

ANÁLISE DA PERMEABILIDADE DE AQUIFEROS EM ÁREAS CRISTALINAS NA REGIÃO PRÓXIMA A SERRA DA MANTIQUEIRA: ASSOCIAÇÃO DE TÉCNICAS DE TIPOLOGIA DO MATERIAL DE FALHA E ANÁLISE POR TRAÇOS DE FISSÃO

Ribeiro, L.F.B.¹; Hackspacher, P.C.²; Hadler Neto, J.C.³ & Ribeiro, M.C.S.⁴

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 de Extrema e Camanducaia 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.

Abstract - In this paper were analyzed the develop of the methodologies for determining the groundwater permeability. This methodologies are consists of determining fault zone architecture, geologic information and fission track analysis. The Extrema fault act as barriers of groundwater flux because yours fault core are constitute of the pseudotachylite. The fission track results indicate uplift of the Mantiqueira mountain Range and are constitute recharge area.

Palavras-Chave – Permeabilidade; Zonas de Falha; Traços de Fissão; Embasamento Cristalino.

Key Words – Permeability; Fault Zones; Fission Tracks; Enbasement.

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.

¹ NUCLEARGEO – Rio Claro SP lfbrvm@yahoo.com.br

² DPM/UNESP – Rio Claro SP phack@rc.unesp.br

³ DRCC/UNICAMP – Campinas SP hadler@ifi.unicamp.br

⁴ DPM/UNESP – Rio Claro SP marlicarina@yahoo.com.br

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 ferramental 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).

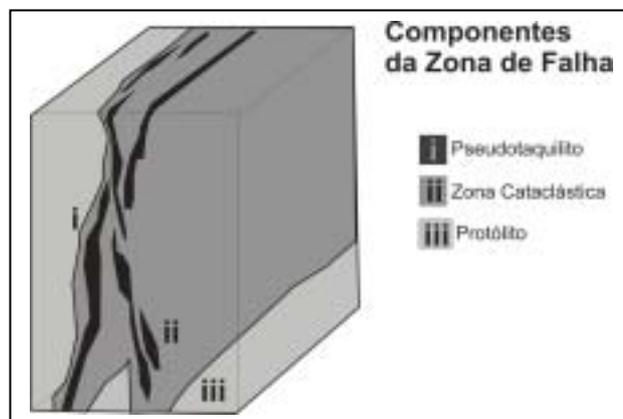


Figura 2 - Modelo conceitual de uma zona de falha (modificado de Caine et al, 1996).

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 e reconhecida em afloramentos na região estudada está representada no modelo conceitual da (Fig - 3), as falhas no núcleo (i) contendo pseudotaquíto atuam como uma barreira para a migração de fluido. Por sua vez quando o pseudotaquíto 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).

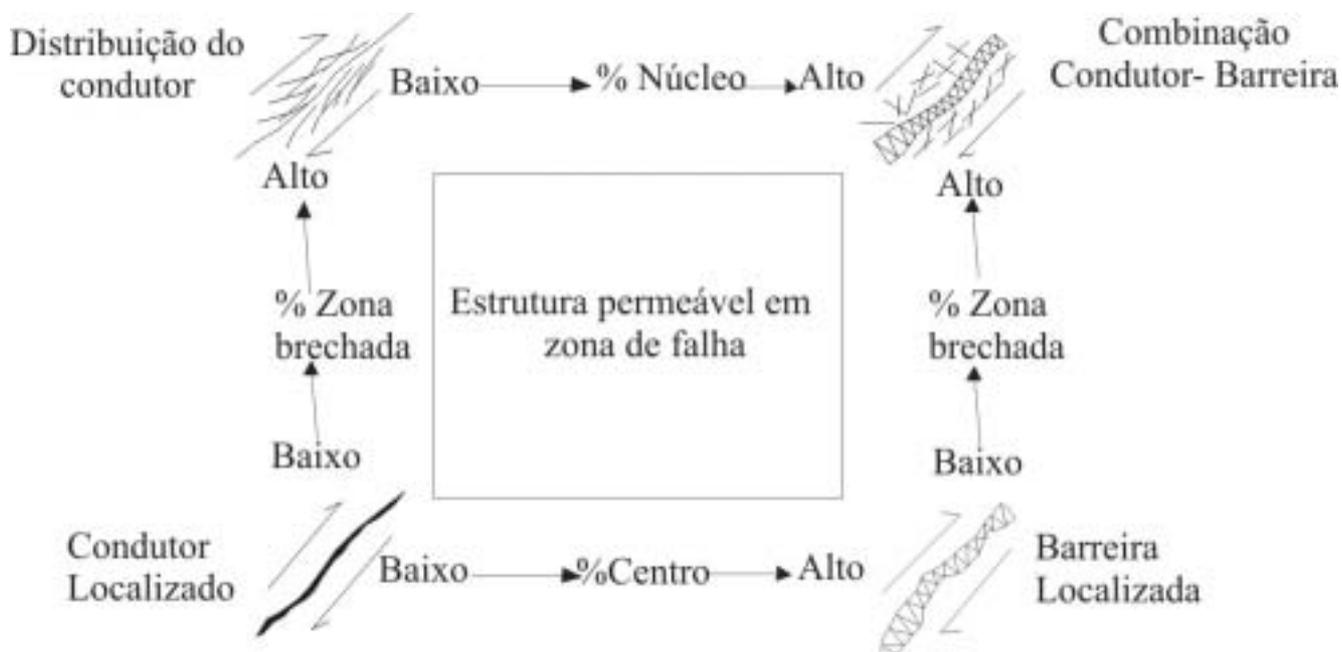


Figura 3 - Modelo conceitual das estruturas reconhecidas em afloramento

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).

