

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



TÍTULO DO TRABALHO:

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS NA PERDA DE CARGA DURANTE O DESLOCAMENTO DE PASTAS DE CIMENTO APLICADAS A POÇOS PETROLÍFEROS

AUTORES:

Leonardo Asfora de Oliveira¹, Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte¹

INSTITUIÇÃO:

¹Departamento de Engenharia de Petróleo, Centro de Tecnologia, 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.

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS NA PERDA DE CARGA DURANTE O DESLOCAMENTO DE PASTAS DE CIMENTO APLICADAS A POÇOS PETROLÍFEROS

Abstract

After each casing string is lowered into the well, it must be cemented. In order to accomplish that, a mixture of water, cement and other chemicals, which is called cement slurry, is pumped from the surface into the wellbore. Most of the cement slurries have high viscosities, imposing high frictional losses to the process and therefore requiring higher pumping pressures. Sometimes these pressures are such that can lead to fracture of formations. Because of these considerations, it is clear that studying the influence of viscosity in the friction losses is very important, since the correct choice of cement slurries' properties has an impact on, among other things, the safety of primary cementing operations. To understand how slurries' rheology affects frictional losses, five samples were prepared with different viscosities (common concentration of chemicals were used in order to produce realistic slurry properties). To analyze the friction losses behavior, a software that employs empirical correlations for monophasic flow was developed in Microsoft Excel in order to produce graphs relating frictional losses to flow rate. It was possible to conclude that the higher the viscosity is, more difficult it is to achieve turbulent flow (a somewhat desired flow condition that would help cleaning the wellbore walls during the pumping process). Moreover, it was shown that one cannot confidently say that just because a cement slurry has a higher viscosity, it will undoubtedly require higher pumping pressure to surpass frictional losses at a given flow rate, since it is necessary to understand how the cement slurry is actually flowing.

Introdução

A cimentação primária é uma técnica utilizada para posicionar pastas de cimento entre o espaço anular e o poço. Depois de seu posicionamento, o cimento endurece para formar um selo hidráulico no poço, prevenindo migração de fluidos das formações através do espaço anular. Além de promover o isolamento das zonas produtoras, o cimento deve ancorar e suportar o revestimento e protegê-lo contra corrosão dos fluidos. Logo, a cimentação primária é um dos estágios mais críticos durante a perfuração e completação de um poço. Este procedimento deve ser planejado e executado cuidadosamente, uma vez que há apenas uma chance para realizar o trabalho com sucesso.

Durante o escoamento da pasta, existem preocupações extras em relação a vazão de bombeio a ser fornecida pela bomba de superfície. Uma elevada velocidade de bombeio é eficiente no que diz respeito à remoção do reboco deixado pela lama de perfuração, melhorando assim a aderência do cimento às paredes do poço. No entanto, pode resultar em fratura das formações devido às altas pressões resultantes das perdas por fricção, que devem ser vencidas. Como as pastas são os fluidos de maior viscosidade e são bombeadas em grandes volumes, são elas as responsáveis pela maior parte do atrito gerado durante a cimentação primária.

O presente trabalho teve como objetivo principal, portanto, estudar a influências da viscosidade das pastas de cimento nas perdas por atrito, avaliando sua influência não somente na magnitude de tais perdas, mas também na possibilidade de se atingir regime turbulento. Para isto, preparou-se cinco pastas de cimentos, utilizando aditivos em concentrações comumente encontradas em formulações reais de pastas de modo a obtermos valores realísticos de viscosidade.

Metodologia

PREPARO DE PASTAS DE CIMENTO

Para entender como os parâmetros reológicos afetam a perda de carga durante o deslocamento de pastas de cimento, formulou-se pastas com diferentes viscosidades de acordo com os procedimentos estabelecidos pelas resoluções API RP 10B e API SPEC 10A. Para isto, utilizou-se a adição do aditivo Controlador de Filtrado em diversas concentrações: 0%, 0,1%, 0,2%, 0,3% e 0,4% BWOC (*By Weight of Cement*), a fim de aumentar a viscosidade da pasta, já que este é o efeito secundário deste tipo de aditivo. Todas as pastas foram formuladas para que se obtivesse uma massa específica de 15,6 lb/gal (1,87 g/cm³). As formulações estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa dos aditivos para cada concentração de controlador de filtrado.

