

1 INTRODUÇÃO

1.1 Antecedentes

Na indústria de extração do petróleo, a viabilidade do desenvolvimento de um campo petrolífero está associada às propriedades mecânicas e permo-porosas da formação, bem como das características do fluido produzido. O desenvolvimento e a aplicação de técnicas capazes de aumentar a produtividade dos poços é de suma importância para garantir a atratividade econômica do campo.

Os reservatórios de petróleo são rochas porosas, saturadas por fluidos na fase líquida e gasosa, de resíduos sólidos e de água, a uma determinada temperatura e pressão. Essas rochas-reservatórios podem ter diferentes níveis de profundidade, variando de superficiais a rasas, médias ou profundas. Perfurado um poço, após algumas operações para seu condicionamento, é iniciada a extração do óleo ou do gás, que fluem através da formação para o poço, e daí até a superfície, através de tubulações metálicas. Como função da permeabilidade do meio, o escoamento do óleo ou do gás pode ser muito pequeno, exigindo métodos artificiais para aumento de produtividade. Esses métodos são denominados “operações de estimulação”.

A Engenharia de Petróleo tem como um de seus objetivos o desenvolvimento e aplicação de técnicas capazes de viabilizar o desenvolvimento de um campo de petróleo, quer seja pela antecipação de produção, quer seja pelo aumento do fator de recuperação do campo. Dentre estas técnicas, destacam-se as operações de estimulação.

Denomina-se estimulação de uma rocha-reservatório, portanto, a qualquer operação ou intervenção realizada em uma jazida portadora de hidrocarboneto, de forma a aumentar sua produtividade, seja estabelecendo canais de alta condutividade para o escoamento de fluidos entre o reservatório e o poço, seja aumentando a permeabilidade original da rocha. Desta forma, é facilitado o escoamento de fluido da rocha para o poço. (Fernandes, 2001)

As operações de estimulação podem ser classificadas, basicamente, em três categorias:

- acidificação de matriz;
- fraturamento ácido,
- fraturamento hidráulico.

Acidificação de matriz é uma técnica de estimulação na qual injeta-se uma solução ácida na formação, a fim de dissolver parte dos minerais presentes na sua composição mineralógica, aumentando ou recuperando a permeabilidade da formação ao redor do poço. (Gomes, et. al, 2005) Os ácidos mais comumente utilizados são o ácido clorídrico (HCl), empregado basicamente para a dissolução de carbonatos, e misturas de ácido clorídrico e fluorídrico (HCl / HF), para a dissolução de silicatos. Alguns ácidos orgânicos também podem ser usados para a remoção de substâncias mais específicas. A acidificação de matriz é uma técnica de estimulação utilizada para remoção de dano e/ou aumento de permeabilidade em regiões localizadas a poucos metros ao redor do poço. À medida que aumenta o raio da região que se pretende tratar, o volume de ácido necessário para o tratamento aumenta consideravelmente, tornando a operação economicamente inviável.

A operação de fraturamento ácido é uma técnica de estimulação na qual uma solução ácida é injetada na formação, sob pressão acima da pressão de ruptura da formação, de tal forma que uma fratura hidráulica é iniciada (Fernandes, 2001). Geralmente, um colchão viscoso (fluido de alta viscosidade que avança antes da solução ácida de modo a ter uma ação mais efetiva) é injetado à frente do ácido para iniciar a fratura. Imediatamente após, é injetada uma solução ácida gelificada, aerada ou emulsionada, para propagar a fratura e, ao mesmo tempo, reagir com a formação. A condutividade da fratura é obtida por meio da reação do ácido com a rocha, criando canalizações irregulares nas faces da fratura, que permanecerão após o fechamento da mesma.

O Fraturamento Hidráulico consiste na injeção de um fluido (fraturante) na formação, sob uma pressão suficientemente alta para causar a ruptura da rocha por tração (Fernandes, 2001). Desta forma, inicia-se uma fratura induzida na rocha.

