

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O refluxo do material de sustentação de fraturas hidráulicas representa ainda hoje um grande problema para a indústria de petróleo. O fenômeno não é bem compreendido, difícil de ser simulado experimental ou numericamente incluindo todos os fatores intervenientes no processo, mas suas conseqüências podem ser desastrosas sob os pontos de vista técnico, financeiro e ambiental.

A primeira e mais óbvia solução operacional para evitar o problema é manter a vazão de produção de fluido abaixo de determinado valor crítico, onde se estima o início da produção do propante. Outra providência consistiria no fechamento rápido da fratura para capturar os grãos de propante em uma estrutura estável, mas a literatura registra insucessos destas técnicas por desconsiderarem a influência de outras variáveis igualmente significativas, como os efeitos das forças hidrodinâmicas e da largura da fratura, dentre outras.

Uma maior compreensão dos fatores que causam o refluxo do propante é, portanto, essencial. A partir das investigações pioneiras de Milton-Taylor et al. (1992), vários pesquisadores têm trabalhado no assunto, algumas vezes apresentando resultados e conclusões discrepantes entre si, mas que devem ser encaradas com naturalidade tendo em vista que apenas recentemente o problema tem atraído a atenção e interesse de pesquisadores, engenheiros e companhias de petróleo.

De maneira bastante simples pode-se afirmar que o refluxo do propante depende basicamente da ação de duas forças que nele atuam: as forças de fechamento da fratura, que tendem a estabilizar o pacote granular, e as forças de arraste ou hidrodinâmicas que o desestabilizam. A resultante do sistema, no entanto, não é facilmente previsível devido à interação com outras variáveis do problema, como a largura da fratura e a ocorrência de fluxo multifásico, que aumentam as forças de arraste, os efeitos de depleção do reservatório, que tendem a diminuir as tensões de fechamento da fratura, etc.

Nesta dissertação procurou-se inicialmente estudar o problema do refluxo do material de sustentação, abordando-se os tipos de propante, suas propriedades e

tratamentos, bem como investigou se os mecanismos que governam o fenômeno e mais significativamente o influenciam. Em seguida, foram descritos vários modelos simples para previsão do refluxo de propante, dentre os publicados na literatura nos últimos anos, sendo a maioria desenvolvida com base nos resultados de ensaios de laboratório.

Finalmente, a presente pesquisa completou-se com a retroanálise de 22 poços da Petrobrás localizados em Sergipe, onde em 11 deles foi constada a produção de propante, com o objetivo de avaliar a capacidade e versatilidade destes modelos.

Como conclusões do trabalho são destacadas as seguintes:

- a) a seleção do tamanho e tipo de propante deve ser feita considerando-se um material não tratado. O tratamento do propante deve ser considerado como uma segurança adicional à estabilidade do pacote granular. Deve ser também lembrado que a resistência de resinas curáveis depende, por exemplo, da temperatura e do tempo de fechamento da fratura;
- b) uma recomendação importante é incluir um critério de estabilidade no próprio projeto de fraturamento hidráulico, conforme sugestão de Canon et. al (2003), sumarizada na figura 4.17. A desconsideração dos aspectos de estabilidade do propante no projeto de fraturamento hidráulico pode resultar em tratamentos sub-ótimos, com aumento dos custos operacionais e decréscimo da produtividade do poço;
- c) de modo geral os resultados obtidos com os modelos utilizados nesta dissertação confirmam a conclusão de Milton-Taylor et al. (1992) de que fraturas com larguras normalizadas superiores a 6 são basicamente instáveis.
- d) dentre os modelos analisados, o modelo proposto pelo consórcio Stimlab e o modelo semi-mecânico apresentaram nesta pesquisa os resultados finais mais consistentes. Entretanto, deve-se notar que, sob ponto de vista teórico, todos os modelos apresentam algum tipo de restrição em sua formulação e que, sob ponto de vista prático, é difícil testá-los e compará-los devido a incertezas sobre os dados e condições de campo. O método dos elementos discretos, embora conceitualmente mais poderoso, é bastante útil para estudar-se o desenvolvimento do fenômeno de refluxo do material de sustentação, mas sua aplicação ainda é difícil na prática por envolver um grande número de partículas, com elevados custos de computação e tempos de análise;

