

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE POLÍMERO NA ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA COMPRESSIVA DE PASTAS CIMENTANTES COMPÓSITAS CIMENTO/SÍLICA

AUTORES:

Maria Roseane de Pontes Fernandes, Petrúcia Duarte da Silva, Antonio Eduardo Martinelli, Dulce Maria de Araújo Melo, Marcus Antonio de Freitas Melo, Júlio Cezar de Oliveira Freitas

INSTITUIÇÃO:

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. 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 5ºPDPETRO.

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE POLÍMERO NA ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA COMPRESSIVA DE PASTAS CIMENTANTES COMPÓSITAS CIMENTO/SÍLICA

Abstract

Heavy oils with API ° < 20 are usually produced in Northeastern Brazil. Despite the difficulties associated with their production and transport a result of their high viscosity, they are present in large oil fields. Their exploration is a technological task to be overcome. One of the techniques used to increase the recovery factor of heavy oils is the steam injection. However, high temperatures reduce the mechanical strength of the cement sheath, which is called retrogression. Moreover, steam injection also imposes thermal cycles which are deleterious to the cement due to the brittle nature of hardened Portland-based cement slurries. To adapt the cement sheath to steam injection conditions, silica can be used to prevent retrogression and polymeric admixtures to reduce brittleness. In this study, the strength and elastic modulus of composite cement/silica/polymer hardened slurries were evaluated. The basic preparation and characterization of cement slurries followed API SPEC 10A – Specifications for Cements and Materials for Well Cementing and SPEC 10B – Recommended Practice for testing Well Cements guidelines. The density of the slurries was set to 15.6 lb/gal. The elastic modulus of the slurries was measured using an ultrasonic pulse instrument. The results revealed that the strength of the slurries decreased with the addition of both silica and the polymeric admixture compared to standard slurry. However, the strength increased as the setting time increased, mainly due to the formation of the C-S-H phase and the elastic modulus was adequate for the application of the slurries in oilwells that produce heavy oils.

Keywords: Steam injection, Heavy oils, cement, Mechanical strength, Retrogression.

Introdução

Quanto melhores forem as características produtivas de uma jazida, tais como volume de óleo e/ou gás, pressão de poros, propriedades permo-porosas da rocha-reservatório e viscosidade do óleo, mais viável será a exploração de um campo petrolífero (Shi e Stegemann, 2000). Em situações onde não se encontram tais propriedades, ou seja, o petróleo existe em uma formação, mas é inutilizado devido à baixíssima permeabilidade da formação ou o óleo é muito pesado, necessita-se de técnicas capazes de estimular essas rochas a aumentar a economicidade de um campo de petróleo, quer seja pela antecipação da produção, quer seja pelo aumento do fator de recuperação do campo.

A aplicação de calor para estimular a produção de óleo pesado tem sido praticada por mais de 50 anos. Essa técnica tem sido economicamente útil para muitos campos de óleo cru de alta viscosidade. Mas, o comportamento físico e químico de pastas de cimentos para poços muda significativamente a elevadas pressões e temperaturas. Sem cuidadosas modificações da pasta, o cimento pode perder resistência e ganhar permeabilidade, resultando em perda de zona de isolamento (Nelson, 1990). As técnicas de recuperação como ciclagem térmica e injeção de fluidos a altas pressões têm grande potencial de gerarem falhas no anular cimentado, no revestimento ou mesmo na formação. Nesse contexto, a incorporação de polímeros vem assumindo grande importância, pois além de diminuir a permeabilidade do cimento aumenta sua resistência à fratura (Lima, 2004).

Por outro lado, em 1954, investigações laboratoriais descobriram que acima de certas temperaturas (aproximadamente 230 °F) havia pronunciada perda de resistência em algumas composições para cimentação (Ostroot e Shryock, 1964). Formulações de cimento especiais são usadas como selante e sílica flour é adicionada em 40% BWOC para prevenir esta perda de resistência, conhecida como retrogressão do cimento (Myers et al., 2005). A retrogressão acontece,

pois, sob aquecimento, a fase C-S-H se converte para uma fase cristalina α -C₂SH. Esta cristalização causa redução no volume do sólido acompanhada por um aumento de permeabilidade e redução da resistência à compressão (Meller et al., 2007). A sílica reage quimicamente como um agente estabilizador de resistência (Ostroot e Shryock, 1964) e as propriedades da pasta são melhoradas devido à sílica propiciar a formação de outros hidratos cristalinos (Jupe et al., 2008) e influenciar na pega e endurecimento do cimento (Bauchemie, 1998 apud Rottstegge et al., 2005).

