

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE PVBT PARA APLICAÇÃO NA ESTIMULAÇÃO ÁCIDA

AUTORES:

David Anderson Miranda Ribeiro¹, Brenda Matos da Costa^{1,2}, Daniel Nobre Nunes da Silva^{1,2}, Pedro Tupã Pandava Aum^{1,2}, Claudio Regis dos Santos Lucas²

INSTITUIÇÃO:

¹Laboratório de Ciência e Engenharia de Petróleo – LCPETRO, Campus Universitário de Salinópolis, Universidade Federal do Pará

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGG), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará

ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE PVBT PARA APLICAÇÃO NA ESTIMULAÇÃO ÁCIDA

Resumo

Na indústria do petróleo, a técnica de acidificação matricial é utilizada para estimular poços e, conseqüentemente, aumenta ou reestabelece a permeabilidade de uma região com dano. Neste sentido, são inúmeros os estudos, experimentos e ferramentas computacionais propostas para analisar os parâmetros que influenciam e condicionam o sucesso desta técnica, entre os quais: o PVbt (*pore volume to breakthrough*). As curvas de PVbt têm sido estudadas em diferentes condições, incluindo velocidade intersticial, vazão de injeção, temperatura, pressão, tipo de rocha e outros para determinar condições ótimas de injeção otimizando e garantindo menor custo-benefício ao projeto de tratamentos ácidos. Dada a importância deste parâmetro, este trabalho teve dois principais objetivos: realizar uma revisão bibliográfica dos parâmetros base para analisar o comportamento da solução ácida em meio poroso e elaborar uma análise quantitativa dos parâmetros de maior influência no PVbt de rochas carbonáticas a partir da construção de um banco de dados de trabalhos disponíveis na literatura.

Palavras-chave: Acidificação; Wormholes; Rochas Carbonáticas; *Linear Coreflood Experiment*; *Pore Volume to Breakthrough* – PVbt; Banco de Dados.

Abstract

In the oil industry, the matrix acidizing technique is used to stimulate wells and, consequently, increases or reestablishes the permeability of a region with damage. In this sense, there are numerous studies, experiments and computational tools proposed to analyze the parameters that influence and condition the success of this technique, including: PVbt (*pore volume to breakthrough*). The PVbt curves have been studied under different conditions including interstitial velocity, injection flow, temperature, pressure, rock type and others to determine optimal injection conditions optimizing and ensuring lower cost-benefit for the design of acid treatments. Given the importance of this parameter, this work had two main objectives to carry out a literature review of the base parameters to analyze the behavior of the acid solution in porous media and to elaborate a quantitative analysis of the parameters of greatest influence on the PVbt of carbonate rocks from the construction of a database of works available in the literature.

Keywords: *Acidizing*; *Wormholes*; *Carbonate Rocks*; *Linear Coreflood Experiment*; *Pore Volume to Breakthrough* - PVbt. Database

Introdução

O surgimento dos tratamentos ácidos remete ao final do século XIX, quando a Standard Oil Company utilizou ácido clorídrico (HCl) concentrado com o objetivo de estimular poços produtores de óleo em formações carbonáticas em Lima, Ohio (Kalfayan, 2008). Em relação aos tratamentos ácidos, existem basicamente dois tipos, a saber: acidificação de matriz, que consiste na injeção de fluidos a uma pressão abaixo da pressão de fraturamento da formação, e o fraturamento ácido, que se refere a injeção de fluidos a uma pressão acima da pressão de fratura da formação. Assim, ao longo dos anos com o

advento da simulação computacional e com os mais diversos experimentos em laboratório a estimulação ácida tornou-se uma área promissora em relação ao incremento de produção de óleo.

Em relação às técnicas de estimulação, operações de aprimoramento da produção e qualquer outra atividade de poço é passível de aprimoramento tanto fisicamente como economicamente. A exemplo de otimização física, tem-se o UFD (*unified fracture design*) metodologia proposta por Economides *et al.* (2002) e utilizada nos projetos de tratamentos de fraturamento hidráulico com o objetivo de aprimorar a performance do poço.

Quanto à otimização econômica da acidificação de matriz, dois aspectos essenciais são o projeto e a metodologia utilizada no tratamento ácido e os parâmetros econômicos. Eles são aplicados para se verificar o ganho de desempenho na produção com a acidificação, tendo em consideração os custos para sua execução. Assim, a finalidade da estimulação de matriz é o aprimoramento da produção, frequentemente utilizada para acelerar a produção em poços que sofreram redução em sua área de drenagem.