Aditivo	Formulação 1 (0 %)	Formulação 2 (0,1%)	Formulação 3 (0,2%)	Formulação 4 (0,3%)	Formulação 5 (0,4%)
Cimento	765,46g	766,20g	766,96g	767,71g	768,46g
Água	352,24g	350,72g	349,20g	347,67g	346,14g
Antiespumante	1,00g	1,00g	1,00g	1,00g	1,00g
Dispersante	2,88g	2,88g	2,88g	2,88g	2,88g
Controlador de filtrado	0g	0,77g	1,53g	2,30g	3,07g

TESTE REOLÓGICO

O teste reológico foi realizado em um viscosímetro de cilindros concêntricos do tipo rotor-bob que consiste basicamente em uma série de leituras (à temperatura do teste) do ângulo de deformação de uma mola torcional acoplada ao BOB nas seguintes rotações específicas do rotor: 3, 6, 10, 20, 30, 60, 100, 200 e 300 rpm. Realiza-se primeiramente as leituras ascendentes, ou seja, com o aumento da rotação de 3 a 300 rpm. Em seguida, realiza-se a leitura descendente, isto é, de 300 a 3 rpm. Por fim, calcula-se a média entre as leituras para cada rotação. São estes valores que serão ajustados por regressão linear aos modelos de Bingham e de Potência. Todas as cinco pastas preparadas neste trabalho foram consideradas como de Bingham. A Tabela 2 informa a reologia das pastas obtidas para cada formulação:

Tabela 2: Viscosidade Plástica (VP) e Limite de Escoamento (LE) das formulações.

Formulação	VP (cP)	LE lbf/100ft ²	Índice de Correlação
Formulação 1	24,64	1,75	0,9989
Formulação 2	42,16	3,20	0,9998
Formulação 3	59,1	3,42	0,9995
Formulação 4	105,39	5,55	0,9994
Formulação 5	194,24	12,20	0,9979

Todos os testes reológicos foram realizados a temperatura ambiente (80°F). Isto porque as perdas por fricção dependem apenas dos parâmetros reológicos, e não das condições a que a pasta está submetida. Em outras palavras, caso existam, por exemplo, dois tipos de pastas a diferentes temperaturas (digamos, 80°F e 120°F), a perda de carga será idêntica caso os parâmetros reológicos sejam os mesmos.

FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Foi desenvolvida uma ferramenta computacional em Microsoft Excel para simular as perdas por atrito devido ao escoamento da pasta de cimento pelo interior de colunas de revestimento e pelo espaço anular. O programa considera que todo o poço esteja preenchido com cimento, o que não é, obviamente, verdade. No entanto, não estamos interessados aqui em determinar precisamente a perda de carga para uma determinada operação, mas sim entender a variação das magnitudes e comportamentos de curvas teóricas com a mudança da reologia das pastas.

