

ESTIMATIVA DOS EFEITOS DO MELHORAMENTO DA EFICIÊNCIA HÍDRICA DE AQUÍFEROS FISSURADOS NO SEMI-ÁRIDO CEARENSE

José Sérgio dos Santos¹; Ernesto da Silva Pitombeira²

Resumo

O Estado do Ceará, inserido no Polígono das Secas, tem sua geologia marcada pelo embasamento cristalino, que ocupa cerca de 75% do seu território. Embora alguns poços instalados nos aquíferos fissurais tenham boa produtividade hídrica a grande maioria tem baixo rendimento, o que provoca, algum tempo depois, a sua desativação ou o simples abandono. Esta realidade pode ser alterada com o emprego da técnica também empregada na engenharia de petróleo denominada fraturamento hidráulico. Após o fraturamento, alguns poços tiveram sua condutividade aumentada em média 34 vezes. Isto significa que poços cuja vazão é suficiente para atender a apenas 3 famílias, se fraturados passariam a atender a 105 famílias. O impacto da disseminação desta tecnologia no semi-árido cearense certamente seria significativo pois muitas comunidades ainda hoje são privadas de abastecimento de água pelo fato de estarem geograficamente isoladas ou difusamente distribuídas.

Abstract

The state of Ceará, inserted on the polygon of aridity, has its geology marked by the crystalline bedrock, which occupies approximately 75% of its territory. Although some wells installed on fractured aquifers have good productivity the great number of them has low efficiency, which causes, later, their deactivation or their disregard. This reality can be modified by using a technique, also utilized by the petroleum industry, called hydraulic fracturing. After fracturing, some wells had their conductivity increased 34 times. This means that wells whose flow is enough to supply only 3 families, if fractured would attend 105 families. The impact of the spreading of this technology in the cearense's semi-arid certainly would be meaningful because many communities, yet nowadays, are not attended with water supply by the reason that they are geographically isolated or diffusely distributed.

Palavras-Chave

Aquíferos fissurados; Fraturamento hidráulico; Água subterrânea.

¹ MSc, Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFETCE – Av. 13 de Maio, 2081 – Benfica – Fortaleza-CE CEP – 60.040-531 – Fone +55 (85) 3288-3666 Fax (85) 3288-3711 – sergio@cefetce.br

² PhD, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará - Campus do Pici – Centro de Tecnologia – Bloco 713 - térreo – CEP - 60.451-970 – Fortaleza – CE – Brasil - telefone: (85) 4008-9773 – fax: (85) 4008-9627 - glauber@ufc.br | Sócio da ABAS.

1- Introdução

A água subterrânea é uma das mais importantes fontes de recursos naturais de nosso país. Ela provê água de beber para as comunidades, abastece a indústria e a agricultura, e em algumas regiões abastece rios e regiões pantaneiras. Há muito se busca entender o movimento das águas subterrâneas nos aquíferos. Historicamente, os aquíferos porosos por serem mais facilmente acessíveis foram os primeiros a serem investigados. Hoje, sua caracterização é de fácil determinação e o seu comportamento está plenamente compreendido. Posteriormente, o aumento da demanda forçou as comunidades a procurar água também em aquíferos fissurados, onde a água move-se através das fraturas da rocha. Estas fraturas, porém, nem sempre conseguem transmitir grandes quantidades de água. A compreensão do escoamento subterrâneo através dos aquíferos fraturados é uma área da pesquisa de água subterrânea que crescerá de importância para o país nos próximos anos – especialmente porque os aquíferos fissurados podem ser o meio mais econômico e eficaz para abastecer pequenas comunidades difusas localizadas a grande distância dos principais reservatórios superficiais.

Entender como a água escoar - ou como não escoar – através das rochas fraturadas é um fator importante nas decisões tomadas por gestores de recursos hídricos e engenheiros geológicos e estruturais. Em certos aquíferos as fraturas podem transmitir grandes quantidades de água, em outros elas podem ser praticamente impermeáveis. Por causa da distribuição complexa das fraturas em quase todo tipo de rocha, nenhum método simples pode claramente mapear as fraturas e suas capacidades para o movimento de fluidos (Shapiro [1]).

Para o Estado do Ceará, cujo território está inserido no polígono das secas, é importante conhecer o potencial hídrico de seus aquíferos fissurais, visto que predominam em quantidade e estão distribuídos em três quartos do território. Atualmente estão disponíveis algumas técnicas de estimulação de poços instalados em formações rochosas. Com base nisso, entende-se então que o estudo da aplicabilidade destas técnicas nos aquíferos fissurados do Estado mostra-se de grande importância.