Tendo em vista que cimentos Portland requerem a adição de sílica para manter razoável resistência e permeabilidade a elevadas temperaturas, além de requererem a adição de polímero para propiciar maior plasticidade à bainha cimentante, este trabalho teve como objetivo estudar a resistência mecânica à compressão e o módulo de elasticidade de pastas cimentantes com adição de 40% BWOC de sílica flour e polímero em diferentes concentrações.

Metodologia

Foram moldados corpos de prova com concentrações de polímero variando desde 0% até 25%, nomeadas amostras 1 a 6, além da adição de 40% BWOC de sílica flour e antiespumante. A adição do cimento misturado com sílica na água com antiespumante foi realizada uniformemente na velocidade de 4000 rpm durante 15 s em um misturador Chandler modelo 80-60. Em seguida, a pasta foi misturada por 35 s na velocidade de 12000 rpm para ser reproduzida em laboratório a energia de mistura obtida em condições de campo. Posteriormente, para a realização do teste de resistência mecânica à compressão, a pasta preencheu moldes de aproximadamente 5 x 5 x 5 cm³, que foram curados em água desde 8 h até 7 dias (tempos de cura A a D) a temperatura controlada de 47 °C. Para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade, a pasta foi vertida em moldes retangulares com dimensões de 4 x 4 x 16 cm³ e submetida a 7 dias de cura também na temperatura de 47 °C.

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado conforme o prescrito pelo projeto de norma nº 18:400.04-008 (ABNT, 2008), intitulado “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos” – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. O ensaio foi realizado utilizando medidor de velocidade de pulso ultrassônico CONTROLS modelo 58 – E0048.

O cálculo do módulo de elasticidade foi realizado de acordo com a Equação 1:

$$E = V^2 \rho \frac{(1 + \mu) \times (1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (1)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade (MPa)

V = velocidade de propagação de onda ultra-sônica (mm/μs)

ρ = densidade de massa aparente do corpo-de-prova (kg/m³)

μ = coeficiente de Poisson (adota-se 0,2)

As amostras para obtenção da resistência mecânica à compressão foram ensaiadas em uma máquina universal de ensaios mecânicos Shimadzu AG-I segundo a norma NBR 9828. As amostras foram submetidas à pressão uniaxial até a ruptura. Essa máquina de ensaios é designada para teste de amostras cúbicas de cimento com os requerimentos API, e é constituída de prensa e controle eletrônico. Ela utiliza uma válvula hidráulica automática monitorada eletronicamente por um controle programado, fornecendo preciso carregamento das amostras em teste.

Resultados e Discussão

Os resultados dos testes de resistência mecânica à compressão das pastas formuladas estão expressos na Figura 1. Observa-se que o aumento da concentração de polímero diminui a resistência à compressão das pastas formuladas e que o tempo de cura aumenta consideravelmente o valor da resistência. Esse efeito de queda de resistência acontece, pois o polímero tem efeito retardante, dificultando a formação de cristais de etringita, aumentando a maturidade da pasta e a quantidade de água na microestrutura de cimento. Com o aumento do tempo de cura, a resistência é aumentada devido à formação de C-S-H no decorrer da maturação (Nascimento, 2006). Essa fase é responsável pelas propriedades mecânicas da pasta de cimento.

Segundo Myers et al., (2005) menos que 300 psi de resistência compressiva é necessária para prover a zona de isolamento sob condições de injeção de vapor e que para minimizar falhas na bainha cimentante em poços de injeção cíclica, pastas de cimento necessitam ser projetadas para melhores resistência trativa e não para alta resistência compressiva. Os valores obtidos para o tempo de cura de 8 h encontram-se acima do valor mínimo de 0,7 MPa (100 psi) para segurar o revestimento dentro do poço e do valor mínimo exigido por norma de 2,10 MPa (300 psi) (Lima, 2004). Nelson (1990) também confirma que a resistência do cimento necessária para suportar a tubulação de aço não necessita ser exageradamente alta.

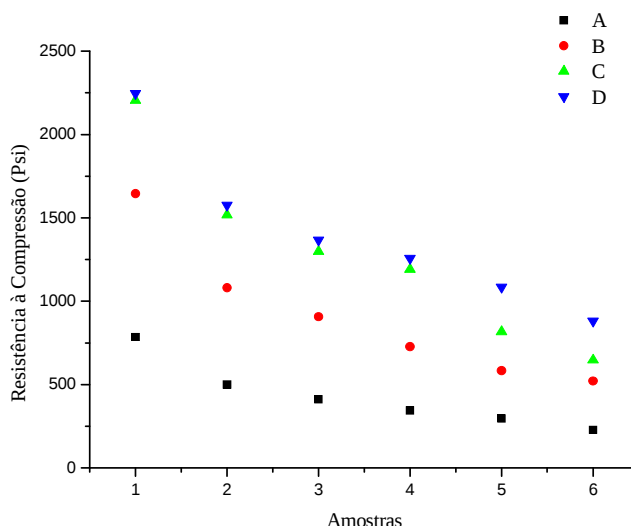


Figura 1. Resistência mecânica à compressão das amostras estudadas.