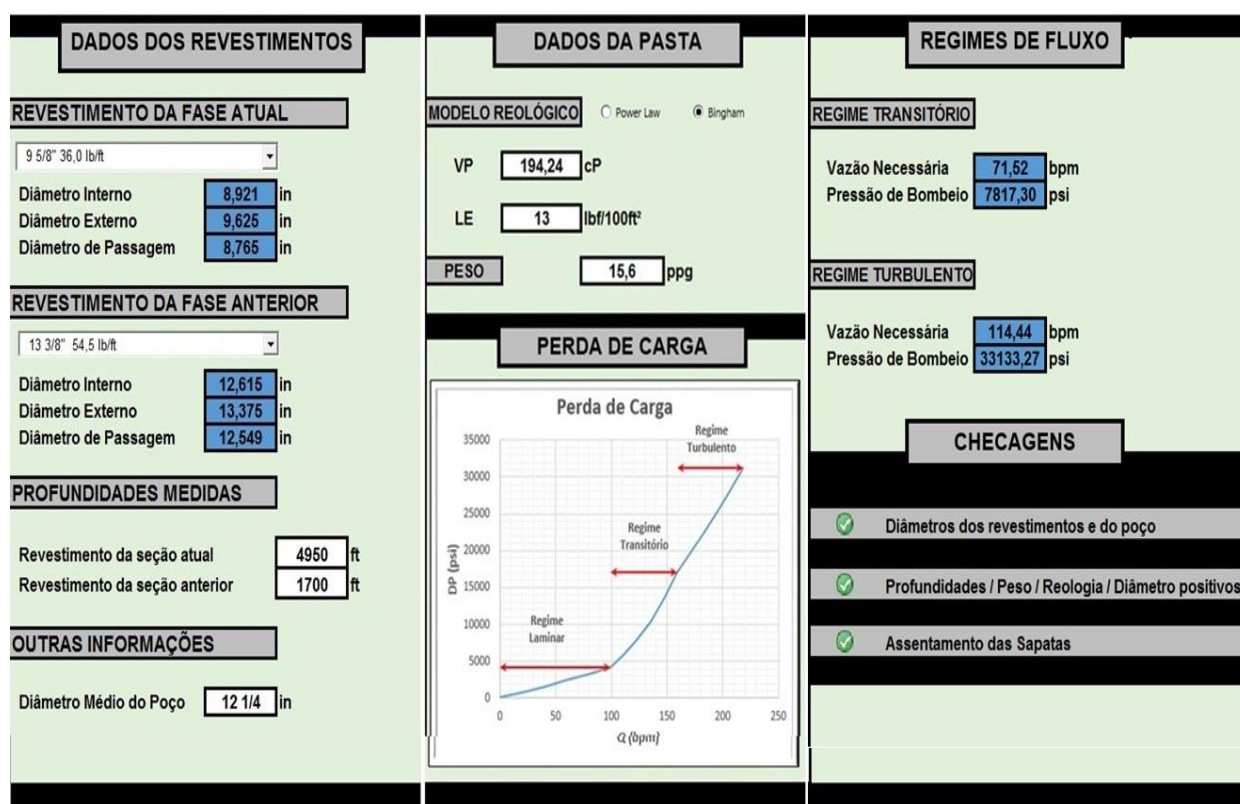


Figura 1: Ferramenta Computacional.

Informados os tipos de revestimentos e suas profundidades, juntamente com o diâmetro médio do poço e a reologia da pasta, o programa é capaz de construir curvas de perdas por atrito (DP) em função da vazão volumétrica, identificando ainda os regimes de fluxo. Como todas as pastas foram consideradas como fluidos de Bingham, os parâmetros reológicos são a Viscosidade Plástica (VP) e o Limite de Escoamento (LE).

Resultados e Discussão

REOGRAMA

A Figura 2 mostra o Reograma obtido para as 5 formulações de pastas preparadas. Pode-se perceber que o aumento da concentração do controlador de filtrado aumentou a inclinação da curva do Reograma, indicando de fato um aumento de viscosidade das pastas.

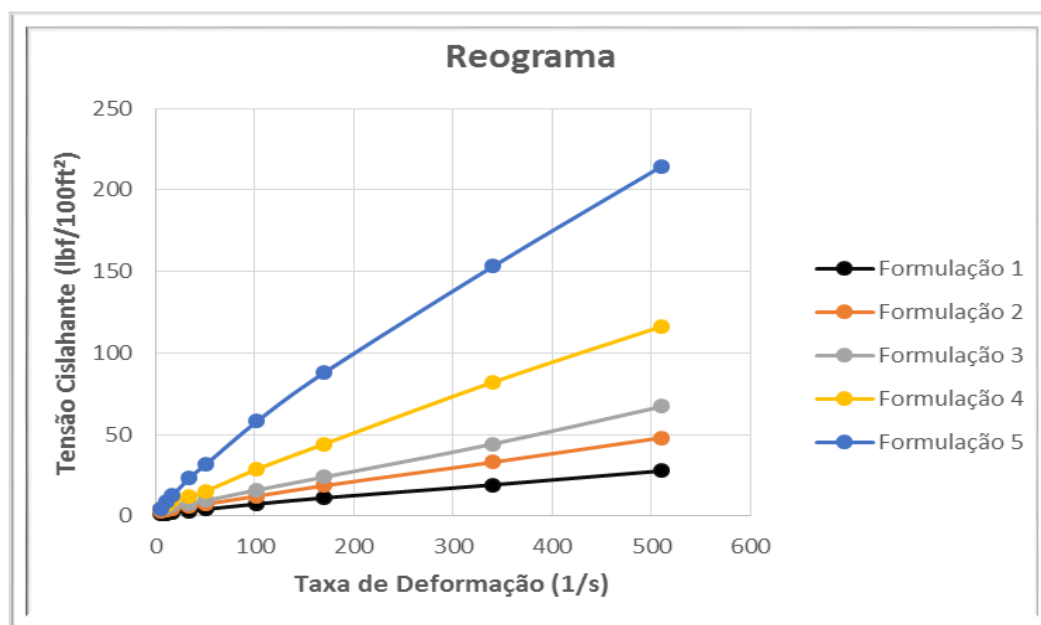


Figura 2: Reograma obtido para as pastas formuladas

CURVAS DE PERDA DE CARGA

Já a Figura 3 mostra um comparativo didático do efeito dos parâmetros reológicos no deslocamento de pastas de cimento. Limitou-se a vazão de bombeio a 15bpm (um valor razoável) para todas as pastas formuladas.

