoveu a formação de microgéis no meio, especificamente, com a concentração de 2 lb/bbl de polímero. Tal efeito não foi observado na concentração de 3 lb/bbl em virtude da alta concentração de polímero para baixa concentração de agente reticulante, o que certamente, minimizou a formação de estruturas reticuladas.

A temperatura exerce um papel crucial nas propriedades físico-químicas dos géis de fraturamento. A Figura 2 mostra a superfície de resposta obtida através do planejamento experimental para se avaliar a influência dos parâmetros analisados (concentração de HPG e Temperatura) sobre a eficiência na estabilidade térmica dos géis. A região vermelha das Superfícies de Resposta mostra a região ótima de trabalho, onde se obtém maiores eficiências para cada gel.

Figura 2. Superfície de resposta: Concentração de HPG x Temperatura

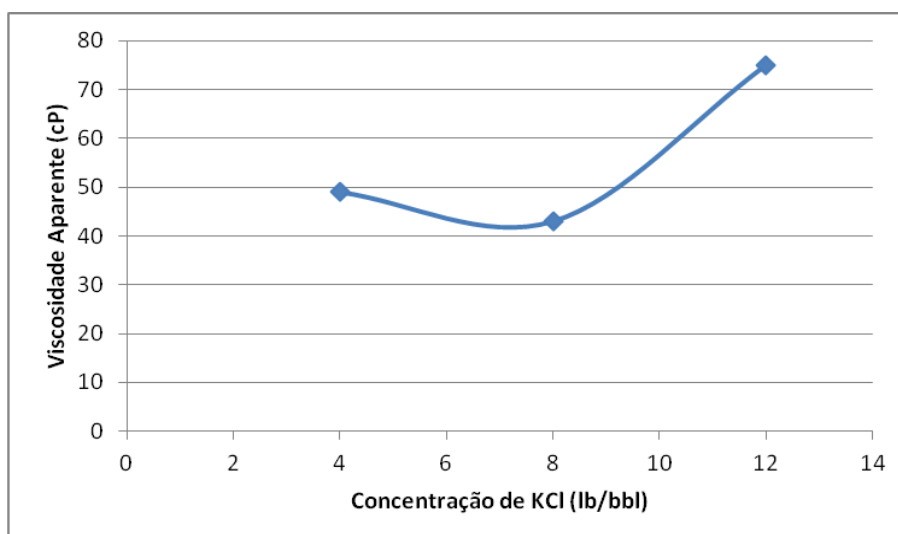


De acordo com a Figura 2, pode-se observar que as maiores eficiências foram obtidas para os valores de 1 e 2 lb/bbl de HPG e para menores temperaturas (25 e 45°C). Na concentração de 3 lb/bbl foi observada uma redução na estabilidade térmica em termos de histerese. Esse efeito ocorreu devido, provavelmente, à baixa concentração de agente de reticulante em razão do número de cadeias não reticuladas, em consequência disso, uma maior perda de água à medida que ocorre o aumento de temperatura é observada. Em altas temperaturas, ocorre o favorecimento de ruptura das estruturas cristalinas do HPG obtidas durante a gelificação, favorecendo a perda de água por histerese e assim redução da estabilidade.

Influência da concentração de KCl na estabilidade térmica de géis de fraturamento

A Figura 3 mostra a influência da concentração de cloreto de potássio na viscosidade aparente dos pré-géis.

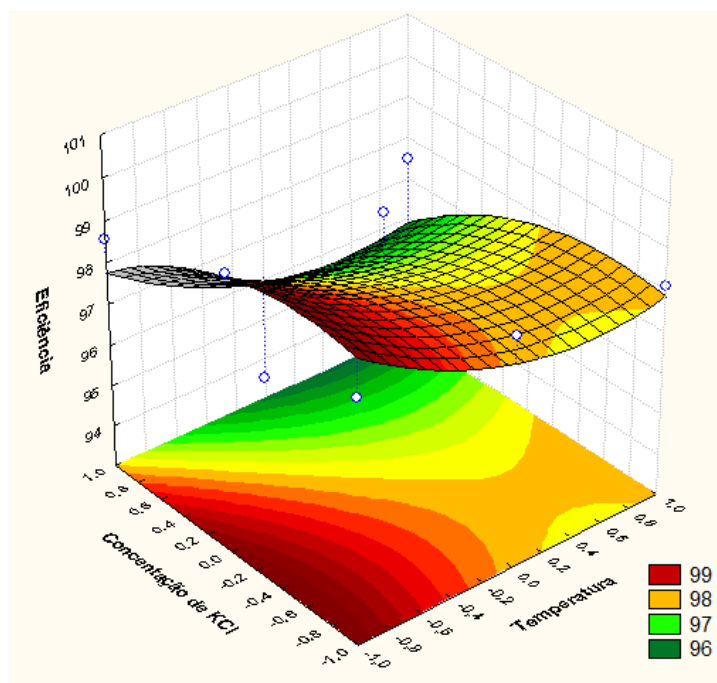
Figura 3 – Efeito da concentração de KCl na viscosidade aparente



O efeito da força iônica sobre as propriedades reológicas de hidrogéis à base de hidroxipropilgumar representa um importante parâmetro para o desenvolvimento de géis de fraturamento. A presença de sal influencia o comportamento de equilíbrio de uma mistura significativamente, onde os fenômenos de salting out e salting in são responsáveis por controlar o processo de solvatação do sal pelas moléculas de água (COPOLOVICI & NIINEMETS, 2007; TURNER, 2003).

