

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TECTÔNICA RÚPTIL APLICADA AO ESTUDO DE
AQÜÍFERO EM ROCHAS CRISTALINAS FRATURADAS NA
REGIÃO DE COTIA, SP**

Fernando Machado Alves

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

São Paulo

2008

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**TECTÔNICA RÚPTIL APLICADA AO ESTUDO DE
AQÜÍFERO EM ROCHAS CRISTALINAS FRATURADAS NA
REGIÃO DE COTIA, SP**

Fernando Machado Alves

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2008

Dedico este trabalho a Silene Machado Alves (in memoriam), minha querida e saudosa mãe, que acredito ser a grande responsável por minha vontade de aprender sempre mais, com pensamento aberto para o saber e a educação, e ao grande apetite por leitura, quesito essencial a um cidadão e para a formação intelectual.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por toda a sua obra, que com certeza levou mais de 7 dias, e provavelmente menos de 5 bilhões de anos para ser realizada, obra de tamanha complexidade geológica que nos proporciona tão incríveis desafios de reconstituição e interpretação.

Ao professor Claudio Riccomini, pela orientação, amizade e confiança neste “colunista semanal”.

Ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e a ERM Brasil pela viabilização deste projeto e pela formação acadêmica e profissional, respectivamente.

A meu pai Antônio Carlos, minha irmã Francine e minha família, pelo apoio, compreensão, estímulo ou exemplo.

Agradeço aos amigos geólogos, que muita ajuda e as vezes co-orientação me ofereceram; dentre outros não posso deixar de citar Samar, Guano, Feith, Vermelho, Birelli, Bisteca, Genérico, Transformer, Passivo, Polegar, Meladoh, Urtiga, Xubaca, Lalas e Prof. Dr. Reginaldo Bertolo...

Aos amigos e colegas de ERM, Alaine, Berguedof, Boliva, Cris Spilborghs, Donizete, Enrico, Fabiana Cagnon, Fernandinho, Flávio, Guma, Juliana, Laura, Maurício, Ricardo Camargo, Simone, Samuel, Sasha, Sander e Susanne que me ajudaram ou de alguma forma contribuíram para o presente trabalho. Agradeço também os que não atrapalharam.

Enfim cheguei a ser mestre, seguindo alguns outros que me inspiraram. Neste sentido, agradeço ao Mestre Yoda, Mestre Obiwan Kenobi, Mestre dos Magos, Mestre Li Mon Pae, Mestre Hatory Hanzo e ao Chuck Norris, exemplo de força e determinação.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Localização da área e acessos	6
1.2 Objetivos	7
1.3 Aspectos físicos da área de estudos.....	7
2 MATERIAIS E MÉTODOS	10
2.1 Modelo digital de terreno	10
2.2 Morfometria	11
2.3 Levantamentos de campo.....	18
2.4 Perfuração e instalação dos poços de monitoramento do aquífero fraturado	25
2.5 Perfilagem acústica das perfurações (técnica BHTV).....	29
2.6 Cálculo de frequência de fraturas no maciço	32
2.7 Ensaio hidráulicos	34
3 HIDROGEOLOGIA DE AQUIFEROS EM MEIO FRATURADO	39
3.1 Importância e aplicação dos estudos em aquíferos fraturados	40
3.2 Características gerais dos aquíferos cristalinos fraturados	42
4 GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA.....	48
4.1 Contexto geológico do Bloco Cotia	49
4.2 Contexto tectônico e estrutural rúptil	52
5 ANÁLISE DA TECTÔNICA RÚPTIL	59
5.1 Análise morfométrica.....	59
5.2 Análise estrutural	65
5.3 Cronologia da deformação rúptil.....	71
6 ESTUDO DAS ÁREAS DE DETALHE	74
6.1 Seções de resistividade elétrica	74
6.2 Análise de estruturas oriundas de técnicas BHTV	75
6.3 Densidade de fraturamento	80
6.4 Ensaio de bombeamento	84
6.5 Testes de recuperação	85
6.6 Resultados de monitoramento de cargas hidráulicas.....	87
7 TECTÔNICA RÚPTIL APLICADA À HIDROGEOLOGIA EM AQUIFERO CRISTALINO FRATURADO	92
7.1 Análise da tectônica rúptil da área de semi-detalle	92
7.2 Hidrogeologia no meio cristalino fraturado	97
8 CONCLUSÕES	108
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

ANEXO I – FIGURAS

ANEXO II – TABELAS

ANEXO III – ENSAIOS HIDRÁULICOS

RESUMO

O estudo da hidrogeologia em aquífero cristalino fraturado apresenta como maior desafio a imprevisibilidade do meio, uma vez que o fluxo ocorre exclusivamente pelas fraturas. Neste sentido informações de atitude, abertura e conectividade de fraturas tornam-se essenciais no entendimento do fluxo da água subterrânea. O presente trabalho busca aplicar o conhecimento da tectônica rúptil para caracterizar o meio fraturado, com intuito de auxiliar o estudo hidrogeológico do aquífero.