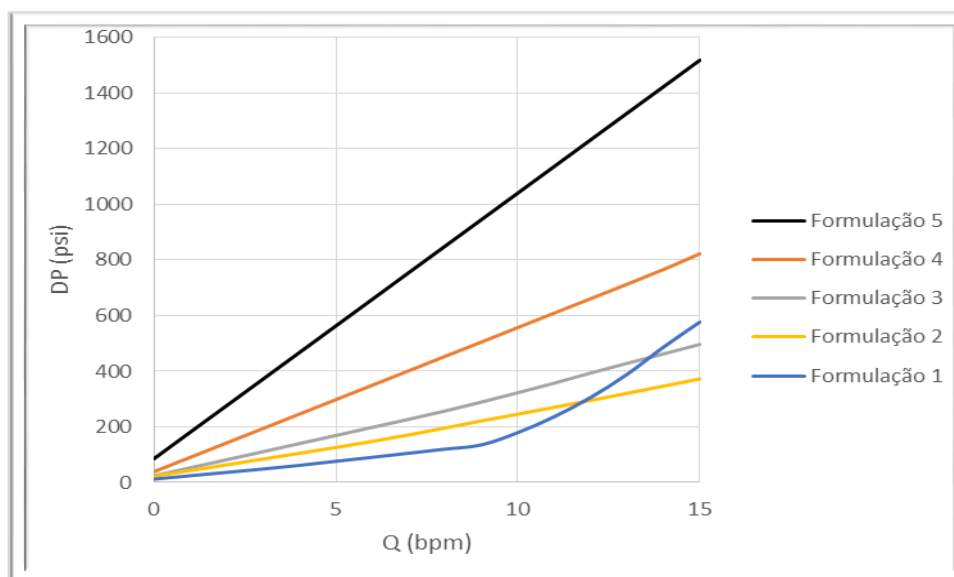


Figura 3: Comparativo entre as pastas formuladas para uma vazão máxima fixa de 15bpm.

Pode-se constatar da Figura 8 que, para o range de vazão adotado, a única pasta que poderá escoar em fluxo transitório ou turbulento é a formulação 1 (a pasta menos viscosa), já que para as outras não constatou-se mudança de inclinação da reta, caracterizando o regime laminar.

É interessante também notar que, embora a pasta da formulação 1 seja a menos viscosa, para a vazão de 15 bpm a perda de carga é superior quando comparado com os valores obtidos para a formulação 2 e 3 (pastas de maior viscosidade). Isto porque as perdas por fricção dependem do regime de fluxo, sendo mais elevadas em fluxo transitório e turbulento do que no regime laminar. Logo, conclui-se que não necessariamente uma pasta de maior viscosidade acarretará, para uma vazão específica, em uma maior perda de carga, já que é necessário também conhecer de que maneira a mesma está escoando, o que torna importante o tipo de análise realizada neste trabalho.

Conclusões

Conclui-se com este estudo que quanto maior a viscosidade das pastas de cimento utilizadas nas operações de cimentação primária, maior a dificuldade de se atingir a mudança de regime de fluxo. Além disto, foi possível observar que pastas menos viscosas podem acarretar em maiores perdas por fricção do que pastas mais viscosas a uma mesma vazão, uma vez que podem atingir regime transitório ou turbulento mais rapidamente, regimes estes que acarretam em maiores perdas por atrito.

Agradecimentos

O autor Leonardo A. Oliveira agradece ao LABCIM pela realização do estágio.

Referências Bibliográficas

API SPEC 10A: *Specifications for Cements and Materials for Well Cementing*, 2000.

API RP 10B: *Recommended Practice for Testing well Cements*.

Beirute, R.M.: “*The Phenomenon of Free Fall During Primary Cementing*”, paper SPE 13045.

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

NELSON, E.B., *Well Cementing*, Saint-Etienne: Schlumberger Educational Services, 1990.

NEWMAN, K. Wojtanowicz, A., e Gahan, B.: “*Improving Gas Well Cement Jobs with Cement Pulsation*”, GasTIPS (2001).

PETROGUIA 2002, elaborado pela gerência tecnológica de Engenharia de Poço da Petrobras.

ROCHA, J.M.S. “*Estudo da Migração de Gás em Pastas de Cimento Para Uso em Poços de Petróleo*”. Tese de Mestrado, 2010.

ROCHA, L.A.S, e Azevedo,T.C.: “*Projeto de Poços de Petróleo : Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimento*”. Editora Interciência,

THOMAS, J.E. *Fundamentos da engenharia de petróleo*, Editora Interciência. Petrobras, Rio de Janeiro, 2001.