O tratamento de acidificação de matriz em reservatórios carbonáticos tem o propósito de aumentar a produtividade, ultrapassar a região danificada ou melhorar a conexão de zonas próximas ao poço através dos *wormholes*. Dessa forma, são feitos experimentos que visam simular em laboratório os efeitos e eventos relacionados a acidificação das formações gerando inf ormações que auxiliam na compreensão desses eventos, sendo assim, o estudo experimental se torna um importante instrumento para a construção de conhecimento.

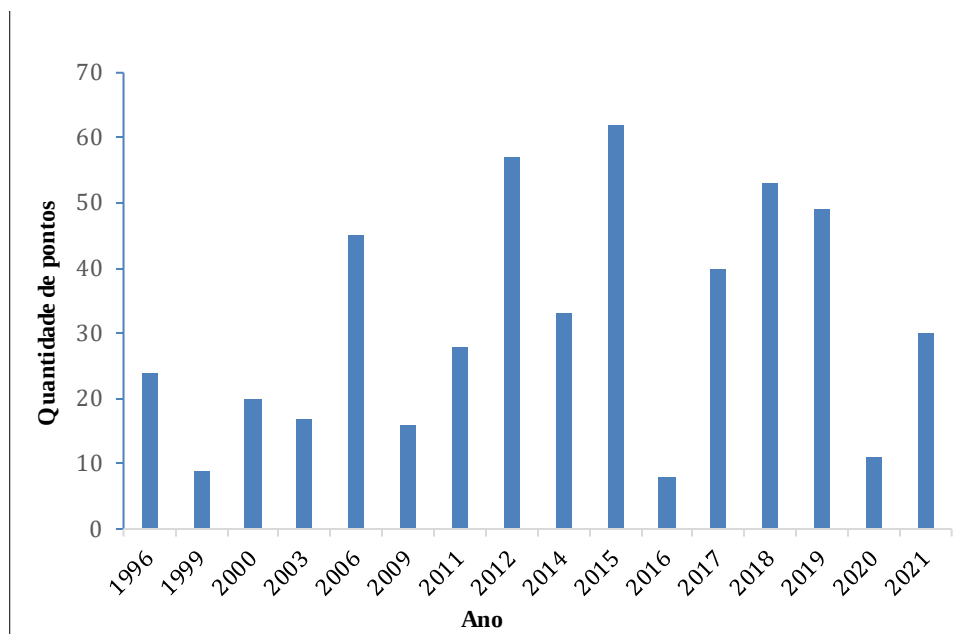
Todavia, os dados que são obtidos em experimentos, geralmente encontram-se dispersos na literatura. Assim, é interessante a compilação dessas informações com o intuito de facilitar o trabalho de pesquisadores e cientistas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é a elaboração de uma base de dados de PVBt de carbonatos referente a ensaios experimentais de fluxo reativo em meios porosos.

Metodologia

No presente trabalho a estrutura adotada baseia-se em uma revisão bibliográfica abordando de forma geral a estimulação ácida, reunindo através da análise em artigos, periódicos, teses e dissertações, dados referentes aos experimentos de *linear coreflood acidizing* agrupando tais informações em um banco de dados. As pesquisas foram realizadas em sites especializados como o *OnePetro*, em plataformas *online* como a *Springer Link* e o *ScienceDirect*, e em repositórios digitais de universidades internacionais como a *OAKTrust* da *Texas A&M University*. Ademais, foi utilizado o software *Microsoft Excel* para agrupar e armazenar os dados extraídos da literatura e conjuntamente na análise estatística dessas informações.

Resultados e Discussão

Foram catalogados aproximadamente 500 pontos que representam o conjunto de resultados obtidos a partir dos ensaios de fluxo reativo, onde foram testados e analisados vários tipos de sistemas de tratamento ácidos sob diversos parâmetros e condições experimentais. Na figura 1, tem-se a distribuição da quantidade de dados catalogados em função do ano.