Esta fratura continua se propagando, à medida que o fluido fraturante é bombeado. Junto ao fluido fraturante, é introduzido na rocha um material granular, denominado agente de sustentação, ou propante, que tem a função de manter a fratura aberta quando for cessado o bombeio. Desta forma, cria-se um canal permanente, de alta permeabilidade, para o escoamento de hidrocarboneto entre a formação e o poço. Essa técnica tem sido responsável, ao longo dos anos, pela viabilização econômica de muitos campos petrolíferos, em todo o mundo. Estima-se que cerca de 40% dos poços produtores de petróleo são estimulados por fraturamento hidráulico. (Fernandes, 2001)

A tecnologia de fraturamento hidráulico tem apresentado um desenvolvimento bastante significativo nos últimos anos (Santos, 2004). Equipamentos computadorizados de bombeio e monitoração, fluidos fraturantes de alto grau de complexidade e agentes de sustentação de elevada resistência ao esmagamento têm viabilizado a aplicação desta técnica de estimulação em ambientes cada vez mais hostis. Atualmente, no Brasil, os arenitos friáveis da Bacia de Campos têm se constituído no principal cenário de aplicação da técnica, seja para aumento de produtividade, seja para controle de produção de areia.

O termo produção de areia é empregado na indústria do petróleo para designar o fenômeno de produção de partículas sólidas associadas à produção de óleo e/ou gás. Reservatórios constituídos por rochas brandas e pobremente consolidadas são particularmente susceptíveis à produção de areia.

Entretanto, a produção de sólidos (termo usado também para designar a produção de areia) pode ocorrer em rochas consolidadas.

A produção de areia é associada com a perda da coesão e plastificação de uma região ao redor do poço e/ou do canhoneio a qual pode ser então mobilizada pelas forças hidrodinâmicas do fluxo. (Santos, 2004)

Para o controle desta produção de areia pode-se utilizar uma combinação entre as técnicas de fraturamento hidráulico e gravel packing, denominada frac-pack. O Gravel Pack é a prática mundialmente mais difundida e tem sido utilizada na Bacia de Campos desde a década de 80. Consiste no preenchimento dos canhoneados e anular tubo telado/revestimento (poço revestido) ou anular tubo telado/formação (em poços horizontais não revestidos) com gravel (areia ou cerâmica) de granulometria bem selecionada formando um pacote compacto. Neste método, o gravel tem a função de reter a areia da formação, e a tela tem a

função de reter o gravel. O princípio deste método é que o gravel (agente de sustentação) atuará como segundo arcabouço, altamente permeável, impossibilitando a movimentação de grãos da formação (Figura 1.1). Além disso, este arcabouço deve ter uma interface estável com a formação, que não deve ser invadida por grãos menores da formação sob a pena de redução de permeabilidade. O fluxo de fluidos deve ser permitido, mas os grãos da formação devem ser retidos. (Barreto et. al. 2007)

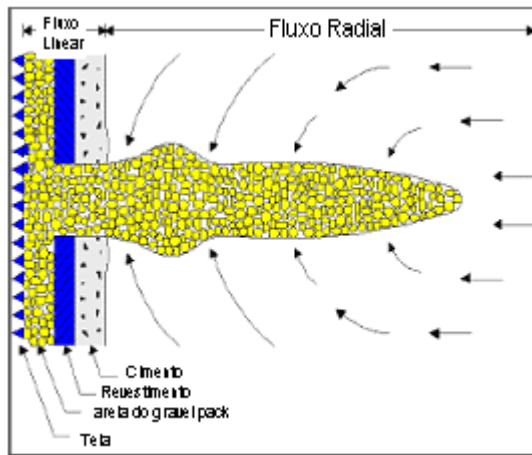


Figura 1.1: Empacotamento de gravel (SAUCIER,1974)

O *frac-packing* apresenta a vantagem de controlar a produção de areia sem introduzir a perda de carga adicional imposta pelos *gravel packs*.

