

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo Exploratório do Processo de alargamento de poços via dissolução estática em rochas carbonáticas

AUTORES:

Luís Felipe Ramos Torres, José Pedro da Rocha dos Santos^{1,2}, Marcelo Santos Amaral^{1,2}, Jair Rodrigues Neyra^{1,2}, Daniel Nobre Nunes da Silva^{1,2}, Pedro Tupã Pandava Aum^{1,2}, Cláudio Regis dos Santos Lucas^{1,2}

INSTITUIÇÃO:

Faculdade de Engenharia/CAMPUSSAL/UFGA, ²Laboratório de Ciências e Engenharia de Petróleo (LCPetro)

Estudo Exploratório do Processo de alargamento de poços via dissolução estática em rochas carbonáticas

Resumo

No contexto global de mercado, diversas agências especializadas afirmam que as reservas de petróleo continuarão a ser uma fonte de matéria prima e energia relevante por um longo período. Além disso, no Brasil, foram declaradas a comercialidade de significativas reservas nos carbonatos nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo. Tratando-se das rochas carbonáticas, sabe-se que elas constituem cerca de 50% dos reservatórios de petróleo em escala mundial. Estas rochas são, geralmente, compostas dos minerais calcita e dolomita, de origem biogênica ou abiogênica, e alterados por processos de diagênese, ou seja, a partir de processos geológicos de baixa temperatura, tais como compactação, desidratação, precipitação ou cimentação. Podem ainda, apresentar características complexas de heterogeneidade como a variação em tamanho de grãos e apresentar misturas geológicas complexas que levam a porosidade e permeabilidade a serem menos previsíveis se comparados aos arenitos. Os carbonatos, quimicamente, apresentam reatividade a ácidos produzindo produtos, geralmente, bastante solúveis. Desta forma, ácidos são aplicados largamente em técnicas de estimulação na intenção de proporcionar melhoria na recuperação e aumento na produção de petróleo. Em diversas situações, como em cenários de janela operacional estreita, é necessário a construção de zonas de maior diâmetro ao longo do poço, preservando a geometria da zona acima. Na indústria, atualmente são aplicadas técnicas de alargamento de poço utilizando ferramentas de construção e operação complexa, as quais têm como objetivo corrigir o diâmetro do poço após desmoronamentos ou inchamento de formações, além de fornecer o aumento de dimensões radialmente, com finalidade de diminuir os riscos de perda de circulação durante as operações de cimentação ou perfuração. Neste trabalho foi estudado a aplicação do alargamento com ácido em um poço modelo construído em plugue do carbonato padrão rico em calcita. A metodologia aplicada neste trabalho foi desenvolvida em etapas, as quais basearam-se na limpeza da amostra, instalação de um canal artificial (poço), acidificação, visualização em escala microCT e processamento de dados das imagens. As amostras de 3 in de comprimento e 1,5 in de diâmetro foram obtidas de um afloramento da formação *Pink Desert* (USA). Os resultados obtidos mostram que é possível por meio da utilização de um ácido forte em etapas, o alargamento efetivo de uma formação carbonática. Além disso, os resultados mostram que em cada etapa houve um aumento progressivo do diâmetro, aproximadamente o dobro da amostra inicial, acompanhando o volume de ácido injetado cada vez maior em cada etapa sem a constatação da formação de *wormholes*.

Palavras-chave: Petróleo, Carbonatos, Acidificação, Alargamento.

Abstract

In the global market context, several specialized agencies state that oil reserves will continue to be a relevant source of raw materials and energy for a long period. Furthermore, in Brazil, the commerciality of serious carbonate reserves in the Santos, Campos and Espírito Santo Basins was declared. In the case of carbonate rocks, it is known that they are specific to around 50% of oil