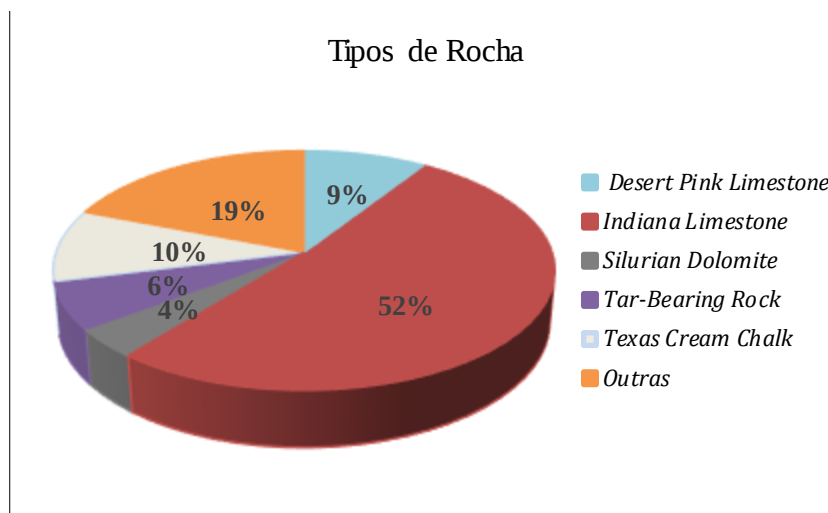
Figura 1: distribuição dos pontos ao longo dos anos.

Fonte: autor

Os parâmetros selecionados para a construção do banco de dados são: PVBt, vazão de injeção, velocidade intersticial, sistema de tratamento utilizado, a condição de saturação, temperatura, o tipo de rocha e suas dimensões (diâmetro e comprimento), permeabilidade, porosidade, pressão de confinamento e a contrapressão aplicadas.

Os tipos de rochas investigadas pelos artigos catalogados totalizaram quinze. Sendo que mais de 50 %, figura 2, são do tipo *indiana limestone*. Um dos fatores que condiciona a escolha da rocha *indiana limestone* para investigações experimentais se dá tanto em função de dados disponíveis na literatura para fins de comparação e validação sendo, portanto, um material de referência, quanto por sua devida acessibilidade, disponibilidade e relativa homogeneidade (Churcher *et al.*, 1991).

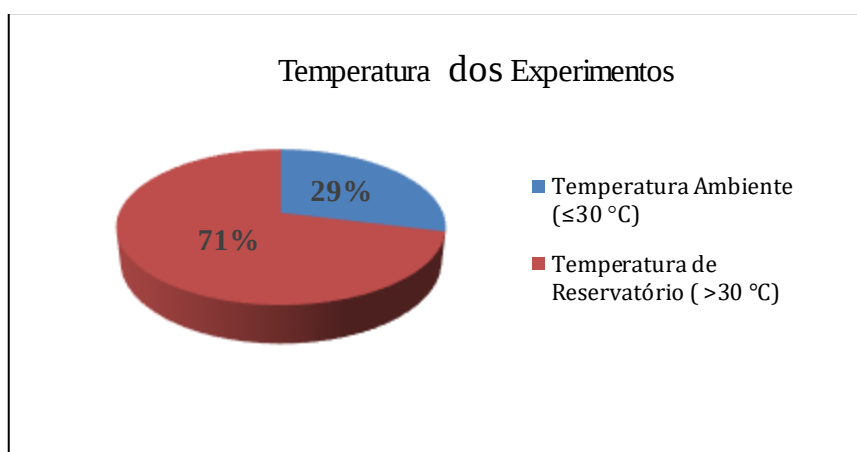
Figura 2: tipo de rocha carbonática utilizada nos experimentos



