

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



TÍTULO DO TRABALHO:

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO LÁTEX SBR NAS PROPRIEDADE REOLÓGICAS DE PASTAS DE CIMENTO

AUTORES:

Ramón Victor Alves Ramalho¹, Salete Martins Alves¹, Júlio Cezar de Oliveira Freitas²

INSTITUIÇÃO:

Bolsista PRH-14 ANP, ramonvictor31@gmail.com, ¹ Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, ² Departamento de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

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.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO LÁTEX SBR NAS PROPRIEDADE REOLÓGICAS DE PASTAS DE CIMENTO

Abstract

The primary cementing works hydraulically isolating the well and ensuring mechanical stability. The Potiguar basin has large viscous oil fields where the recovery method used is the Steam injection; this operation is accomplished by injecting steam directly into the well, which causes dilatation of the same, promoting failure in cement placed in the annular and consequently the waterproofing loss. In this case, the use of SBR Latex, is done to improve the flexibility of the cement matrix reducing fatigue failure. Fresh, cement slurries must stay fluid during pumping so that its movement does not compromise the limits of pressures established in the well operating window. Therefore, the rheological parameters should be carefully monitored to avoid operational problems during circulation in the well. This study aims to evaluate the rheological behavior of doped cement slurries with SBR Latex. Slurries were prepared at concentrations of 0; 1.0; 2.0; 3.0 gallon per cubic foot of SBR latex in the cement slurry. The rheological parameters (plastic viscosity, yield point and gel strength) was determined in a 3500 Chandler viscometer. The results showed that with increasing concentration of SBR latex, among certain intervals, there was a considerable increase in plastic viscosity values and yield strength and positive influence on control of the filtrate. Indicating that such compositions containing SBR latex may exhibit rheological properties within specifications.

Introdução

O látex SBR é utilizado em larga escala em pastas de cimento para adicionar características flexíveis ao componente cimentício. Ao adicionar o componente polimérico a mistura, a pasta de cimento ganhar propriedades plásticas devido ao entrelaçamento das longas cadeiras moleculares do Látex, tornando a estrutura do compósito mais amorfa e, conseqüentemente, menos frágil.

A utilização de uma pasta de cimento adequada em um poço de petróleo é de fundamental importância para o seu ciclo de vida útil, evitando possíveis intervenções futuras no poço, o que acarreta gastos adicionais.

No nordeste brasileiro, por exemplo, há grandes concentrações de reservatórios de óleo pesado, para isso, é necessária a utilização de métodos térmicos de recuperação especial de petróleo. O método mais difundido para óleos pesados e com maiores índices de recuperação é a injeção de vapor, pelo motivo da tecnologia envolvida ser consideravelmente dominada pela região. No Rio Grande do Norte é amplamente utilizada a injeção de vapor, a partir do vapor produzido pela Termoçu, na região do Vale do Açu, em Alto do Rodrigues-RN.

O método de injeção de vapor consiste na injeção de vapor d'água no reservatório através do poço. Como poço é composto de uma estrutura de revestimento metálico e cimento, é comum esta estrutura sofrer rupturas devido aos coeficientes de dilatação dos componentes serem diferente. Assim, a aplicação do Látex SBR provome a diminuição nas rupturas, uma vez que torna o componente cimentício com maior módulo de elasticidade.

Metodologia

Os ensaios realizados neste trabalho foram realizados nas instalações do Laboratório de Cimentos da UFRN. Foi utilizado Cimento classe especial para poços de petróleo de batelada 124 fabricado pela Cimesa com sede em Laranjeiras/SE. O cimento foi fornecido pela Petrobras em Mossoró/RN. As especificações deste tipo de cimento estão descritas na norma ABNT BR 9831.

As pastas de cimento formuladas foram elaboradas com o intuito de aplicação em cimentação primária, ou seja, para ocupar longitudinalmente o espaço anular compreendido entre o tubo de revestimento e a formação rochosa. A configuração idealizada para a realização dos ensaios foi determinada a partir de configurações usuais em poços perfurados no estado do Rio Grande do Norte.