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

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 do ^{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±10 °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 sismogênica 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 Jundiaí (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).

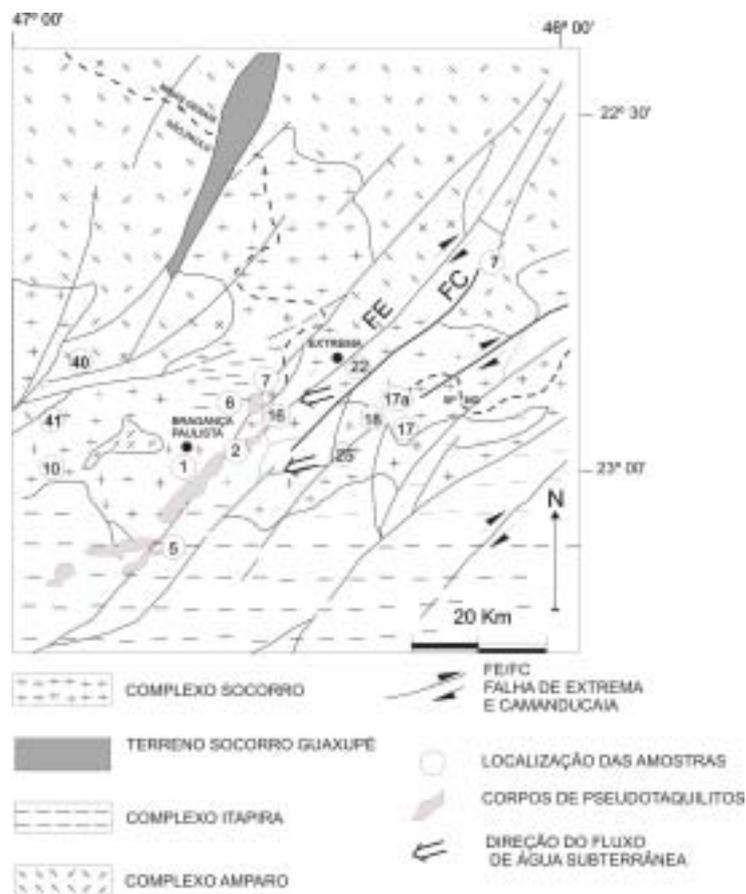


Figura 4- Localização das amostras e direção do fluxo da água subterrânea.

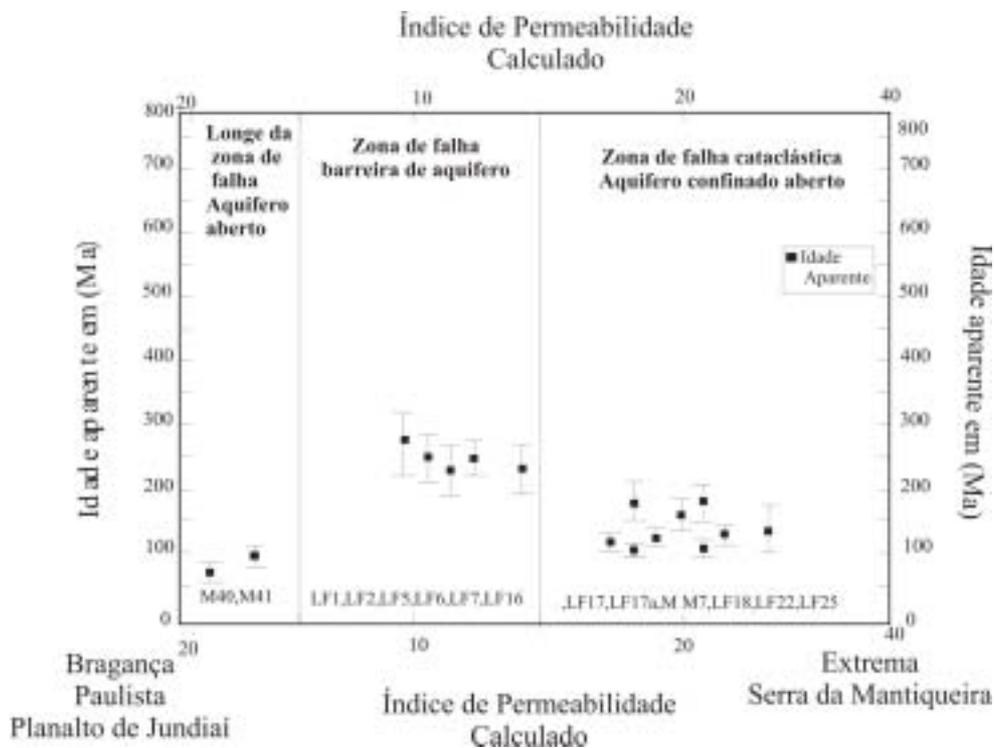


Figura 5 – Gráfica mostrando as idades e as regiões de alta e baixa permeabilidade.

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 BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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.
- [2] Caine, J.S.; Forster, C.B.; Evans, J.P. 1993. A classification scheme for permeability structures in fault zones: *EOS*, v.74, p. 677.
- [3] Caine, J.S.; Evans, J.P.; Forster, C.B. 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, v.24, n11, p. 1025 -1028.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Tello, S.C.A. et al (6 co – autores). 2003. Recognition of Cretaceous, Paleocene and Neogene tectonic reactivation through apatite fission track analysis 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.
- [11] Sibson, R.H. 1977. Fault rock and fault mechanisms. *Journal of Geological Society*, London, v.133, p. 191 -213.
- [12] Scholz, C. H. 1990. *The mechanics of earthquakes and faulting*: Cambridge University Press, 439p.