reservoirs on a global scale. These rocks are generally composed of calcite and dolomite minerals, of biogenic or abiogenic origin, and altered by diagenesis processes, that is, from low-temperature geological processes, such as compaction, dehydration, variations or cementation. They may also present complex heterogeneity characteristics such as variation in grain size and present complex geological mixtures that lead to porosity and permeability being less predictable compared to sandstones. Chemically, carbonates are reactive to acids, producing products that are generally quite soluble. In this way, acids are widely applied in stimulation techniques with the intention of providing improved recovery and increased oil production. In several situations, such as in scenarios with a narrow operating window, it is necessary to construct larger diameter zones along the well, preserving the geometry of the zone above. In the industry, well enlargement techniques are currently applied using complex construction and operation tools, which aim to adjust the well ceramic after collapses or inches of formations, in addition to providing an increase in dimensions radially, with the aim of reducing the risks of loss of circulation during cementing or drilling operations. In this work, the application of acid flare was trained in a well model built on a standard carbonate plug rich in calcite. The methodology applied in this work was developed in stages, based on sample cleaning, installation of an artificial channel (well), acidification, visualization on a microCT scale and image data processing. The 3-inch long and 1.5-inch diameter samples were found from an outcrop of the Pink Desert formation (USA). The results obtained show that it is possible, through the use of a strong acid in stages, to effectively flood a carbonate formation. Furthermore, the results show that at each stage there was a progressive increase in diameter, approximately twice that of the initial sample, following the increasingly larger volume of acid injected at each stage without the formation of *wormholes*.

Keywords: Petroleum, Carbonate, Acidizing, Enlargement.

Introdução

No contexto global de mercado, diversas agências especializadas afirmam que as reservas de petróleo continuarão a ser uma fonte de matéria prima e energia relevante por um longo período. No Brasil, nos últimos anos, foram declaradas a comercialidade de volumosas reservas nos carbonatos da província do Pré-Sal, nas Bacias de Campos, Santos e do Espírito Santo. Nesse cenário, a perspectiva para a perfuração no Brasil torna-se, ao mesmo tempo, favorável no sentido econômico e desafiador devido à complexidade dos diversos cenários geológicos possíveis em tais reservatórios.

As rochas carbonáticas, caracterizadas como autóctones, são formadas por meio da precipitação de grãos produzidos por organismos e sedimentos carbonáticos. Além disso, elas possuem uma característica altamente heterogênea, com uma variedade de tamanhos e misturas geológicas.

A construção de poços de petróleo em formações carbonáticas apresenta desafios significativos, destacando-se problemas recorrentes como perda de circulação, restrições de projeto,

janela operacional estreita, e outras complexidades inerentes à natureza heterogênea e porosa desses reservatórios.

Neste sentido, sistemas ácidos frequentemente são empregados em operações de poços em carbonatos, denominadas de estimulação ácida, que visam promover a formação de canais de alta condutividade. Esses canais resultam no aumento do raio efetivo do poço, especialmente em cenários de dano à formação ou de permeabilidade naturalmente baixa, o que culmina na melhoria da eficiência de produção do poço.

A prática de alargamento de seções em poços de petróleo, visando ao aumento de suas dimensões radiais, é amplamente empregada em situações caracterizadas por uma janela operacional estreita. Essa técnica é aplicada nesse contexto com intuito de mitigar os riscos associados à ocorrência de perda de circulação durante operações de perfuração ou cimentação. Operacionalmente, essa prática é realizada por meio do uso de uma ferramenta dedicada, alargador retrátil, dotada de partes móveis com cortadores, acionadas no local de interesse por esferas de travamento e/ou pressão. Após a execução da tarefa, é necessário desabilitar a ferramenta para permitir a retração do seu diâmetro para que possa ser recuperada até a superfície. A execução da operação exige a presença de sonda de perfuração e pessoal especializado.

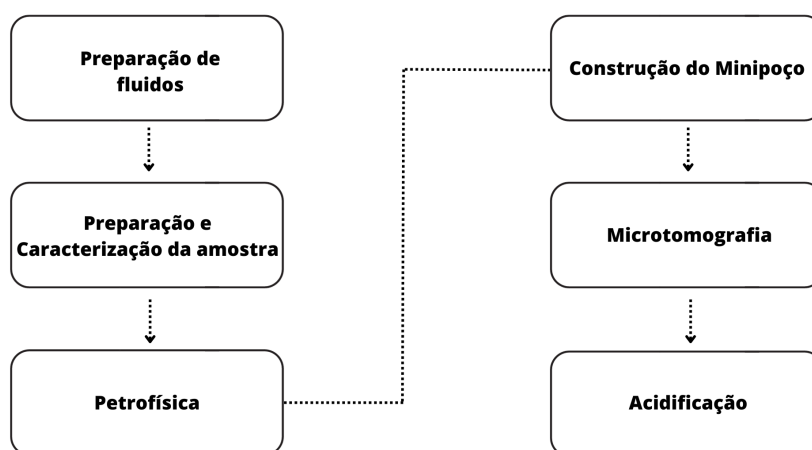
A utilização recorrente de sistemas ácidos como uma prática estabelecida na indústria em operações de estimulação e limpeza ácida, juntamente com sua dispensa do uso de sondas pesadas em diversas operações, representa uma oportunidade significativa para explorar sua aplicação no processo de alargamento de poços.