2 - Objetivos

O objetivo deste trabalho é avaliar importância dos aquíferos fissurais para o Estado do Ceará e os possíveis impactos decorrentes do aumento de sua eficiência hídrica através de uma tecnologia também utilizada na engenharia de petróleo denominada fraturamento hidráulico.

3 - Hidrogeologia do Estado do Ceará

Segundo o Serviço Geológico do Brasil - CPRM [2] pode-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos no Estado do Ceará: sedimentar, cristalino e aluvionar. Os aquíferos situados nos solos sedimentares são os mais importantes no que diz respeito à eficiência hídrica e à qualidade de água. Por terem elevada permeabilidade e coeficiente de armazenamento consegue-se instalar poços que propiciam alta produção de águas. Ainda de acordo com o CPRM [2] a vazão média dos poços instalados nestes aquíferos da região é de 18.500 litros por hora, beneficiando mais de 130 mil famílias. No município de Barbalha, alguns destes poços chegam a alcançar mais de 100.000 litros por hora, como por exemplo, o poço BAR/CE/012 cuja vazão é de 150.000 litros por hora. Entretanto, conforme nota-se na Figura 1, estes aquíferos ocupam uma pequena área do Estado, cerca de 25% do território, e localizam-se predominantemente em seu contorno.

A Figura 1 apresenta um mapa simplificado da geologia do Estado do Ceará, indicando as regiões de rochas cristalinas e as coberturas sedimentares. Ao se analisar o mapa, percebe-se claramente que prevalece na região o embasamento cristalino. Este contém os aquíferos fissurais e ocupa os restantes 75% do território do Estado, mas produzem uma vazão média de pouco mais de 2000 litros por hora. Por terem a rocha matriz impermeável, a ocorrência de água subterrânea está condicionada à existência de uma porosidade secundária, oriunda das fraturas existentes. Alguns destes poços possuem produtividade tão baixa quanto 75 litros por hora, como por exemplo, o BAN/CE/028 localizado no município de Banabuiú, ou ainda como o QUI/CE/188 localizado no município de Quixadá e cuja vazão é de 60 litros por hora.

Por sua geologia peculiar, o Estado do Ceará poderia até receber o título de “*granite state*” brasileiro, em alusão ao Estado Americano de New Hampshire, apelidado de “*granite state*” por causa da abundância de formações graníticas presentes em seu território.