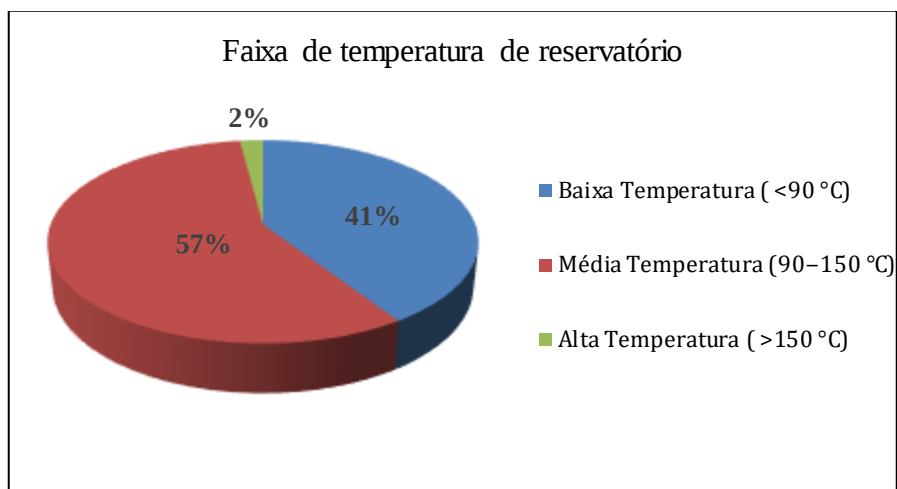
Fonte: autor

Um dos parâmetros mais avaliados nos estudos de interação ácido-rocha é a temperatura em decorrência da significativa influencia que exerce nos mais diversos cenários acidificantes sendo considerada para determinar, por exemplo, a composição da mistura ácida. Como podemos observar, figura 3, mais de 70% dos experimentos analisados foram realizados em temperatura de reservatório se comparados aos realizados em temperatura ambiente e isto se configura de tal forma pois os resultados obtidos representam as condições encontradas em reservatório para estimar cenários nos quais tais estudos serão validados.

Figura 3: análise dos tipos de temperatura experimental

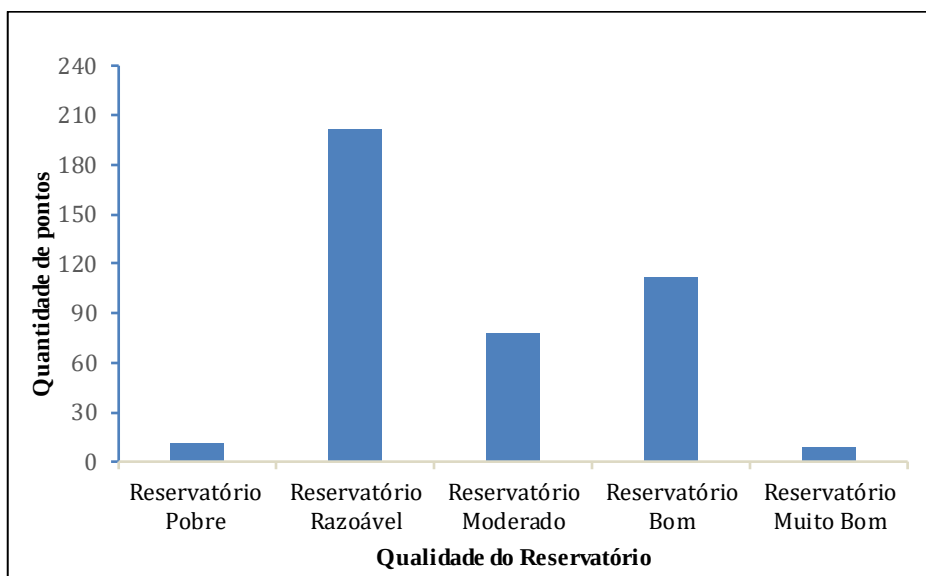


Fonte: autor

Figura 4: análise dos tipos de temperatura reservatório experimental

Fonte: autor

De acordo com Muffler e Cataldi (1978) a temperatura de reservatório pode ser dividida em baixa, média e alta e a partir desta classificação foram plotados os dados gráficos da figura 4. Como analisado, a grande maioria dos experimentos elaborados para estimar PVBt são realizados em temperatura média de reservatório, sendo que, apenas 2% do total é realizado em altas temperaturas, no entanto, as demais temperaturas, comumente utilizadas, não representam aquelas encontradas em reservatórios de condições mais extremas e isto pode ocasionar em erros significativos nas estimativas da taxa de injeção ótima na acidificação de rochas carbonáticas.

Figura 5: análise da qualidade dos reservatórios

Fonte: autor

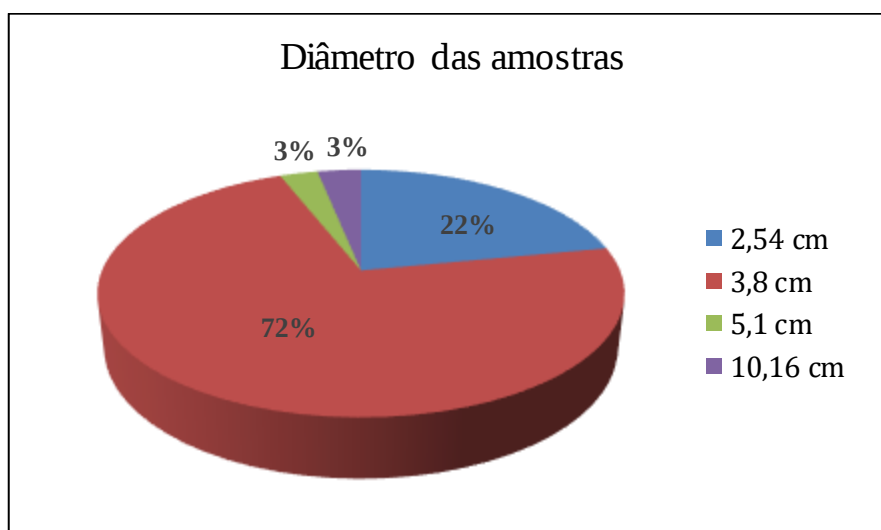
A permeabilidade é um parâmetro de grande importância na análise de desempenho de um reservatório podendo variar de 0,1 até 1000 ou mais milidarcys (mD). Conforme Tiab e Donaldson (2015) a qualidade de um reservatório em função da permeabilidade pode ser categorizada como: Pobre ($k < 1$); Razoável ($1 < k < 10$); Moderado ($10 < k < 50$); Bom ($50 < k < 250$); Muito bom ($k > 250$). Baseado nisso, na figura 5, tem-se a classificação dos pontos em razão de sua permeabilidade.

