

# ALTERAÇÃO DA CONECTIVIDADE DO SISTEMA DE FRATURAS DE AQUÍFEROS FISSURAIS POR FRATURAMENTO HIDRÁULICO

*José Sérgio dos Santos<sup>1</sup>; Thomas Paul Ballester<sup>2</sup>; Ernesto da Silva Pitombeira<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Na indústria do petróleo o fraturamento hidráulico tem sido utilizado para aumentar a produção de poços que apresentam baixas vazões. Nesta pesquisa estudou-se os efeitos que o fraturamento hidráulico imprime sobre a conectividade do sistema de fraturas de um aquífero fissural. Para testar a metodologia, dados coletados em dois poços de bombeamento perfurados na Fazenda de Horticultura da University of New Hampshire foram utilizados. Uma análise dos testes de aquífero através do modelo de Cooper-Jacob permitiu concluir que o fraturamento hidráulico aumentou a conectividade das fraturas em 20 vezes em um poço e 11 vezes em outro. O dado prático foi que um poço passou a fornecer vazões 10 vezes maiores e no outro este aumento foi de 18 vezes.

**ABSTRACT** – In the petroleum industry hydraulic fracturing has been used to enhance the productivity of wells that yield low flow. The main objective of this research was to study the effects that hydraulic fracturing causes in a fractured rock aquifer's connectivity. As a test of the methodology, data collected from two pumping wells drilled at the University of New Hampshire were used for verification. These data include pre- and post-fracturing pumping tests and records of the fracturing operation. An analysis of pumping test results using Cooper-Jacob model concluded that the hydraulic fracturing increased the system's connectivity of one well more than 20 times and in the other the connectivity increased 11 fold. The practical information was that one well yielded 10 times more water and the other 18 times more.

**PALAVRAS-CHAVE:** aquífero fissural, fratura, conectividade, fraturamento hidráulico.

## 1 – INTRODUÇÃO

O escoamento em rochas fraturadas é dependente do grau de interconexão entre as fraturas que, por sua vez, é dependente de sua densidade, orientação, comprimento e abertura [1]. Na indústria do petróleo, quando a prospecção de óleo mostra-se antieconômica, o fraturamento hidráulico é utilizado para alterar as características do sistema de fraturas de modo que a vazão de instalação do poço possa ser aumentada. Entre estas características está a conectividade do sistema de fratura. Esta tecnologia também pode ser empregada para aumentar a vazão de poços de aquíferos fissurais [2,3].

---

<sup>1</sup> IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção Civil, Av. Treze de Maio, 2081, Fortaleza/CE, CEP: 60040-531, E-mail: sergio@ifce.edu.br

<sup>2</sup> UNH - University of New Hampshire, Department of Civil Engineering, 238 Environmental Technology Building, UNH, Durham, NH 03824, USA. E-mail: tom.ballester@unh.edu

<sup>3</sup> UFC - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici - Bloco 713, Fortaleza/CE, CEP: 60451-970, E-mail: glauber@ufc.br

## 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Em hidrogeologia o termo conectividade é utilizado em referência à presença física de zonas de alta ou de baixa condutividade hidráulica. Em outras palavras, se um sistema possui um caminho de alta condutividade hidráulica que aumenta o escoamento, este sistema é admitido como possuindo boa conectividade. É importante destacar a diferença entre conectividade e a pura existência de interseção entre fraturas [4].

### 2.1 O modelo de Cooper-Jacob e a conectividade do sistema de fraturas

Pesquisas demonstram que zonas de alta transmissividade estão melhores conectadas que zonas de baixa transmissividade. Indicam também que estimativas do coeficiente de armazenamento,  $S$ , obtido pelo método de Cooper-Jacob [5] detém informação não apenas do material da vizinhança do poço, mas também do grau de interconexão entre o poço de bombeamento e o poço de observação. Apesar de certa perda de informação, há evidência de que o coeficiente de armazenamento,  $S$ , e consequentemente a difusividade hidráulica aparente,  $D_a$  [ $L^2T^{-1}$ ] ( $D_a=T/S$ ), conforme interpretada pelo método de Cooper-Jacob está relacionada com a conectividade do sistema de fraturas [4].

## 3 – METODOLOGIA

### 3.1 Local da Pesquisa

A pesquisa foi realizada no campus da University of New Hampshire, localizado em Durham, NH, EUA. As condições hidrogeológicas para o experimento, nesta região, são muito boas, pois o estado de New Hampshire está assentado sobre um embasamento cristalino composto basicamente de rochas metamórficas e plutônicas. Estudos locais mostraram que estas rochas praticamente não apresentam porosidade primária, o que permite serem consideradas impermeáveis [6].

### 3.2 Testes de Aquífero

Foram realizados cinco testes de aquífero em cada um dos dois poços (**A** e **B**) perfurados no campus da universidade (Ver Figura 1). Os testes seguiram três etapas diferentes. Antes do fraturamento hidráulico (1973), imediatamente após o fraturamento hidráulico (1973), e um ano após a operação (1974). Ao bombear um poço tentou-se utilizar o outro como poço de observação do primeiro, mas infelizmente não foi detectada

nenhuma conexão hidráulica entre eles, mesmo após mais de 14 horas de bombeamento. Assim, todos os dados foram coletados a partir de poços de bombeamento [7].