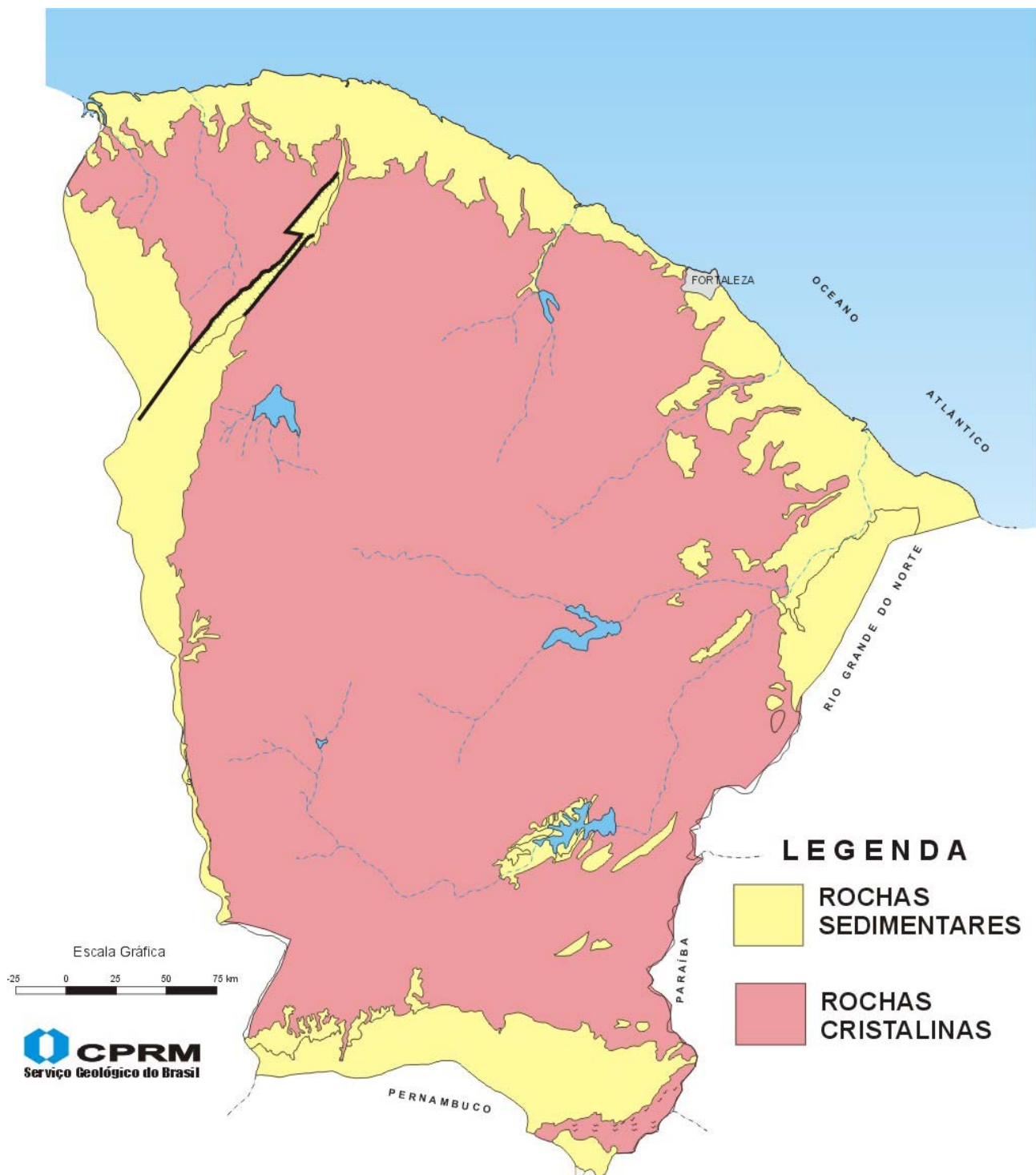


Figura 1 – Geologia Simplificada do Ceará: Cristalino e Coberturas Sedimentares.

Segundo o CPRM [2], ao todo o Estado do Ceará conta com 13.970 poços catalogados. Destes, 8.739 estão em aquíferos fissurais, o que significa dizer que para cada três poços instalados no Estado, quase dois são fissurais. A Figura 2 apresenta um gráfico indicando a proporção de cada tipo de aquífero em relação ao total.

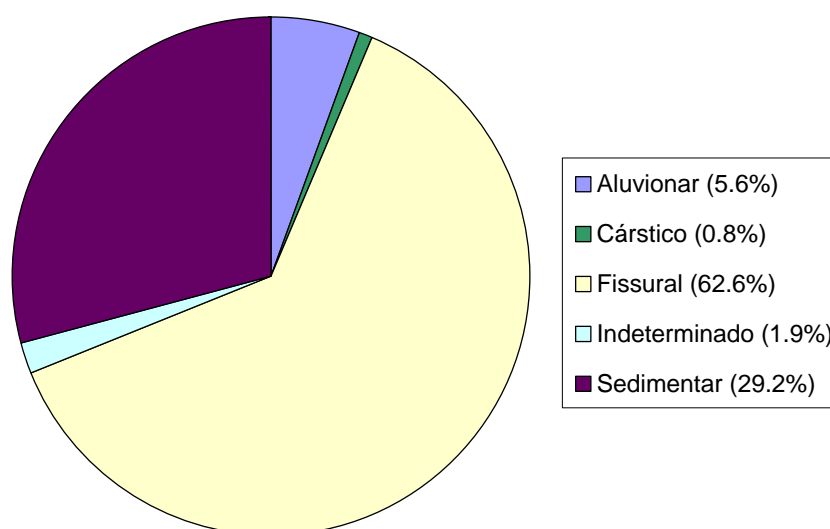


Figura 2 – Poços do Estado do Ceará por Tipo de Aquífero (Baseado em dados do CPRM)

3.1 - A importância dos Aquíferos Fissurais para o Estado do Ceará

Tendo em vista que os aquíferos fissurais possuem baixa permeabilidade e conseqüentemente produzem pequenas vazões, tende-se a concluir que este tipo de fonte hídrica não deveria ser explorado. O retorno de qualquer investimento nestes equipamentos seria duvidoso e, portanto o mais sábio seria investir em outras fontes hídricas, tais como as superficiais, em construção de adutoras e em poços nas zonas sedimentares.

Para se contextualizar esta discussão, é oportuno observar o comentário de Miranda [3] sobre a região semi-árida: “O clima da nossa região é caracterizado por um regime de chuvas escassas, irregulares e concentradas em um curto período de três ou quatro meses, sob a forma de precipitações intensas de curta duração. Com exceção do litoral, onde predominam as formações sedimentares, a geologia é predominantemente formada por rochas do embasamento cristalino, recobertas por um manto pouco espesso de alteração, e cortadas por vales onde se acumulam reduzidos depósitos aluvionais. A concentração das chuvas aliada à presença quase aflorante das rochas cristalinas faz com que os rios só escoem na estação das chuvas. Encerradas as chuvas, os rios deixam de correr, exigindo a construção de açudes para armazenamento da água que será usada no decorrer do ano”.