De acordo com a Figura 3 observa-se que o efeito da força iônica foi responsável por aumentar as propriedades viscoelásticas dos géis na concentração de 12 lb/bbl de sal. Tal fato pôde ser explicado através do fenômeno de salting out. A Figura 4 mostra a superfície de resposta obtida através do planejamento experimental para se avaliar a influência dos parâmetros analisados (concentração de KCl e Temperatura) sobre a eficiência na estabilidade térmica dos géis. A região vermelha das Superfícies de Resposta mostra a região ótima de trabalho, onde se obtém maiores eficiências para cada gel.

Figura 4. Superfície de resposta: Concentração de KCl x Temperatura



De acordo com a Figura 4, pode-se observar que as maiores eficiências foram obtidas para os valores de 1 e 2lb/bbl de HPG e para menores temperaturas (25 °C). A concentração de sal (12 lb/bbl) favoreceu o efeito de *salting out*, ou seja, a água tendeu a sofrer mais rapidamente interações eletrostáticas por ligações de hidrogênio com o K^+ em solução, ao invés de permanecer solvatando as moléculas do polímero e dessa forma, é observado uma maior de água para o meio, o que favorece a estruturas com menor elasticidade. Além disso, em virtude da razão de polímero (3lb/bbl)/agente reticulante (0.5 lb/bbl) um menor número de estruturas gelificadas foi observado e, em consequência disso, o fenômeno de *salting out* pôde ser maior evidenciado. Em temperaturas mais altas (65 °C) em associação com alta concentração de sal (12 lb/bbl) e de polímero (3 lb/bbl) foi observado uma menor estabilidade comparada às demais. Fato justificado por um menor número de estruturas reticuladas e das fortes interações do sal com água presente no meio, além do favorecimento de ruptura das estruturas cristalinas do gel em temperaturas mais altas.

Conclusões

De acordo com os resultados obtidos ficou evidenciado que a temperatura em associação a força iônica foi responsável por promover alterações nos entrelaçamentos entre as cadeias poliméricas, e consequentemente, o fenômeno da histerese. Baseado no planejamento experimental observou-se que a concentração de HPG de 2lb/bbl no intervalo de temperatura entre 25 e 45°C mostrou maior estabilidade térmica, além disso, a alta concentração de sal foi responsável por promover aumento da histerese, justificado pelo efeito *salting out*.

Agradecimentos

Os autores agradecem à PRH-56/ANP e a PETROBRAS pelo apoio na execução desse trabalho.

Referências Bibliográficas

ADACHI J.; SIEBRITS E.; PEIRCE A.; DESROCHES J. Computer simulation of hydraulic fractures.; International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 2007 44, 739 – 757.

BARATI R.; HUTCHINS R.D.; FRIEDEL T.; AYOUB J.A.; DESSINGES M.; ENGLAND K.W. Fracture impact of yield stress and fracture-face damage on production with a three-phase 2d model.; Society of Petroleum Engineers - Production e Operation 2009, 336 - 345.

CASTRO, Antônio Orestes de Salvo; FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. COMPARAÇÃO ENTRE GENETIC FUZZY SYSTEM E NEURO FUZZY SYSTEM PARA SELEÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO PARA FRATURAMENTO HIDRÁULICO. Cadernos do Ime – Série Estatística, Rio de Janeiro-RJ, v. 22, n. 1413-9022, p.1-15, 2007.

CASTRO, Antônio Orestes de Salvo. TESE, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2005. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia de Produção, Departamento de Coppe, Ufrj, Rio de Janeiro, Rj – Brasil, 2005.

CLARK P.E.; BARKAT O.; Hydraulic fracturing fluids: the crosslinking of ‘ l-hydroxypropyl guar with titanium chelates, 1989.

GOEL N.; SHAH S. N.; GRADY B. P. Correlating viscoelastic measurements of fracturing fluid to particles suspension and solids transport.; Journal of Petroleum Science and Engineering 2002, 35, 59 – 81.

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

HOLTSCLOW J.; FUNKHOUSER G.P. A crosslinkable synthetic-polymer system for high-temperature hydraulic-fracturing applications.; Society of Petroleum Engineers – Drilling e Completion 2010, 555 – 563.

LIU D.; FAN M.; YAO L.; ZHAO X.; WANG Y. A new fracturing fluid with combination of single phase microemulsion and gelable polymer system, Journal of Petroleum Science and Engineering 2010, 73, 267 – 271.

NOBREGA, G.A.S; SILVA, F.C.P; GOMES, M.F; DANTAS, A.A; BARROS, E.L.B; Obtenção de um novo gel de fraturamento hidráulico a base de tensoativo, 4º PDPETRO, 2007.

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

REINICKE A.; RYBACKI E.; STANCHITS S.; HUENGES E.; DRESEN G. Hydraulic fracturing stimulation technique sand formation damage mechanisms—Implications from laboratory testing of tight sandstone–proppant systems.; *Chemie der Erde* 2010, 70, S3, 107 – 117.

COPOLOVICI, L.; NIINEMETS, U.; Salting-in and salting-out effects of ionic and neutral osmotic on limonene and linalool Henry's law constants and octanol/water partition coefficients, 2007.

TURNER, A.; Salting out of chemicals in estuaries: implications for contaminant partitioning and modeling, 2003.