Para garantir a eficácia do processo com a utilização de sistemas ácidos, é essencial compreender o comportamento do reservatório e determinar o tipo e concentração ideais de ácido a serem utilizados. Nesse sentido, experimentos físicos e a técnica de acidificação matricial são ferramentas valiosas para avaliar o alargamento do poço causado pela interação rocha-fluido. Experimentos com ácido HCl 15% foram realizados em poço modelo em amostras de rocha carbonática do afloramento Pink Desert, com 3 polegadas de comprimento e 1,5 polegadas de diâmetro.

Metodologia

O fluxograma completo da metodologia está representado na Figura 1, fornecendo uma visão geral do processo experimental. Os resultados obtidos serão discutidos em detalhes posteriormente para uma compreensão mais completa dos efeitos da acidificação matricial no alargamento do poço.

Figura 1 - Fluxograma da Metodologia



Fonte: Autor

Resultados e Discussão

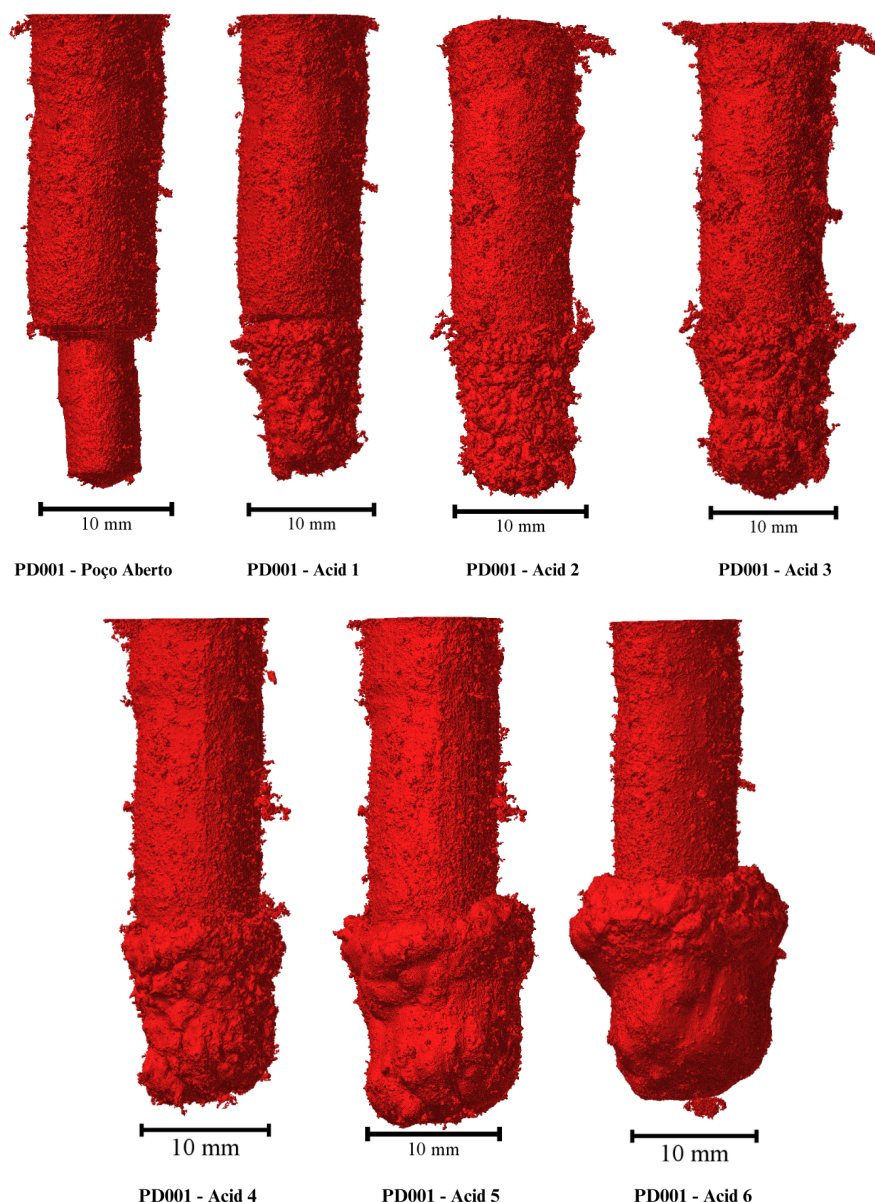
Os resultados apresentam o desenvolvimento do fluxo de acidificação em cada etapa do processo. Utilizou-se uma solução de HCl 15%, aplicada em uma única amostra de rocha, que passou por processos de limpeza e secagem entre os fluxos. Em cada ciclo de acidificação, uma quantidade específica de ácido foi injetada, com intervalos de tempo determinados entre as injeções.