Embora suas afirmações estejam corretas, é importante destacar que algumas comunidades encontram-se distantes destes equipamentos de armazenamento e/ou difusamente distribuída pela região hidricamente escassa. Então, devido à falta de infra-estrutura de distribuição de água ficam

privadas dos benefícios resultantes do compartilhamento destes recursos, e assim, por estarem isoladas lhes resta como única alternativa hídrica as águas subterrâneas.

Neste cenário de escassez, o aproveitamento de todas as fontes hídricas disponíveis parece ser justificado. Os aquíferos fissurados conforme anteriormente mencionado, encontram-se numa região que ocupa cerca de 75% da área do Estado do Ceará. Assim, por terem uma ocorrência extremamente comum, demandam por estudos que apontem como se pode melhorar a eficiência de sua utilização, inclusive observando o aspecto da viabilidade econômica.

De fato, a maioria dos poços instalados nos aquíferos fissurados do Ceará tem vazão inferior a 800 litros por hora e percebe-se também que há grandes flutuações em torno da média. Por exemplo, identifica-se vazões tão díspares quanto 10 litros por hora no poço TAU/CE/390 no município de Tauá, quanto 15.200 litros por hora no poço RUS/CE/161 instalado no município de Russas.

Diante deste cenário pode-se estabelecer duas asserções. Primeiro, existem aquíferos naturalmente fissurados eficientes do ponto de vista hídrico, fornecendo vazões que podem propiciar o pleno abastecimento a muitas comunidades. Por exemplo, um poço com vazão de 15.200 litros por hora, instalado na região do embasamento cristalino, beneficiaria cerca de duzentas e trinta famílias – o que de modo algum é desprezível.

O segundo conceito que deve-se ter em mente, conforme mencionado por Shultz [4], é que tanto a crosta continental quanto a crosta oceânica estão completamente saturadas com água e/ou outros fluidos. As falhas tectônicas ficam completamente cheias de fluido quando são formadas. Somente acima do lençol freático, em baixas profundidades, ou seja, bem próximo à superfície encontra-se rochas que não estão completamente encharcadas com fluidos. Ele então sentencia: “Rochas encharcadas são a regra, e não a exceção em geologia”.

Shultz [4] explica ainda que as fraturas provêm um grande volume de vazios na rocha em comparação com sua baixíssima porosidade primária. Contudo, ele ressalta que não é apenas a porosidade que é responsável pelo escoamento – mas o quão interconectados estão estes vazios. Fraturas grandes e isoladas não provêm necessariamente um caminhamento para o escoamento, assim a permeabilidade será ainda pequena a menos que de alguma maneira se interconecte os vazios.

4 - Hidráulica dos Aquíferos Fissurados

Na hidrodinâmica de aquíferos fissurados, utiliza-se basicamente o modelo das placas paralelas (Pitombeira [5]). As equações governantes para o escoamento laminar entre duas placas lisas, impermeáveis e paralelas são formuladas a partir das equações de Navier-Stokes. Snow [6],

Snow [7], e Wilson [8] derivaram das equações de Navier-Stokes a bem conhecida Lei Cúbica. A Lei Cúbica pode ser expressa do seguinte modo:

$$q = -\frac{gb^2}{12\nu} bDEPTH \frac{\partial h}{\partial x'} \quad (1)$$

Onde:

q [L^3T^{-1}]	Vazão em uma fratura simples de abertura constante;
g [LT^{-2}]	Aceleração da gravidade;
b [L]	Abertura da fratura;
ν [L^2T^{-1}]	Viscosidade cinemática do fluido;
DEPTH [L]	Profundidade;
$\partial h/\partial x'$ [L/L]	Componente do gradiente hidráulico na direção da fratura (x')
x'	Representa o eixo-x de um sistema de coordenadas local paralelo ao comprimento da fratura;
h [L]	Representa a carga hidráulica nos dois extremos da fratura separados por uma distância x' ao longo da fratura.

Pode-se relacionar a Equação 1 com a expressão matemática da lei de Darcy para o meio poroso. A lei de Darcy é expressa por:

$$q = -KA \frac{\partial h}{\partial x'} \quad (2)$$

Onde:

q [L^3T^{-1}]	Vazão da fratura;
K [LT^{-1}]	Condutividade hidráulica;
A [L^2]	Área da seção transversal da fratura;
$\partial h/\partial x'$ [L/L]	Componente do gradiente hidráulico na direção do escoamento.

Comparando-se as Equações 1 e 2, facilmente percebe-se que $gb^2/12\nu=K$ e que $bDEPTH=A$. Então a Equação 1 pode ser interpretada como uma expressão da Lei de Darcy aplicada a um escoamento permanente, laminar, incompressível e viscoso em uma fratura com paredes impermeáveis de abertura constante. Neste caso a matriz da rocha tem que ser impermeável. A equação 1 conhecida como Lei Cúbica, porque b^3 aparece nesta equação, é usada para definir o escoamento em fraturas individuais.