No Brasil, principalmente com os arenitos friáveis da Bacia de Campos, o fraturamento hidráulico tem se tornado a técnica de estimulação de poços mais utilizada na indústria do petróleo e isto tem motivado o desenvolvimento de diversas pesquisas que visam o aprimoramento da técnica de fraturamento hidráulico e a solução de alguns problemas a ela relacionados (Fernandes, 2001). Seu objetivo maior é o aumento da produção ou a injetividade de poços.

Entende-se por injetividade a capacidade de se injetar água na formação para manutenção de pressão do reservatório ou para deslocar o óleo na direção dos poços produtores. A água, por ser imiscível com o óleo, desloca a fase oleosa, num efeito de varredura. Além disso, repõe a massa de óleo retirada do reservatório, mantendo um certo nível de pressão na rocha.

No fraturamento hidráulico, a fratura é produzida pelo fluido que é injetado com pressão superior à pressão de iniciação de fratura da formação. Esta fratura se propaga pela rocha (Figura 1.2). Quando é cessado o bombeio e a propagação da fratura, ela tende a fechar. Porém, material granular misturado ao

fluido fraturante, denominado “agente de sustentação” ou “propante”, impede o fechamento total da fratura, mantendo uma abertura, por onde haverá escoamento entre rocha-reservatório e poço (figura 1.3). Obviamente, os materiais propantes devem resistir à tensão confinante da formação rochosa, mantendo uma condutividade mínima necessária para garantir uma produção econômica do poço. Do contrário, ele sofrerá esmagamento, fechando o canal de escoamento.

Quando o poço entra em regime de produção, o fluxo de fluidos na fratura direciona-se da formação para o poço (Figura 1.4). Este fluxo pode deslocar o propante de suas posições na fratura em direção ao poço. Este processo recebe o nome de refluxo de propante ou *proppant flowback* (Veloza, 2006). Por razões óbvias, o controle do refluxo de propante, durante a produção do poço, é de grande importância para manter a conectividade entre a formação e o poço, garantindo a condutividade da fratura.

A seleção de materiais propantes deve levar em consideração fatores como a resistência mecânica destes às pressões exercidas sobre a fenda, as altas temperaturas do poço, além de ter dimensões granulométricas adequadas para garantia da máxima permeabilidade e condutividade do meio preenchido (fratura). Devem-se levar em conta também o refluxo e o ambiente carregado de agentes corrosivos no qual o propante será inserido. Por isso, o propante deve ser também resistente à corrosão. Uma vez satisfeitos estes critérios, passa-se a considerar os custos.

O flowback (refluxo) do agente de sustentação (propante), além de comprometer a produtividade do poço, pode danificar os equipamentos de poço e superfície. Os principais fatores causadores da perda de propantes devido ao fenômeno de “flowback” podem estar ligados a:

- Baixas tensões de confinamento da fratura;
- Ambiente de trabalho com alto pH mantido por muito tempo;
- Ação de forças excessivas atuando paralelamente ao eixo do pacote de propante;
- Escolha incorreta do propante, seja por motivos técnicos ou econômicos.

Assim, materiais de características diferentes devem ser usados para satisfazer os critérios das diversas formações existentes.

Materiais de baixa densidade e alta resistência ao esmagamento são requeridos para operações de fraturamento hidráulico, principalmente em poços horizontais de grande extensão, onde o empacotamento exige a utilização de materiais mais leves (Veloze, 2006).

Vários fatores podem afetar a produção de um poço após o fraturamento, acarretando declínios de produção mais acentuados do que aqueles previstos no projeto. Falhas operacionais, baixa qualidade do fluido de fraturamento, desconhecimento de propriedades mecânicas e permo-porosas da formação, refluxo de propante e utilização de materiais inadequados para a sustentação de fraturas podem reduzir drasticamente a produção do poço, diminuindo, consideravelmente, a economicidade do fraturamento (Cachay, 2004).