No trabalho de Bazin *et al.* (2001) que foi validado pelos resultados de Frick *et al.* (1994) é demonstrado que com o aumento da permeabilidade da rocha a velocidade intersticial ótima e a PVBt também aumenta, isso pode explicar a menor quantidade de testes realizados em rochas com a qualidade “muito bom”, como também a falta de disponibilidade de amostras de alta permeabilidade para a realização dos experimentos. Além disso, McLeod (1989) considera um bom candidato a acidificação de matriz uma formação com permeabilidade superior a 10 mD. Dessa forma, rochas de qualidade intermediária são mais utilizadas nos experimentos por levar a resultados mais representativos.

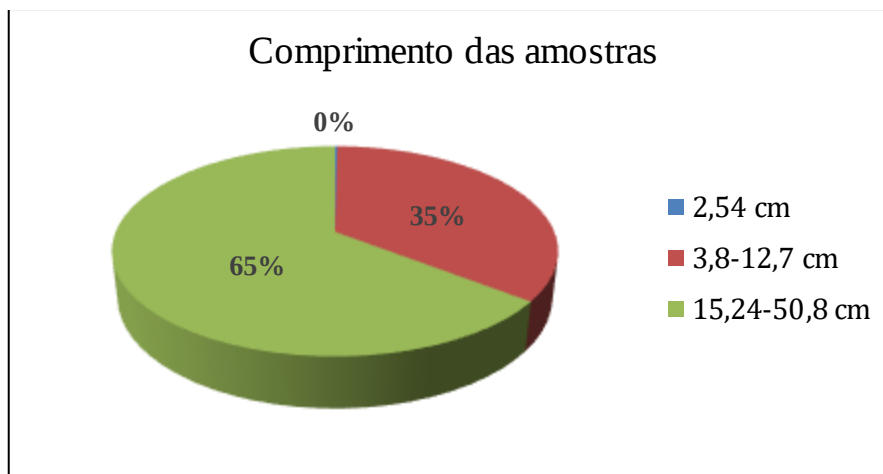
Buijse (1997) Afirma em seu trabalho que a estrutura dos *wormholes* e a distribuição do fluido são afetadas pelas dimensões dos plugues utilizados nos experimentos de acidificação. Em relação a isso, Furui *et al.* (2012) mostram que a PVBt ótima e a velocidade intersticial ótima diminuem com o aumento do diâmetro do plugue. Este resultado concorda com os experimentos realizados por Dong *et al.* (2014), além de que, é afirmado por estes que para plugues de 15,24 cm ou mais de comprimento um valor estável do fluxo ácido ótimo é obtido para o range de diâmetros analisados (2,54-10,16 cm).

Embasando-se nisso, como visualizado na figura 6, tem-se o predomínio de plugues com 3,8 cm de diâmetro nos testes experimentais. E apenas 3% dos experimentos foram feitos com o diâmetro de 10,16 cm que é geralmente o diâmetro máximo suportado pelos *coreholders*. Em relação ao comprimento, figura 7, os resultados são melhores, sendo 65% dos testes feitos com amostras a partir de 15,24 cm, contendo ainda um teste em uma amostra de 2,54 cm. Para plugues com comprimento curto, existe um considerável efeito de entrada relacionado a competição de *wormholes* que resultam em baixa eficiência (Huang *et al.* 1999). Dessa forma, é mais aconselhável utilizar amostras grandes nos experimentos, pois em plugues com menor dimensão o *wormhole* pode não se desenvolver adequadamente.