Embora na maioria dos casos estas fraturas bem pequenas, medidas inclusive em microns, estudos confirmam que fraturas abertas podem transmitir eficientemente grandes quantidades de fluido, em conformidade com a Lei Cúbica definida acima, que declara que a vazão em uma fratura aberta é proporcional ao cubo da abertura da fratura. A Lei Cúbica portanto enfatiza o alto potencial

de escoamento mesmo para fraturas pequenas, e podem explicar porque aquíferos fraturados podem servir como um excelente aquífero.

Conforme se percebe ao analisar a Equação 1, a vazão é muito sensível à abertura da fratura. Pequenas alterações em **b** implicam grandes alterações em **Q**. Por exemplo, se se conseguisse aumentar em 100% o valor médio da abertura das fraturas de certo aquífero fissurado, mantendo ao mesmo tempo os outros parâmetros da Equação 1 inalterados, a vazão sofreria um aumento de oito vezes, ou seja, de 700%. A figura 3 exprime num gráfico esta sensibilidade da vazão à alterações nas abertura. Estas as alterações na abertura da fratura podem ser obtidas através de técnicas de fraturamento de aquíferos.

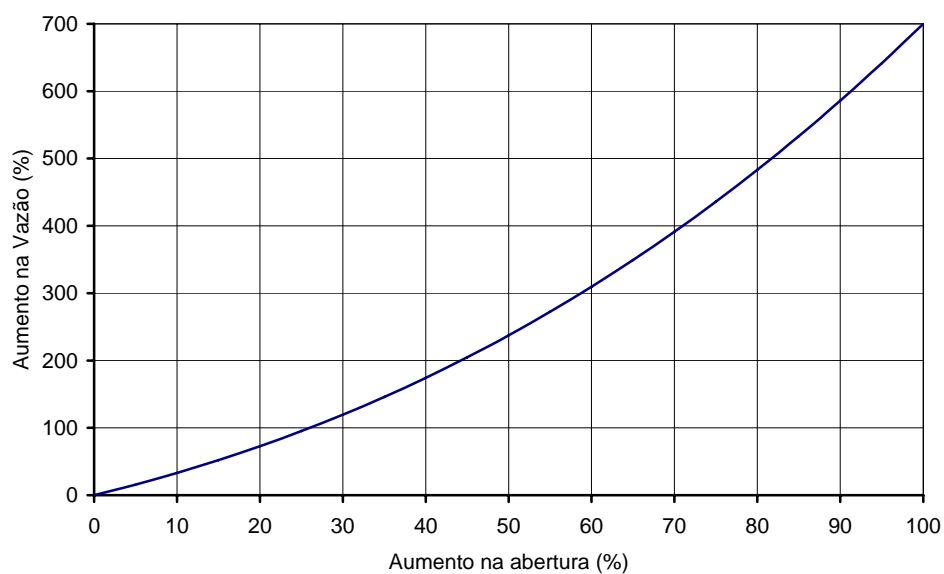


Figura 3 – Aumento da abertura x Aumento na Vazão.

5 - O Fraturamento Hidráulico

O Fraturamento hidráulico tem sido empregado nos Estados Unidos da América para melhorar a produção de óleo e gás oriunda de reservas subterrâneas já por mais de quarenta anos. No processo, um fluido especialmente preparado, chamado fluido de fraturamento, é bombeado em alta pressão para uma seção selecionada de um poço. A pressão do fluido cria uma fratura que se propaga no meio rochoso que reserva óleo ou gás. Com isto tem-se melhorado o rendimento dos poços, com ganhos significativos para a indústria do petróleo.

Hoje difundida no mundo inteiro, inclusive no Brasil, esta tecnologia torna possível que poços inviáveis economicamente, passem a produzir satisfatoriamente. As figuras 3 e 4 apresentam o ensaio de laboratório feito nas instalações da empresa BJ Services (contratada para executar a operação) com o fluido de fraturamento na véspera da operação de fraturamento em um poço de

petróleo pertencente à Petrobrás S.A. em Mossoró-RN. As Figuras 5 e 6 mostram o poço a ser injetado bem como os equipamentos necessários para se executar a operação.



Figura 4 – Ensaio com Fluido de Fraturamento, Mossoró-RN (Foto: Santos, J.S.)



Figura 5 – Ensaio com Fluido de Fraturamento, Mossoró-RN (Foto: Santos, J.S.)



Figura 6 – Poço de Petróleo Pronto para Receber o Fraturamento Hidráulico, Local: Mossoró-RN
(Foto: Santos, J.S.)



Figura 7 – Equipamentos Utilizados no Fraturamento Hidráulico de Poço de Petróleo,
Local: Mossoró-RN (Foto: Santos, J.S.)