O módulo de elasticidade é uma propriedade muito importante quando se estuda pastas de cimento aditivadas com polímero. A relevância desta propriedade está diretamente relacionada à sua capacidade de deformação. Pastas de cimento para poços de petróleo não necessariamente precisam ter elevadíssima resistência mecânica, mas devem resistir a impactos, sem romper. Pesquisas recentes conduzem à utilização de pastas flexíveis, ou seja, baixa resistência à compressão, baixo módulo de elasticidade e alta tenacidade (Nascimento, 2006).

De acordo com a Figura 2, se observa que a adição de polímero diminui consideravelmente o módulo de elasticidade das pastas, principalmente quando se compara a pasta padrão (0% de polímero). Este efeito foi comprovado nos estudos feitos por Rai e Singh (2005). Pastas de cimento Portland sem polímero são formadas principalmente por uma estrutura aglomerada de silicato de cálcio ligada por forças de van de Waals. Essas ligações são fracas, ocorrendo facilmente microfissuras quando a pasta estiver sujeita aos esforços (Storte, 1992). Logo, quando se adiciona polímero com a finalidade de diminuir o módulo de elasticidade, ocorrem forças atrativas e forças de superfícies entre o polímero e as fases de hidratação do cimento. Essas forças hidrodinâmicas tendem

a diminuir quando há uma saturação de polímero adicionado, que provoca conseqüentemente, a diminuição do módulo de elasticidade da pasta (Rai e Singh, 2005).

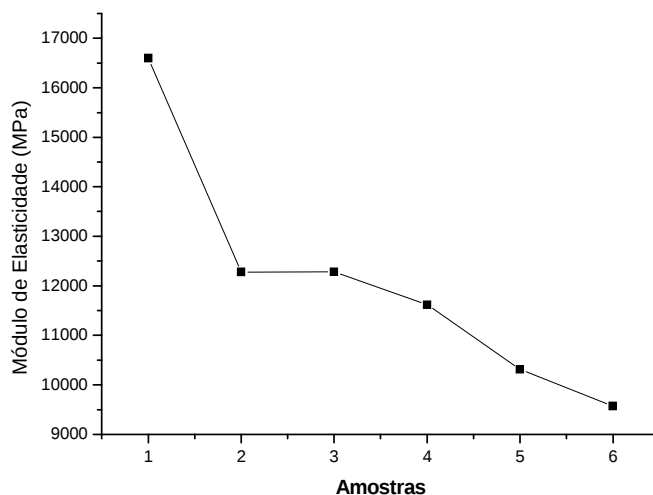


Figura 2. Módulo de Elasticidade das amostras estudadas.

Um polímero adequado modifica as características de uma pasta, afetando a hidratação do cimento. Durante a hidratação do cimento com polímero, uma estrutura complexa cimento-polímero é formada em três etapas. Primeiro, após mistura com cimento, as partículas de polímero se dispersam homogeneamente na pasta. Com a hidratação do cimento, elas são adsorvidas na superfície dos hidratos. Em seguida, com a hidratação e o desenvolvimento da estrutura gel, o polímero é aprisionado nos espaços capilares formando um filme. Por fim, com o prosseguimento da hidratação, mais água é consumida e o filme cresce (Liu Chongjian et al., 2001 apud Fuquan et al., 2006). Com a formação do filme, há uma diminuição no módulo de elasticidade da pasta. Na Figura 3 é visto claramente o filme polimérico na estrutura do cimento aditivado com sílica.