- ◆ Profundidade do poço: 600 metros
- ◆ Gradiente geotérmico: 2,3°F/100ft
- ◆ Temperatura de circulação (BHCT)¹ = 91 °F
- ◆ Temperatura estática (BHST)² = 125°F
- ◆ Massa específica da pasta: 15,2 lb/gal

As pastas preparadas tiveram volume total de 600ml, conforme a norma API RP10B. Este volume, e também seu preparo, representa em escala reduzida o processo de preparação. Todas as pastas foram formuladas com Antiespumante, Dispersante, Controlador de filtrado, Sílica, Água potável, Cimento e Látex SBR (exceto na pasta padrão).

Tabela 1: Componentes utilizados nas formulações

Componentes	Fabricante	Volume específico (gal/lb)
Cimento classe especial para poços de petróleo de batelada 124	Cimesa – Laranjeiras/SE	0,0371
Sílica <i>Flour</i>		0,0371
Água potável		0,1202
Antiespumante	Viapol	0,1223
Controlador de Filtrado	Viapol	0,1997
Dispersante	Viapol	0,1130
Látex SBR	PRODCON	0,1163

A concentração de látex SBR foi variada em 0, 1, 2 e 3 gpc (galão por pé cúbico) durante o estudo com o intuito de inferir a influência deste componente. Como descrito na tabela a seguir:

¹ *Bottom Hole Circulation Temperature*

² *Bottom Hole Static Temperature*

Tabela 1: Componentes utilizados nas formulações

Componente	Volume específico (gal/lb)	Concentração			
			(% ou gpc)		
Látex SBR	0,1163	0 gpc	1 gpc	2 gpc	3 gpc
Cimento	0,0371	47,6	46,7	45,8	44,9
Sílica	0,0452	40%	40%	40%	40%
Água	0,1202	7,64	6,89	6,14	5,39
Antiespumante	0,1223	0,03 gpc	0,03 gpc	0,03 gpc	0,03 gpc
Controlador de Filtrado	0,1997	0,65%	0,65%	0,65%	0,65%
Dispersante	0,1130	0,06 gpc	0,06 gpc	0,06 gpc	0,06 gpc

A partir das formulações propostas, foram realizados ensaios de Reologia, Filtração Estática e Resistência à Compressão. Todos os ensaios foram realizados conforme procedimentos estabelecidos pela API RP 10B

ENSAIO REOLÓGICO

Os ensaios de reologia visam avaliar a resistência ao escoamento, através de medidas de deflexão de uma mola em um viscosímetro rotacional coaxial Chandler, modelo 3500. Os testes foram realizados na temperatura de circulação de 91oF.

O viscosímetro foi pré-aquecido para a temperatura de teste e, posteriormente, completado com a pasta homogeneizada já na temperatura predefinida. O viscosímetro foi ligado e posto em funcionamento com velocidade de rotação de 3 RPM, onde foi feita a leitura após 10 segundos. Ao fim da leitura, a velocidade de rotação foi mudada e a leitura efetuada após 10 segundos. O procedimento foi realizado em ordem crescente até 300 RPM, e em ordem decrescente, de 300 RPM até 3 RPM.

Figura 1: Viscosímetro rotacional coaxial Chandler, modelo 3500



Para a leitura do gel inicial, a pasta foi mantida a 300 RPM de rotação por um minuto; em seguida em repouso por 10 segundos; e, por fim, colocada sob rotação de 3 RPM, momento no qual foi feita a leitura de deflexão máxima. Para a leitura do gel final, o viscosímetro permaneceu desligado por 10 minutos e, em seguida, foi ligado com 3 RPM de rotação, momento no qual foi verificada a deflexão máxima.