Melhorar a eficiência dos poços de petróleo não é a única utilidade do fraturamento hidráulico. Também nos Estados Unidos, passou-se a utilizar o fraturamento hidráulico como um meio para se fazer a descontaminação de aquíferos. Isto se dá por se injetar fluidos “curativos” sob pressão num aquífero, que ao reagirem com os contaminantes proporcionam a eliminação de seus efeitos nocivos.

Deste modo, percebendo-se que a técnica de fraturamento hidráulico é bastante versátil pode-se procurar outros usos, inclusive melhorar a capacidade de armazenamento e a condutividade de aquíferos existentes no meio fraturado.

Para ser bem sucedido, o fraturamento hidráulico de uma formação geológica requer duas condições operacionais básicas. Primeiro, o fluido tem que ser injetado em uma vazão que exceda a capacidade da formação de receber o fluido. Segundo, o fluido tem de ser injetado em uma pressão que seja igual ou maior à tensão geostática na profundidade de injeção. (Schuring [9])

5.1 - Peculiaridades do Fraturamento Hidráulico de Aquíferos

Ao se fraturar um aquífero com o intuito de aumentar sua permeabilidade, cria-se uma fratura simples ou uma rede de fraturas artificiais na formação geológica que pode se somar à rede de fraturas pré-existente. Schuring [9] apresenta alguns dados técnicos das variáveis envolvidas no processo. Por exemplo, ele mostra que a velocidade de propagação das fraturas geradas por fraturamento hidráulico é da ordem de 0,10 m/s, muito baixa quando comparada com outras técnicas de fraturamento tais como fraturamento com explosivos, cujas velocidades são da ordem de 300 m/s, ou ainda em relação ao fraturamento pneumático, com velocidades da ordem de 2 m/s. Nos casos de fraturamento hidráulico estudados por ele, o aumento da permeabilidade do aquífero variou de 5 a 153 vezes, alcançando uma média de 34 vezes. Isto significa dizer que, a vazão dos poços fissurados após o fraturamento foi em média 34 vezes maior que sua vazão original. Constata-se indiretamente pela Lei Cúbica que este aumento médio representa aberturas médias após o fraturamento 3,24 vezes maior que as aberturas originais.

Com relação aos custos envolvidos nestas operações, que visaram a remediação do aquífero Schuring [8] relata valores da ordem de US\$ 1.000,00 (R\$ 2.150,00) a US\$1.500,00 (R\$ 3.225,00) por poço. Para tanto foram consideradas de 3 a 5 fraturas por poço. Obviamente estes custos são relativos apenas à operação de fraturamento. Não estão incluídos os custos com perfuração e instalação do poço, nem os de mobilização de longa distância.

Estes custos são baixos em comparação com o fraturamento de poços de petróleo que são da ordem de US\$ 50.000,00 (R\$ 107.500,00) aqui no Brasil. Por exemplo, o fraturamento retratado nas Figuras 06 e 07 feito em Mossoró-RN, custou aproximadamente US\$ 54.000,00 (R\$ 116.100,00). Somente o fluido de fraturamento totalizou US\$ 14.000,00 (R\$ 30.100,00). Um dos motivos desta diferença de preço está principalmente nos equipamentos envolvidos na operação. Na indústria do petróleo, precisam-se alcançar grandes profundidades, variando de 500 a 3000 metros. O poço mencionado recebeu fraturamento a 490 metros enquanto os relatados por Schuring [9] receberam fraturamento em profundidades que variam de 3 a 15 metros.

6 - Resultados Esperados com o Fraturamento Hidráulico

Diz-se que um poço necessita de fraturamento para que possa produzir satisfatoriamente quando a condutividade hidráulica do aquífero é igual ou inferior a 10^{-4} cm/s. (Schuring [9]). Devido a isso, depois de escavados ou perfurados alguns poços são abandonados. Segundo o CPRM [2], no estado do Ceará dos 13.970 poços catalogados, apenas 8.119, ou seja, 58% estão em uso, 1653 (12%) foram abandonados, 2301 (16%) foram desativados e 1640 (12%) sequer foram instalados. A figura 8 mostra esta classificação dos poços por sua situação atual. A Tabela 1 exemplifica a situação dos poços, por indicar as características técnicas dos poços do município de Bananbuíú.

Com a aplicação de técnicas de fraturamento hidráulico, pode-se dar nova vida às centenas de poços existentes que são secos ou que produzem vazões baixas. O fraturamento hidráulico dilata e interliga as muitas fraturas existentes nas rochas num raio de cem metros ou mais do poço.