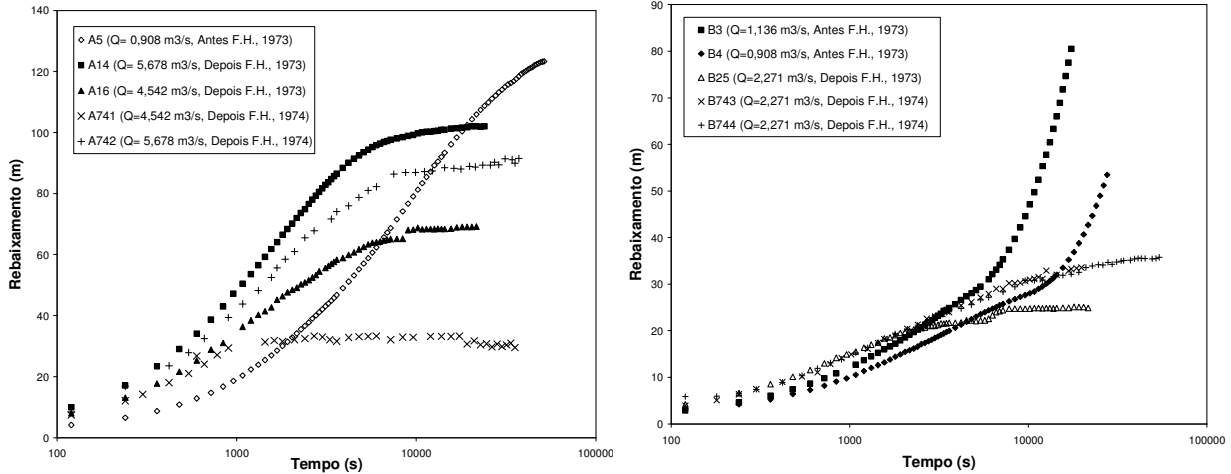


Figura 1 – Teste de aquífero para os Poços A e B. (F.H. – Fraturamento Hidráulico)

#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores de difusividade calculados para os poços **A** e **B** da Fazenda de Horticultura da University of New Hampshire.

Tabela 1. Difusividades Aparentes para os poços **A** e **B**. (Resultados do modelo Cooper Jacob)

Poço	Teste #	Fraturamento Hidráulico	$D_a$ ( $m^2/dia$ )	Poço	Teste #	Fraturamento Hidráulico	$D_a$ ( $m^2/dia$ )
A	A5	Antes	35	B	B3	Antes	80
A	A14	Depois	601	B	B4	Antes	121
A	A16	Depois	662	B	B25	Depois	1742
A	A741	Depois	74098	B	B743	Depois	2
A	A742	Depois	808	B	B744	Depois	633

No poço **A**, o valor original de difusividade era de  $35 m^2/dia$ . Após o fraturamento, este valor aumentou para algo entre  $600$  e  $800 m^2/dia$ . Os testes realizados um ano depois, indicam que este valor se manteve. O teste anômalo (A471) aponta para aumentos superiores a 868 vezes o valor original. Mesmo desprezando-se este teste, e calculando-se a média harmônica dos demais, encontra-se que a nova difusividade média do sistema é de  $D_a = 685 m^2/dia$ , o que corresponderia a um incremento de 20 vezes na conectividade do sistema de fratura no raio de influência deste poço.

Resultados semelhantes foram estimados no poço **B**. Admitiu-se que a difusividade original é igual à média harmônica dos testes realizados antes do fraturamento, cujo valor

encontrado é de  $D_a = 98 \text{ m}^2/\text{dia}$ . Assim, comparando-se este valor com aqueles dos testes pós-fraturamento, nota-se um aumento entre 6 e 17 vezes. Excluindo-se o teste B743, e calculando a média harmônica pós-fraturamento, encontra-se  $D_a = 1050 \text{ m}^2/\text{dia}$ . Este valor aponta para um incremento na conectividade do sistema de 11 vezes.

## 5 – CONCLUSÕES

Nos testes pós-fraturamento detectou-se que os poços estavam se comunicando, o que não ocorria antes. Isto indica que o fraturamento imprimiu mudanças consideráveis na conectividade do sistema de fraturas. A análise através de Cooper-Jacob sugere que a conectividade do sistema de fraturas aumentou entre 11 e 20 vezes.

## 6 – AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos à FUNCAP, CAPES e University of New Hampshire pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LONG, J.C.S.; WITHERSPOON, P. A., The relationship of the degree of interconnection to permeability in fracture networks, **Journal of Geophysical Research**, vol. 90, issue B4, p. 3087-3098, 1985.
- [2] SMITH, M.B.; SHLYAPOBERSKY, J.W., Basics of Hydraulic Fracturing. In: **Reservoir Stimulation**, Third Edition, edited by Economides, M.J. and Nolte, K.G., 2000.
- [3] DOS SANTOS, J.S.; BALLESTERO, T.P.; PITOMBEIRA, E.S., An Analytical Model for Hydraulic Fracturing in Shallow Bedrock Formations. **Ground Water**, vol. 49, issue. 3, p.415-425, 2011.
- [4] KNUDBY, C.; CARRERA, J., On the use of apparent hydraulic diffusivity as an indicator of connectivity, **Journal of Hydrology**, vol. 329, issue. 3-4, p. 377-389, 2006.
- [5] COOPER, H.H.; JACOB C.E., A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, **Am. Geophys. Union Trans.**, vol. 27, p. 526-534, 1946.
- [6] MOORE, R. B.; SCHWARZ, G.E; CLARK, F.C.; WALSH G.J.; DEGNAN, J.R., **Factors Related to Well Yield in the Fractured-Bedrock Aquifer of New Hampshire**, U.S. Geological Survey professional paper 1660, 2002, ISBN 0-607-98453-8.
- [7] STEWART, G. W., **Hydraulic Fracturing of Drilled Water Wells in Crystalline Rocks of New Hampshire**. New Hampshire Department of Resources and Economic Development, 1974.