Os resultados encontrados nas leituras devem ser analisados mediante a um modelo definido para fluidos não-Newtonianos. Para isso, as leituras de velocidades angulares e leituras de torque são convertidas em taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento, assim, obtendo a curva de fluxo. Para isso, deve-se considerar a pasta de cimento independente do tempo, que o fluido seja homogêneo, que não haja deslizamento na parede e que o regime de fluxo seja lamelar.

A NBR 9831 admite os seguintes valores para o Limite de escoamento à temperatura estática (BHST) de 52°C entre 14,4 Pa e 33,5 Pa (30 lbf/100ft² e 70 lbf/100ft²).

FILTRAÇÃO ESTÁTICA

Este ensaio visa determinar a perda da fase líquida de uma pasta de cimento contido num filtro quando submetido a um diferencial de pressão, em aparato descrito pela API RP 10B.

O procedimento foi realizado com a pasta homogeneizada à temperatura de teste (BHCT). A pasta de cimento foi colocada na célula do Filtro-prensa Fann HPHT série 387 pré-aquecido à temperatura de teste (Figura 2), com peneira de abertura (325 mesh) e foi submetida a uma pressão de 1000 psi no topo da célula a partir de uma fonte de nitrogênio.

Figura 2: Célula para ensaio de determinação de Filtrado desmontada



A fase líquida em escoamento foi coletada na base da célula com ajuda de uma proveta graduada. A figura a seguir mostra o Filtro-prensa em funcionamento.

Resultados e Discussão

ESTUDO REOLÓGICO

Os ensaios de reologia visam avaliar a resistência ao escoamento, através de medidas de deflexão de uma mola em um viscosímetro rotacional coaxial, desta forma, é possível calcular coeficientes referentes aos modelos reológicos de Bingham e de Potencial. O modelo de Bingham retorna valores de Viscosidade Plástica (VP) e de Limite de escoamento (LE). Na tabela 4 estão apresentados os parâmetros reológicos obtidos.

Tabela 4: Parâmetros reológicos obtidos a partir dos modelos de Bingham e de Potência diferentes concentrações de Látex SBR

Concentração de Látex SBR	0 gpc	1gpc	2 gpc	3gpc
VP (cp)	190,35	256,26	374,96	586,34
LE, lbf/100 pé ²	15,32	33,91	69,93	141,51
Correlação	0,9991	0,9965	0,9939	0,9911
Gi, lbf/100 pé ²	4	10	35	81
Gf, lbf/100 pé ²	23	48	130	215

Avaliando o modelo de Bingham, o coeficiente viscosidade plástica aumentou com o aumento do Látex SBR. O aumento da concentração do Látex SBR contribuiu para a diminuição da dispersão das partículas e de suas velocidades de movimentação, o que aumenta o atrito entre elas e, portanto, piorando sua fluidez em taxas de deformação mais altas.

O Látex SBR reage com o produto de hidratação do C₃A, o qual é responsável pelas propriedades reológicas das pastas de cimento. Esta interação de superfície aumenta a viscosidade do sistema. Este comportamento também pode ser influenciado pela interação das longas cadeias químicas do Látex SBR que, ao interligar-se uma com as outras, podem entrelaçasse produzindo uma grande rede tridimensional (MACHADO, 2002).

Assim como a Viscosidade Plástica, o Limite de escoamento (i.e., a tensão mínima para provocar uma deformação) também possui o mesmo comportamento.

Este comportamento também está relacionado ao entrelaçamento das longas cadeias químicas do Látex SBR, causando diminuição da fluidez e aumentando a viscosidade. Neste sentido, é necessária uma tensão maior para iniciar o movimento do fluido com o aumento da concentração do Látex SBR.

A teoria relativa ao entrelaçamento ainda pode ser confirmada pelo aumento da resistência do gel com o aumento da concentração do Látex SBR, tanto para iniciar o movimento do fluido (gel inicial, Gi), quanto para retomar o movimento (gel final, Gf).