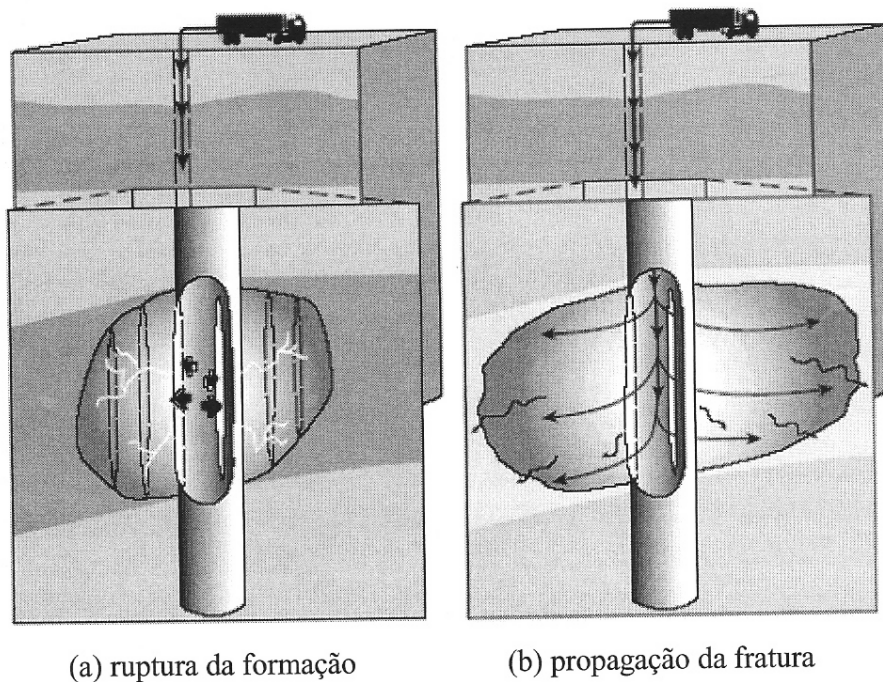


Figura 1.2 – Fraturamento hidráulico de um poço vertical. Em (a) é mostrada a ruptura da formação e em (b) a propagação da fratura. (Economides, 2000)

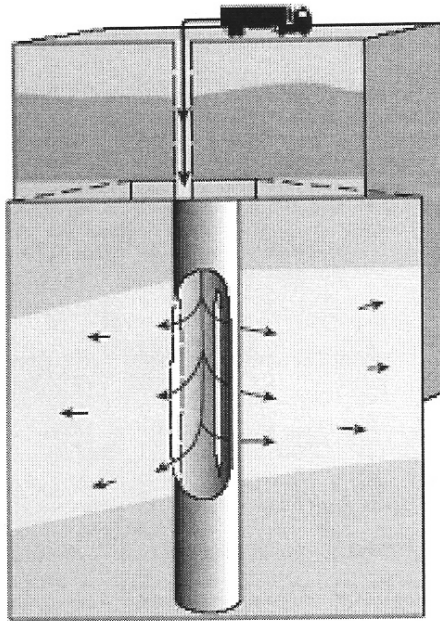
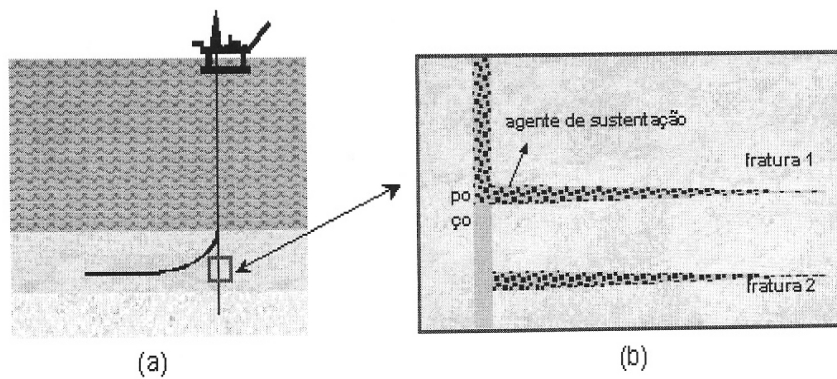


