

Permeabilidade de aquíferos em áreas cristalinas utilizando técnicas de tipologia do material de falha e análise por traços de fissão.

Ribeiro, L.F.B. NUCLEARGEO – Rio Claro.
Hackspacher, P.C. DPM/UNESP – Rio Claro
Hadler Neto, J.C. DRCC/UNICAMP – Campinas.
Ribeiro, M.C.S. DPM/UNESP – Rio Claro.

RESUMO

O presente artigo mostra a permeabilidade de aquíferos em zonas cristalinas, utilizando técnicas de reconhecimento e classificação do material de falha e de análise de traços de fissão em apatitas. As análises estruturais das falhas mostraram evidências da atuação de barreiras e condução do fluxo de aquífero. Já os traços de fissão mostram a relação do soerguimento com a atuação da permeabilidade do fluxo de água e a delimitação da área de recarga. A área escolhida foi a de Bragança Paulista por já existir evidências de material de falha e datações por traços de fissão.

INTRODUÇÃO

O reconhecimento da permeabilidade do aquífero em áreas cristalinas está relacionado com a formação de fraturas e/ou falhas, sendo assim um estudo do material de falha é de grande importância para o estudo das características das águas subterrâneas.

O reconhecimento e a classificação da arquitetura da zona de falha permite estabelecer parâmetros de distribuição do fluxo de água.

A arquitetura de uma zona de falha, pode atuar como uma barreira ou conduto do fluxo de água de acordo com a composição, distribuição dos grãos da matriz e grau de fraturamento (Scholz, 1990; Caine et al., 1993, 1996).

O reconhecimento da área de recarga constitui um ótimo ferramenta para a localização e distribuição do aquífero.

A área estudada foi a do município de Bragança Paulista (SP) onde foram reconhecidos diversos afloramentos com padrão de fraturamento peculiar, caracterizado principalmente por falhas preenchido por pseudotaquilitos, cataclasitos e quartzo azulado (Ribeiro & Hackspacher, 1995) e diversas datações por traços de fissão (Ribeiro, 1996) (Fig 1).



Figura – 1: Localização da área de estudo no estado de São Paulo

DEFINIÇÃO DE UMA ZONA DE FALHA

Os componentes primários das zonas de falha são:

- i) o núcleo da falha,
- ii) zona cataclástica
- iii) protólito

Estas características são mostradas no modelo conceitual da figura 2.

A espessura de cada camada varia de poucos milímetros até vários metros.

O núcleo da falha (i) é composto por cataclasito coesivo associado a veios de pseudotaquilito com fraturamento incipiente

A zona cataclástica (ii) é constituída de cataclasitos não coesivos, brechas e microbrechas formando às vezes zonas muito falhadas.

O protólito (iii) é constituído de material pouco brechado, apresentando apenas fraturas *en echelon* e fraturas associadas a falhas sem distribuição regular (Fig. 2).

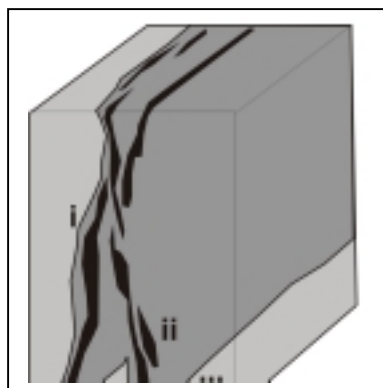


Figura – 2: Modelo conceitual de uma zona de falha (modificado de Caine et al, 1996).

ESQUEMA CONCEITUAL PARA FALHA RELACIONADA COM O FLUXO DE FLUIDO

No estudo da permeabilidade da falha em ambiente cristalino, são reconhecidas diversas estruturas selantes ou de barramentos e condutoras. A tipologia destas estruturas em uma zona de falha é reconhecida em afloramentos na região estudada está representada no modelo conceitual da (Fig - 3), as falhas no núcleo (i) contendo pseudotaquilito atuam como uma barreira para a migração de fluido. Por sua vez quando o pseudotaquilito está associado a cataclasito não coesivo e/ou brecha, ele atua como uma combinação de condutor e barreira de fluido (Antonellini & Aydin, 1994; Caine et al., 1996).