A amostra em questão apresentou uma permeabilidade média de aproximadamente 9,97 mD e uma porosidade de 17,28%. Suas dimensões foram de 1,5 polegadas (3,81 cm) de diâmetro e 2,87 polegadas (7,28 cm) de comprimento.

Foi realizado o imageamento das amostras em cada etapa de acidificação, logo, por configuração final, é notório o alargamento do poço com a utilização do HCl. A figura 2, mostra o aumento do alargamento em cada etapa após a injeção ácida, do menor volume de ácido injetado para o maior. Verifica-se que, em cada etapa experimental o alargamento tende a consumir uma determinada região próxima do revestimento, o que pode ser explicado no momento da reação.

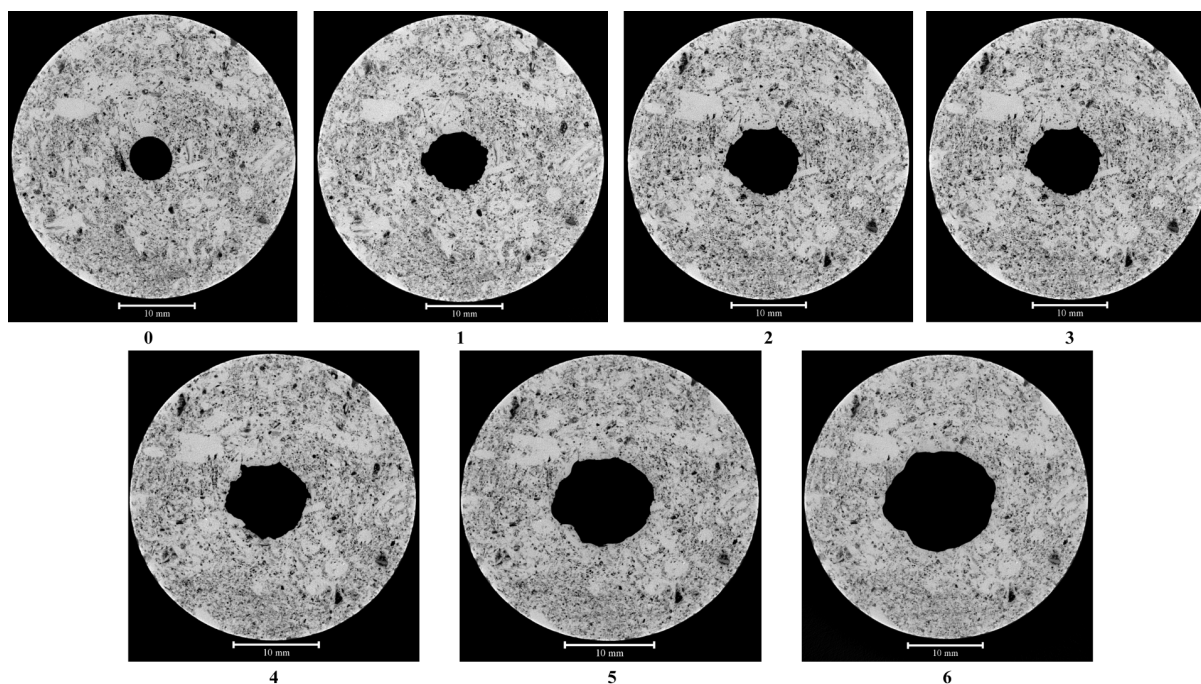
Há também por meio da análise de MicroCT a visualização 3D da amostra, desta forma, o minipoço é representado pela coloração vermelha conforme a figura 3.