Figura 6: análise quantitativa dos diâmetros das amostras



Fonte: autor

Figura 7: análise quantitativa do comprimento das amostras

Fonte: autor

Conclusões

Ao longo deste trabalho foi apresentado e discutido diversos parâmetros influenciam significativamente na determinação do PVBt e na taxa de injeção ótima para rochas carbonáticas. No que diz respeito à pesquisa quantitativa realizada é possível observarmos algumas lacunas em relação à parâmetros analisados para determinação de curvas de PVBt, a exemplo, em reservatórios de alta temperatura e em baixas e altas permeabilidades.

O banco de dados elaborado demonstrou excelência tanto em relação à pesquisa quantitativa de artigos publicados enfatizando os parâmetros de maior influência quanto no desenvolvimento da compreensão do comportamento do PVBt em diversos cenários nos quais a técnica de acidificação de matriz possa ser aplicada e, conseqüentemente, se faça necessário um projeto de estimulação. Esta ferramenta, banco de dados, apresenta um grande potencial em ser utilizada como comparativo quantitativo e qualitativo na análise de experimentos em laboratórios com foco em acidificação de carbonatos.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Ciência e Engenharia de Petróleo, à Petrobras que financiou a realização desse projeto e a Universidade Federal do Pará e ao mentor deste trabalho Claudio Regis dos Santos Lucas

Referências Bibliográficas

BAZIN, B. From Matrix Acidizing to Acid Fracturing: A Laboratory Evaluation of Acid/Rock Interactions. *SPE Production & Facilities*, v. 16, n. 01, p. 22-29, 2001.

BUIJSE, M. A. **Understanding Wormholing Mechanisms Can Improve Acid Treatments in Carbonate Formations.** *Anais [...]* In: SPE European Formation Damage Conference. The Hague, Netherlands: SPE, 02 jun. 1997. <https://doi.org/10.2118/38166-MS>

CHURCHER, P.; FRENCH, P.; SHAW, J. *et al.* **Rock Properties of Berea Sandstone, Baker Dolomite, and Indiana Limestone.** *Anais [...]* In: SPE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OILFIELD CHEMISTRY. Anaheim, California: SPE, 20 fev. 1991. <https://doi.org/10.2118/21044-MS>

DONG, K.; JIN, X.; ZHU, D. *et al.* **The Effect of Core Dimensions on the Optimal Acid Flux in Carbonate Acidizing.** *Anais [...]* In: SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control. Lafayette, Louisiana, USA: SPE, 26 fev. 2014. <https://doi.org/10.2118/168146-MS>

ECONOMIDES, M.; OLIGNEY, R.; VALKÓ, P. **Unified fracture design: bridging the gap between theory and practice.** Alvin, TX: Orsa Press, 2002.

FRICK, T. P.; MONSTOFIZADEH, B.; ECONOMIDES, M. J. **Analysis of Radial Core Experiments of Hydrochloric Acid Interaction with Limestones.** *Anais [...]* In: SPE formation damage control symposium. Lafayette, Louisiana: SPE, 07 fev. 1994. <https://doi.org/10.2118/27402-MS>

FURUI, K.; BURTON, R. C.; BURKHEAD, D. W. *et al.* A Comprehensive Model of High-Rate Matrix-Acid Stimulation for Long Horizontal Wells in Carbonate Reservoirs: Part I--Scaling up Core-Level Acid Wormholing to Field Treatments. **SPE Journal**, v. 17, n. 01, p. 271-279, mar. 2012. <https://doi.org/10.2118/134265-PA>

HUANG, T.; ZHU, D.; HILL, A. D. **Prediction of Wormhole Population Density in Carbonate Matrix Acidizing.** *Anais [...]* In: SPE European Formation Damage Conference. The Hague, Netherlands, 31 mai. 1999. <https://doi.org/10.2118/54723-MS>

MCLEOD, H. O. **Significant Factors for Successful Matrix Acidizing.** *Anais [...]* In: SPE Centennial Symposium at New Mexico Tech. Socorro, New Mexico: SPE, 16 out. 1989. <https://doi.org/10.2118/20155-MS>

MUFFLER, L. J. P.; CATALDI, R. Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources. **Geothermics**, v. 7, n. 2-4, p. 53-89, 1978. [http://dx.doi.org/10.1016/0375-6505\(78\)90002-0](http://dx.doi.org/10.1016/0375-6505(78)90002-0)

TIAB, D.; DONALDSON, E. C. **Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties.** Fourth edition ed. Amsterdam: Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier, 2015.