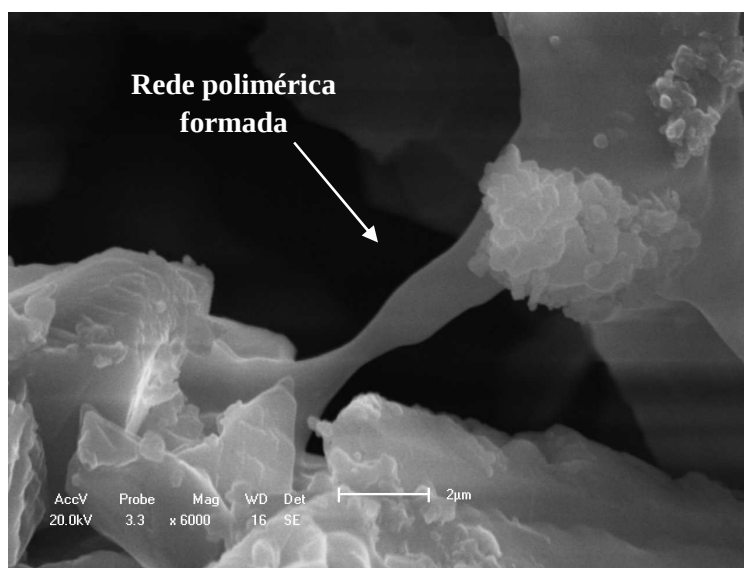


Figura 3. Microscopia eletrônica de Varredura da pasta composta cimento/sílica/polímero.

Conclusões

- Houve queda de resistência à compressão à medida que se aumentou a concentração de polímero na composição da pasta.
- Com o aumento do tempo de cura das pastas de cimento, a resistência compressiva aumentou.
- A adição de polímero propiciou diminuição do módulo de elasticidade das pastas cimentantes.
- Apesar da menor resistência à compressão das pastas aditivadas com polímero, a diminuição do módulo de elasticidade favorece a diminuição do caráter frágil das mesmas.
- Polímero combinado com cimento e sílica pode ser usado como aditivo para diminuir o módulo de elasticidade e, desta forma, fornecer maior plasticidade e resistência às ciclagens térmicas ocasionadas pelo processo de injeção de vapor.

Agradecimentos

À PETROBRAS, ANP e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API SPEC 10A: Specifications for cements and materials for well cementing, 2000(a).

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API SPEC 10B: Recommended Practice for testing Well Cements(b).

FUQUAN, S.; GUANGMING, L.; JIANZHOU, J. Application and Research of Latex Tenacity Cement Slurry System. SPE 104434. Apresentado no International Oil & Gas Conference and Exhibition em Beijing, China, 5-7 Dezembro de 2006.

JUPE, A.C.; WILKINSON, A.P.; LUKE, K.; FUNKHOUSER, G.P. Class H cement hydration at 180 °C and high pressure in the presence of added silica. Cement and Concrete Research 38 (2008) 660–666.

LIMA, F.M. Desenvolvimento de Cimentos do tipo Portland/Materiais alternativos para Cimentação de poços de petróleo, Monografia, Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2004.

MELLER, N.; HALL, C.; KYRITSIS, K.; GIRIAT, G. Synthesis of cement based $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (CASH) hydroceramics at 200 and 250 °C: Ex-situ and in-situ diffraction. Cement and Concrete Research 37 (2007) 823–833.

MYERS, S.; SHAARI, N.E.; DILLENBECK, L. A New Method to Evaluate Cement Systems Design Requirements for Cyclic Steam Wells, paper SPE 93909, apresentado no Western Regional Meeting, Irvine, 30 de Março – 1 de Abril, 2005.

NASCIMENTO, J.H.O. Adição de Poliuretana não iônica a cimento Portland especial para Cimentação de Poços de Petróleo, Dissertação, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2006.

NELSON, E. B., Well Cementing. Houston, Schlumberger Educational Services, 1990.

OSTROOT, G.W.; SHRYOCK, S. Cementing Geothermal Steam Wells. SPE 904. Journal of Petroleum Technology. Dezembro 1964.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

RAI, U. S.; SINGH, R.K., Effect of polyacrylamide on the different properties of cement and mortar, Materials Science & Engineering A, n. 392, p.42-50, 2005.

ROTTSTEGGE, J.; ARNOLD, M.; HERSCHKE, L.; GLASSER, G.; WILHELM, M.; SPIESS, H.W.; HERGETH, W.D. Solid state NMR and LVSEM studies on the hardening of latex modified tile mortar systems. Cement and Concrete Research 35 (2005) 2233–2243.

SHI, C.; STEGEMANN, J.A. Acid corrosion resistance of different cementing materials. Cement and Concrete Research 30 (2000) 803-808.

STORTE, M. Látex estireno-butadieno: aplicação em concretos de cimento e polímero, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, Faculdade de Engenharia Civil, São Paulo, SP, 1992.

Normas ABNT

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. CB-18/PROJETO 18:400.04-008-Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9828: Cimento Portland Destinado à Cimentação de Poços Petrolíferos – Determinação da Resistência à Compressão, Rio de Janeiro, 1993.