Figura 1.3 – Injeção de propante na fratura (Economides, 2000)



(a) poço em produção

(b) refluxo do agente de sustentação

Figura 1.4 – Figura mostrando em (a) um poço em produção e em (b) o refluxo do agente de sustentação da fratura hidráulica 1 para o interior do poço de petróleo.(Cachay, 2004)

1.2

Motivação do Estudo

O uso crescente das operações de gravel-pack e fraturamento hidráulico faz com que a busca por alternativas para diminuir o custo destas operações se faça necessária. Desta forma, novos materiais com características semelhantes e com custo menor precisam ser desenvolvidos como alternativa aos materiais utilizados atualmente. Porém, a procura por novos propantes obrigatoriamente

envolve a avaliação de suas propriedades físicas. Esta avaliação é feita de acordo com normas amplamente aceitas na indústria do petróleo de modo a conferir credibilidade e permitir comparação com outros materiais.

1.3 Objetivo

Esta pesquisa teve por objetivo a sugestão de materiais alternativos para atuarem como propantes. Para isso tornou-se necessário conhecer os propantes comerciais e suas propriedades, conhecer os principais problemas de funcionalidade dos propantes (flowback, por exemplo) e a condutividade deles.

1.4 Breve Descrição do Realizado e sua Contribuição

Neste trabalho procurou-se pesquisar novos materiais, preferencialmente de mais baixo custo, para serem usados como agentes de sustentação (propantes) em operações de fraturamento hidráulico. Foi feita caracterização de materiais como piso cerâmico moído, porcelanato esferoidizado, miçangas vazadas (usada na fabricação de bijuterias), miçangas maciças (esferas sem furo, também usada na confecção de bijuterias) e microesferas de vidro. Todos os ensaios foram realizados segundo as Normas API, ISO e ABNT aplicáveis.

A principal contribuição deste trabalho reside no fato de disponibilizar para a indústria de petróleo a opção de novos materiais, com características e custos de aplicabilidade diferentes, a serem usados como agentes de sustentação (propantes) nas operações de fraturamento hidráulico, propiciando uma maior variedade de condições de aplicação nos poços.

Como resultados alcançados podem ser ressaltados, a sugestão das microesferas de vidro como um potencial propante sob determinadas condições de trabalho, e o desenvolvimento de técnica para desenvolvimento de microesferas de vidro revestidas com resina fenólica. Além das microesferas, outros materiais como as miçangas maciças também possuem bom potencial quando aplicáveis em determinadas condições de trabalho conforme estabelecidas na pesquisa.

1.5

Organização do Trabalho

O trabalho se divide em 7 capítulos, incluindo esta introdução. O Capítulo 2 é uma revisão bibliográfica detalhada sobre as características geológicas das formações, estudo sobre os mecanismos que governam o refluxo dos propantes, a apresentação das Normas API vigentes para propantes e as propriedades dos propantes comerciais existentes. O Capítulo 3 refere-se à caracterização e avaliação dos materiais desenvolvidos. O Capítulo 4 trata dos resultados das análises experimentais realizadas para a determinação dos novos propantes. No Capítulo 5 encontra-se a análise do novo material quanto ao refluxo durante a produção. No Capítulo 6 são comparados os resultados dos propantes entre si e com outros de uso comercial. São comentados os resultados obtidos. No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e algumas propostas de trabalho futuro. Ao final do trabalho encontram-se as referências bibliográficas e os apêndices.