Na zona cataclástica (ii) composta de cataclasitos é considerado um bom condutor de fluidos, porém quando a esta for composta por cataclasitos coesivos ela atua como um condutor localizado (Antonellini & Aydin, 1994; Caine et al., 1996).

O protólito (iii) quando fraturado atua como um bom condutor de fluidos, porém quando não está fraturado é considerado um condutor apenas quando a rocha for porosa (Antonellini & Aydin, 1994; Caine et al., 1996).



Figura – 3: Modelo conceitual das estruturas reconhecidas em afloramento

MEDIDAS NUMÉRICAS DA ARQUITETURA DA ZONA DE FALHA E DA ESTRUTURA PERMEÁVEL

A arquitetura da zona de falha e a estrutura permeável são caracterizadas pela utilização do índice derivado dos modelos conceituais propostos por Caine et al., (1996).

$$F = \frac{\text{espessura da zona brechada}}{\text{espessura total da zona de falha}}$$

Este índice indica a espessura da zona permeável para um aquífero confinado e é utilizado para estabelecer o tamanho do aquífero.

UTILIZAÇÃO DOS TRAÇOS DE FISSÃO NA CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA

A metodologia de traços de fissão revela os efeitos do decaimento radioativo do isótopo de ^{238}U . Quando este isótopo decai por fissão espontânea produz defeitos lineares no cristal de apatita, chamado de traço, que possui um comprimento de $16 \pm 1 \mu\text{m}$ (Gleadow et al., 1986). Os traços são produzidos a uma taxa constante no mineral durante sua história geológica, mas apenas quando a rocha que contém o mineral estiver sofrendo temperaturas menores do que $110 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, pois acima desta temperatura os átomos que foram ionizados voltam a se reorganizar apagando o traço latente. Esta temperatura só aparece na isoterma de 110°C há aproximadamente 4Km de profundidade. Assim, o número de traços é proporcional ao tempo desde que a rocha foi esfriada abaixo de $110 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$. A análise de traços de fissão irá indicar o episódio de resfriamento, relacionado a um soerguimento ou a uma exumação (Guedes et al., 2000).

As idades de traços de fissão indicam a passagem do maciço rochoso pela isoterma de 100°C , o que equivale a profundidade de aproximadamente a 4Km de profundidade, esta profundidade está contida na zona sísmogênica ou rúptil de Sibson, (1977). Contudo falhamentos podem causar o aquecimento de maciços rochosos que pode ser registrado nas análises de traços de fissão (Ribeiro et al., 2004).

RESULTADOS

As análises de traços de fissão tratadas em conjunto com a análise da tipologia estrutural permitiram concluir que no planalto de Jundiá (Fig. 4) foi registrado reativações da zona de falha de Extrema (durante o Triássico), onde pode ter

se formado ou reativado os pseudotaquilitos e tornaram as rochas cataclásticas coesivas. Estas rochas atuaram e atuam como uma barreira para a percolação de fluidos, que controla a distribuição de água subterrânea na área (Fig. 5).

O episódio tectônico que originou a Serra da Mantiqueira (Fig.4) durante o Cretáceo, apagaram os traços mais antigos e somente a idade do início do episódio tectônico de soerguimento foi registrado (Fig. 5). Estes resultados corroboram com diversos autores (Guedes et al., 2000; Tello et al, 2003; Hackspacher et al., 2004).

Este soerguimento foi constante originando a atual Serra da Mantiqueira que serve de área de recarga de aquífero e possui boa distribuição da permeabilidade do fluxo de água subterrânea (Fig. 5).