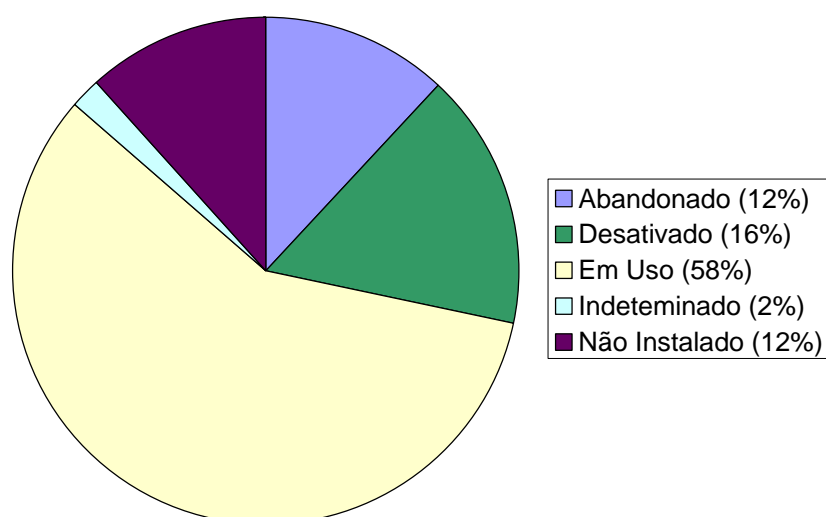


Figura 8 – Poços do Estado do Ceará por Situação (Baseado em dados do CPRM)

Para se avaliar o impacto do fraturamento de poços no cristalino, levantou-se no site do IBGE [10] alguns dados demográficos de 12 municípios que estão completamente inseridos na área de interesse. A Tabela 2 lista estes municípios, indicando sua população, número de famílias, área do município, número de pessoas por família e número de famílias por quilômetro quadrado. Para os municípios analisados, verificou-se uma média de 4 pessoas por família e 6,3 famílias por quilômetro quadrado em média.

Tabela 1 – Poços no Município de Banabuiú. Fonte CPRM.

Poços	Local	Aquífero	Situac.	Profun. Info.(m)	Vazão (l/h)	Nível Est. (m)	Nível Din. (m)	Famílias Benef.
BAN/CE/001	LAGOA DA CAIÇARA	FISSURAL	NÃO INSTALADO	60				
BAN/CE/002	FAZENDA HORIZONTE	FISSURAL	ABANDONADO	50				
BAN/CE/003	MURICIZINHO	FISSURAL	ABANDONADO	72				
BAN/CE/004	FERROLÂNDIA	FISSURAL	ABANDONADO	78				
BAN/CE/005	NOVO ENCANTO	FISSURAL	ABANDONADO	72				
BAN/CE/006	FAZENDA IDEAL	FISSURAL	EM USO	60				
BAN/CE/007	GOVERNO	FISSURAL	ABANDONADO					
BAN/CE/008	BELA VISTA	ALUVIONAR	EM USO	3				20
BAN/CE/009	BEIRA RIO	ALUVIONAR	EM USO	3				63
BAN/CE/010	SÍTIO DAS POMBAS	ALUVIONAR	NÃO INSTALADO	4				
BAN/CE/011	FAZENDA VÁRZEA DAS POMBAS	FISSURAL	NÃO INSTALADO	52				
BAN/CE/012	LAGOA DO JUNCO	ALUVIONAR	EM USO	8				20
BAN/CE/013	SÍTIO CAATINGA	FISSURAL	NÃO INSTALADO	74				
BAN/CE/014	FAZENDA LAGOA DA SERRA	FISSURAL	EM USO	60				5
BAN/CE/015	FAZENDA SÃO CAETANO	FISSURAL	DESATIVADO	80				4
BAN/CE/016	FAZENDA PALESTINA	FISSURAL	ABANDONADO	18				
BAN/CE/017	FAZENDA PALESTINA	FISSURAL	NÃO INSTALADO	60				10
BAN/CE/018	FAZENDA PALESTINA	FISSURAL	ABANDONADO	3				
BAN/CE/019	FAZENDA PALESTINA	FISSURAL	ABANDONADO	60				
BAN/CE/020	FAZENDA PALESTINA	FISSURAL	DESATIVADO	60				10
BAN/CE/021	FAZENDA PALESTINA	FISSURAL	DESATIVADO	62				10
BAN/CE/022	VALÊNCIA II	FISSURAL	EM USO					10
BAN/CE/023	MILAGRES	FISSURAL	EM USO	72	170	6	60	
BAN/CE/024	JUREMA	FISSURAL	EM USO	72	230	22	57.6	
BAN/CE/025	TANQUINHOS	FISSURAL	EM USO	66	300	14.8	52.7	
BAN/CE/026	CARAÚBAS	FISSURAL	EM USO	72	200	33.8	58.5	
BAN/CE/027	SANTA FÉ	FISSURAL	EM USO	78	110	6	56	
BAN/CE/028	LAGOA DE CIMA	FISSURAL	EM USO	60	75	15.8	46	
BAN/CE/029	MURICIZINHO	FISSURAL	NÃO INSTALADO	78	10			