- e) da análise com o modelo de cunha livre para materiais de sustentação com tamanho 16/30, 20/40, 30/60 e 12/20, observa-se que a dificuldade de modelagem está provavelmente relacionada com os valores da viscosidade do óleo, resultando em larguras normalizadas negativas para partículas com diâmetros superiores a 0,71mm. O modelo de cunha livre foi então considerado inapropriado pela dificuldade na modelagem para propantes de malha 12/20 e por estar restrito ao emprego de valores baixos de viscosidade.
- f) das Figuras 5.7 e 5.8 observa-se que os valores dos gradientes de pressão determinados com base nos dados calculados (largura da fratura) e fornecidos de campo (coeficiente de permeabilidade, viscosidade do óleo) resultaram bastante elevados. Não obstante, o modelo semi-mecânico ainda consegue representar satisfatoriamente o comportamento dos poços em campo;
- g) da Figura 5.16 e tabela 5.6 observa-se que o modelo semi-mecânico teve sucesso na previsão da ocorrência de instabilidade em 10 dentre os 11 poços analisados, à exceção do poço de número 2 onde a largura normalizada da fratura resultou bastante baixa. A previsão da quantidade de propante produzido foi, no entanto, insatisfatória na maioria dos poços;
- h) da Figura 5.17 e tabela 5.16 (com 100% da quantidade de propante injetada), relativas aos 11 poços onde não houve ocorrência de produção de material de sustentação, conclui-se inicialmente que o modelo semi-mecânico produziu previsões errôneas em todos os casos analisados, sempre indicando situação de fratura instável. Com a repetição da análise para uma quantidade menor de propante injetado (80% do valor inicial), justificada com base nas incertezas incluídas no cálculo do peso do volume de propante, verificou-se que o modelo semi-mecânico corretamente indicou que em nenhum dos poços houve a ocorrência da produção do material de sustentação;
- i) das Figuras 5.10 e 5.11, bem como das Tabelas 5.7 e 5.8, verifica-se o desempenho do modelo do consórcio Stimlab. Nos 11 poços onde houve produção de material de sustentação, a previsão foi correta em 8 dos 11 poços analisados (à exceção dos poços 1, 2 e 10, com taxa de acerto de

73%, portanto), enquanto que para os 11 poços onde não ocorreu a produção de propante os resultados foram os seguintes: previsão correta em 10 poços, com propante de tamanho 12/20, mas em apenas 6 poços onde considerou-se propante de tamanho 16/30, o que pode ser justificado com base no aumento da largura normalizada (e decréscimo da velocidade crítica) neste último caso;

- j) nas análises efetuadas neste trabalho, a ocorrência de esmagamento de grãos pelas tensões de fechamento da fratura foi descartada tendo em vista os valores relativamente baixos (2300 psi) de tensões envolvidos.

Para o desenvolvimento de trabalhos futuros neste complexo tema de pesquisa, sugerem-se os seguintes tópicos:

- a) investigação mais detalhada do comportamento dos modelos de previsão, com novos dados de campo, para uma generalização das conclusões aqui apresentadas, obtidas com um número restrito de casos históricos;
- b) aprofundamento do estudo das influências do fluxo não Darciano e do fluxo multifásico no refluxo de propante;
- c) execução de ensaios de laboratório buscando melhor avaliar a influência dos diversos fatores que causam a produção do material de sustentação, especialmente para o caso da utilização de propantes fabricados com materiais alternativos;
- d) modelagem numérica do fenômeno através do método dos elementos discretos, visando uma melhor compreensão teórica dos mecanismos que governam o processo.