A força gel é a tensão mínima necessária para provocar o escoamento do fluido superior ao limite de escoamento real e quebra dos géis formados. A formação de géis é um fenômeno proporcional ao tempo e a concentração do componente Látex SBR

VOLUME DE FILTRADO

O objetivo deste teste é investigar a perda de filtrado para a formação. Segundo a API, para operações de squeeze, o filtrado deve ser de 70 a 120 mL/30 min, e para preenchimento de canais finos, não deve ultrapassar 50 mL/30 min. Entretanto, a perda de filtrado de pasta de cimento sem aditivos geralmente supera 1500 mL/30 min.

Tabela 5: Valores de volume de filtrado para a variação do Látex SBR

Objeto de estudo: Concentração de Látex SBR	Volume de Filtrado
0gpc (com 0,06 gpc de dispersante)	34 ml
1gpc (com 0,06 gpc de dispersante)	20,5 ml
2gpc (com 0,06 gpc de dispersante)	11 ml
3gpc (com 0,06 gpc de dispersante)	6,5 ml

O volume de filtrado foi inversamente proporcional à concentração do aditivo polimérico, isso se dar em função do bloqueio das redes poliméricas formado pela deposição do polímero nos espaços vazios entre os grãos de cimento, o que dificultou o fluxo da água nas pastas de cimento (FREITAS, 2008 apud OHAMA, 1998).

O aumento da concentração do aditivo dispersante interferiu na perda de volume de filtrado devido a sua ação de dispersão molecular, contudo, não se trata de uma ação tão relevante com seria a alteração do aditivo controlador de filtrado.

Conclusões

- ◆ Do ponto de vista reológico, as pastas apresentaram aumentos exponenciais da Viscosidade plástica e do Limite de escoamento ao adicionar o Látex SBR. O aumento do látex atuou na diminuição da dispersão das partículas e de suas movimentações, aumentando o atrito entre elas e piorando a fluidez. As longas cadeias químicas do Látex também contribuíram para este processo através do entrelaçamento.
- ◆ O Látex foi bastante nocivo aos valores do Limite de Escoamento e deve ser adicionado com o auxílio de aditivos ajustadores.
- ◆ Apenas da queda de 16,95% da viscosidade plástica, ainda há distância do intervalo estabelecido pela norma. Isto sugere que é possível tentar adicionar maiores quantidades de dispersante na formulação para torna a pasta fluida, apesar da alta concentração de componente viscosificante, o Látex SBR.
- ◆ O aumento da concentração do Látex SBR acarretou em um aumento do volume de filtrado, porém sempre apresentando valores dentro do estabelecido pela NBR 9831.

Agradecimentos

Agradeço ao apoio recebido durante a execução deste trabalho dado pelo Laboratório de Cimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, aos meus professores orientadores e colegas de trabalho e ao Programa de Recursos Humanos da Petrobrás (PRH-14) pelo financiamento desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

ABNT. 9831, *Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos* - Requisitos e métodos de ensaio. 2nd. ed. Rio de Janeiro: ABNT NBR, 2006.

API (American Petroleum Institute). *API Specification 10B: Specification for Cements and Materials for Well Cementing*, 23rd ed. Washinton, DC: 2002. 58 p.

FREITAS, J. C. O. *Adição de poliuretana em pastas de cimento para poços de petróleo como agente de correção do filtrado*. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

MACHADO, J.C.V, *Reologia e Escoamento de Fluidos: Ênfase na Indústria do Petróleo*. Editora Interciência, Petrobrás, Rio de Janeiro, 2002.

OHAMA, Y. *Polymer-based Admixtures: cement and concret composites*. V.20, p.189-212, 1998.

OLIVEIRA, F. S. D., *Desenvolvimento de pastas de cimento flexíveis para poços de petróleo submetidos à injeção de vapor utilizando látex do tipo SBR*. 2011. Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

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