Para se estimar o efeito que haveria em determinada região, se os poços fissurais recebessem fraturamento hidráulico, tome-se como exemplo os poços instalados no município de Banabuiú. Conforme verifica-se na Tabela 1, há seis poços fissurais em uso cujas vazões são conhecidas. Estes são os poços BAN/CE/023 ao BAN/CE/028. Estes poços fornecem uma vazão média de 180 litros por hora. Nesta região do Ceará, esta vazão atende as necessidades de apenas 3 famílias.

Aplicando neste poço representativo, cuja vazão é de 180 litros por hora, o fraturamento hidráulico e considerando o efeito médio encontrado por Schuring [9], obtêm-se uma vazão final de 6.120 litros por hora, que é capaz de atender as necessidades de 105 famílias. Em termos de área de influência, este poço, antes do fraturamento atenderia comunidades num raio de 0,40 Km após o fraturamento este raio saltaria para 2,30 Km.

Tabela 2 – Dados Demográficos dos Municípios (Fonte: IBGE)

Município	População	Famílias	Área do Município (Km²)	Pessoas por Família	Famílias por Km²
Banabuiú	17306	3851	1080	4,5	3,6
Cedro	24771	6518	726	3,8	9,0
Icó	63808	15743	1872	4,1	8,4
Jaguaribara	9364	2296	668	4,1	3,4
Jaguaribe	36725	9290	1877	4,0	4,9
Mombaça	41454	10650	2119	3,9	5,0
Orós	22029	6166	576	3,6	10,7
Quixadá	74793	18052	2020	4,1	8,9
Quixeramobim	59229	15421	3276	3,8	4,7
Santa Quitéria	43567	10336	4261	4,2	2,4
Tauá	52330	13607	4018	3,8	3,4
Várzea Alegre	37045	9152	836	4,0	10,9
Média				4,0	6,3

7 - Conclusões

Conforme demonstrado pela análise dos dados apresentados, pode-se interferir positivamente na realidade das comunidades inseridas no semi-árido cearense, que além dos problemas decorrentes da escassez hídrica provocado pelo clima da região, sofre com a baixa produtividade hídrica dos seus poços. Esta interferência nos aquíferos, feita através de fraturamento hidráulico, pode fazer toda a diferença para algumas comunidades, especialmente para aquelas que estão isoladas ou difusamente distribuídas, e onde, os custos de transporte por adução seriam proibitivos. Evidentemente há outras variáveis que devem ser levadas em consideração, como por exemplo, a qualidade das águas dos aquíferos fissurais, os problemas de contaminação de aquíferos pelo fluido de fraturamento, bem como os custos envolvidos na operação. Mesmo assim, o fraturamento hidráulico surge como mais uma tecnologia disponível aos que se empenham na procura por soluções eficazes para suprir as demandas hídricas de suas comunidades.

8 – Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos à **FUNCAP** (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

9 - Referências Bibliográficas

- [1] SHAPIRO, A.M.; **Fractured-rock aquifers understanding an increasingly important source of water**, United States Geological Survey Fact Sheet 112-02, 2002.
- [2] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM / Serviço Geológico do Brasil. **Atlas dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará**; Disponível em: < <http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp> >. Acesso em 04 de abril de 2006.
- [3] MIRANDA, A. N. – **O Saneamento no Ceará**. Disponível em: < http://www.fiec.org.br/grupos_acao/infraestrutura/proposta_inicial/anexo2.htm > . Acesso em 26 de agosto de 2005.
- [4] SCHULTZ, R.A.; **Fractures in rock: Field Guide and Mechanics**. Oxford University Press, 2006.
- [5] PITOMBEIRA, E. S.: **Ground water flow model for fractured media**, PhD Dissertation, University of New Hampshire, 1994.
- [6] SNOW, D.T.; **A Parallel Plate Model of Fractured Permeable Media**, PhD Dissertation, University of California, Berkeley, 331 pp., 1965.
- [7] SNOW, D.T., **Anisotropic Permeability of Fractured Media**, Water Resources Research, v.5, no.6, pp 1273-1289., 1969.
- [8] WILSON, C.R.; **An Investigation of Laminar Flow in Fractured Porous Rock**, PhD Dissertation, University of California, Berkeley, 178 pp., 1970.
- [9] SCHURING, J.R.; **Fracturing Technologies to Enhance Site Remediation**. New Jersey Institute of Technology, Newark, 2002.
- [10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em 04 de abril de 2006.