Figura 2 - Visualização 3D após etapa de acidificação.



A figura 2 tem como intuito analisar o processo de evolução de diâmetro da amostra em cada etapa de injeção do ácido, logo, nota-se o aumento de diâmetro em um ponto concentrado da amostra, próximo a parte do revestimento. Isso pode ser explicado devido a fase de reação do ácido com a rocha, a qual produz CO_2 na forma de gás e água, ou seja, em cada etapa, há o acúmulo dessa água na amostra, fazendo com que na próxima fase de injeção do ácido, o mesmo reaja com essa região específica.

Figura 3 - Slices da amostra PD001 em cada etapa experimental



Ao tratar os slices da amostra PD001, visualmente tem-se uma imagem superior da amostra a qual foi analisada por Microtomografia Computadorizada. Pode-se extrair que ao decorrer de cada experimento, há o aumento de diâmetro.

Conclusões

Neste trabalho, torna-se evidente a interação rocha-fluido, logo, o experimento de acidificação com HCl em rocha carbonática foi realizado. Para o presente trabalho, destacam-se as principais conclusões:

- A concentração de ácido tem impacto diretamente no consumo de rocha, consequentemente, quanto maior a concentração, maior o consumo;
- É necessário que tenha maior tempo de reação do ácido com a rocha, uma vez que quanto maior o tempo, melhor a interação do ácido com a rocha;
- É notório o alargamento de poço com o HCl 15%, além de observar que não há formação de caminhos preferenciais “*Wormholes*”;
- A metodologia presente no trabalho não teve influência nos resultados obtidos, uma vez que houve somente mudança no método de injeção do ácido;

- Existem algumas dificuldades na parte de injeção do ácido, ou seja, é necessário ter uma técnica confiável, com intervalos de injeção, para que não haja perda na quantidade de ácido.

Agradecimentos

Agradeço este presente trabalho a Universidade Federal do Pará e a Petrobras pela bolsa, infraestrutura e materiais disponibilizados para a conclusão deste trabalho.

Referências Bibliográficas

CHILINGAR, George V.; YEN, T. F. Some notes on wettability and relative permeabilities of carbonate reservoir rocks, II. **Energy Sources**, v. 7, n. 1, p. 67-75, 1983.

FRIEDMAN, Gerald M.; SANDERS, John E. Origin and occurrence of dolostones. In: **Developments in sedimentology**. Elsevier, 1967. p. 267-348.

GRODZKI, Piotr; SZYMCZAK, Piotr. Reactive-infiltration instability in radial geometry: From dissolution fingers to star patterns. **Physical Review E**, v. 100, n. 3, p. 033108, 2019.

Jin, X., Zhu, D., Hill, A. D., & McDuff, D. R. (2020). Effects of heterogeneity in mineralogy distribution on acid-fracturing efficiency. *SPE Production & Operations*, 35(01), 147-160.

LADD, Anthony JC; SZYMCZAK, Piotr. Use and misuse of large-density asymptotics in the reaction-infiltration instability. **Water Resources Research**, v. 53, n. 3, p. 2419-2430, 2017.

LAUDON, Samuel. **A Radial Scale up of Matrix Acidizing in Carbonate Reservoirs**. 2021. Tese de Doutorado.

LIU, Piyang *et al.* Modeling and analysis of the acidizing process in carbonate rocks using a two-phase thermal-hydrologic-chemical coupled model. **Chemical Engineering Science**, v. 207, p. 215-234, 2019.