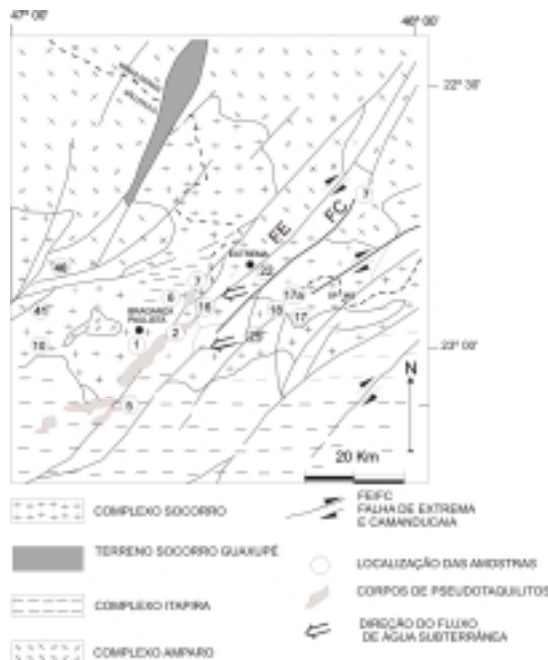


Figura 4- Localização das amostras e direção do fluxo da água subterrânea.



Figura 5 – Gráfico mostrando as idades e as regiões de alta e baixa permeabilidade.

CONCLUSÕES:

Do aqui apresentado podemos concluir que as áreas próximas à cidade de Bragança Paulista a permeabilidade dos aquíferos é controlada pela zona de falha. Sendo a área de pseudotaquilitos atuando como uma barreira para o fluxo de fluidos.

Na região da Serra da Mantiqueira o soerguimento registrado nas idades de traços de fissão atua como uma área de recarga de aquífero.

As idades registradas na área de pseudotaquilitos indicam que a área não sofreu reativações posteriores, onde foram preservados os pseudotaquilitos. O calor registrado pela tectônica da Mantiqueira, mostrado pelas idades mais jovens apenas deixou o cataclasito mais coesivo, o que também atuou como uma barreira do fluxo de água.

A associação de métodos de análise estrutural com a metodologia de traços de fissão mostraram ser uma boa ferramenta nos estudos de permeabilidade de aquíferos em áreas cristalinas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 00/03960-5) e ao CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Antonellini, M & Aydin, A. 1994. Effect of faulting on fluid flow in porous sandstones: Petrophysical properties. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.78, p.355 -377.
- Caine, J.S.; Forster, CB.; Evans, J.P. 1993. A classification scheme for permeability structures in fault zones: *EOS*, v.74, p. 677.
- Caine, J.S.; Evans, J.P.; Forster, C.B. 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, v.24, n11, p. 1025 -1028.
- Gleadow, A.J.W.; Duddy, I.R.; Green, P.F.; Hegarty, K. 1986. Fission track lengths in the apatite annealing zone and the interpretation of mixed ages. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 78, p. 245 -254.
- Guedes, S. O. et al. (6 co – autores). 2000. Constraints on the evolution and thermal history of the continental platform of southeast Brazil, São Paulo State, using fission track analyses (AFTA). *Revista Brasileira de Geociências*, v.30, p. 107 - 109.
- Hackspacher, P.C. et al. (6 co – autores). 2004. Consolidation and Break-up of the South American Platform in southeastern Brazil: Tectonothermal and Denudation Histories. *Gondwana Research*, v.7, n1, p. 91 – 101.
- Ribeiro, L.F.B.1996. Tectônica ressurgente da borda sul da Serra da Mantiqueira: Geologia estrutural e geocronologia por traços de fissão. Dissertação de Mestrado apresentada ao IGCE – UNESP campus de rio Claro, 121p.
- Ribeiro, L.F.B. et al (5 co – autores) 2004. Phanerozoic brittle tectonics in the south american continental platform. Southeast Brazil: New insights from fission track studies on apatite in reactivated fault zones. *Revista Brasileira de Geociências* - no prelo.
- Ribeiro, L.F.B. & Hackspacher, P.C. 1995. Registros de alta temperatura e taxa de deformação ao longo da falha de Extrema – SP. *Boletim do IV Simpósio de Geologia do Sudeste*, p. 117.
- Tello, S.C.A. et al (6 co – autores). 2003. Recognition of Cretaceous, Paleocene and Neogene tectonic reactivation through apatite fission track análise in Precambrian areas of southeast Brazil: association with the opening of the south Atlantic Ocean. *Journal of South American Earth Science*, v. 15,p. 765 -774.
- Sibson, R.H. 1977. Fault rock and fault mechanisms. *Journal of Geological Society*, London, v.133, p. 191 -213.
- Scholz, C. H. 1990. *The mechanics of earthquakes and faulting*: Cambridge University Press, 439p.