A área de estudo está localizada na porção leste do Município de Cotia, SP, no contexto do Complexo Embu, de idade proterozóica, na porção central da Faixa Ribeira. Ocorrem predominantemente rochas granitóides, com permeabilidade primária desprezível, rochas cataclásticas relacionadas às grandes zonas de cisalhamento de Taxaquara e Caucaia do Alto, metassedimentos e coberturas aluviais cenozóicas, estas ao longo das principais drenagens. Os principais eventos tectônicos de caráter rúptil da região estiveram relacionados à reativação mesozóico-cenozóica, inicialmente com a ruptura continental e abertura do Oceano Atlântico Sul e, posteriormente, a formação do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), e seus principais eventos de deformação.

Os estudos foram desenvolvidos em duas escalas de trabalho. A primeira de semi-detalle, em 1:50.000, e a segunda de detalle, em 1:5.000, esta última em duas porções distintas dentro da área de semi-detalle. Os resultados obtidos em escala de semi-detalle, a partir da análise da tectônica rúptil (morfometria, fotogeologia e levantamentos de campo), serviram para direcionar as investigações em escala de detalle, onde foram usados dados provenientes de sondagens, métodos BHTV (Bore Hole Television), levantamento de perfis de eletrorresistividade e dados hidrogeológicos de poços de monitoramento instalados no aquífero em meio fraturado.

Os estudos de escala de semi-detalle permitiram delinear lineamentos de direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE, originados pelas diversas fases de

deformação dútil. Esses dados de lineamentos foram correlacionados com dados de atitude de falhas e juntas medidas em afloramento, e, posteriormente, associados às diferentes fases de deformação descritas para o RCSB. Foram definidas seis famílias de juntas: a) família NNW-SSE, com mergulho alto para NE); b) família NE-SW com mergulho sub-vertical; c) família E-W com mergulho alto para NW); d) família WNW-ESE com mergulho alto para NE); e) família NE-SW com mergulho médio para NW; e f) família NE-SW com mergulho médio para SE.

Os resultados dos estudos desenvolvidos em escala de semi-detalle, somados aos condicionantes geológicos e geomorfológicos das áreas selecionadas para estudos de detalle, orientaram a instalação de poços de monitoramento verticais e inclinados nessas últimas. Foram instalados 11 poços na área de detalle A e quatro poços na área de detalle B. Os poços foram perfilados por televisionamento acústico e as fraturas identificadas nesses poços foram separadas por famílias e subfamílias: Família 1 (sub-horizontal), Família 2A (N-S com mergulho médio para W) e 2B (N-S com mergulho alto para E), Família 3A (NE-SW com mergulho médio para NW) e 3B (NE-SW com mergulho médio para SE) e Família 4 (WNW–ESE sub-vertical).

Na maioria dos poços foram realizados ensaios hidráulicos para determinação da condutividade hidráulica (K), que variou de $1,55 \times 10^{-8}$ a 2×10^{-5} cm/s, com média de $2,98 \times 10^{-6}$ e desvio padrão de $5,60 \times 10^{-6}$ cm/s. Ensaio de bombeamento indicaram fluxo de água subterrânea através das estruturas N-S, com boa conexão com as estruturas NE-SW. A abertura média das fraturas foi de $1,13 \times 10^{-3}$ cm, calculada com base nos valores de condutividade hidráulica correlacionados aos dados estruturais.

A partir dos dados hidrogeológicos e estruturais foi proposto um método para se estimar a transmissividade e condutividade hidráulica de um poço instalado no aquífero fraturado.

ABSTRACT

The main challenge in a hydrogeological study of a fractured-bedrock aquifer is the unpredictability of media, because the ground-water flows only through the fractures. Informations about strike, dip, opening and connectivity among fractures become essential in order to understand the ground-water flow. This work is an application of the concepts of the brittle tectonics to characterize a fractured media in order to help the hydrogeological study of a fractured-bedrock aquifer.

The study area is located at the eastern part of the City of Cotia, State of São Paulo, Southeastern Brazil, in the context of the Proterozoic Embu Complex, in the central part of Ribeira Belt. This area encompass predominantly granitoid rocks (with negligible primary permeability), cataclastic rocks related to the Taxaquara and Caucaia do Alto shear zones, and metasedimentary rocks. Quaternary alluvial deposits occur along the main drainages. The main brittle tectonic events in the region are related to the Mesozoic-Cenozoic reactivation, associated with the continental break-up, the opening of the South Atlantic Ocean, and the formation and deformation of the basins of the Continental Rift of the Southeastern Brazil (CRSB).

The study was carried out in two working scales. First in a semi-detail scale, at 1:50,000, of a large area, were brittle tectonic analysis (morphometry, photogeology and field survey in outcrops) was performed. The achieved results were used to select two small areas, within the semi-detail area, for a detailed investigation, on scale of 1:5,000, in which data from rock-boring, BHTV (*Bore Hole Television*), eletroresistivity and hydrogeology from bedrock monitoring wells were obtained.

At a semi-detail scale it was possible to delineate lineaments of N-S, E-W, NE-SW and NW-SE-trending directions, probably originated during several brittle deformational events. Data from lineaments were first correlated with data of fault and joint measured in outcrops and latterly associated with different deformation phases described in CRSB. Six joint families were defined: a) steeply northeastward dipping NNW-SSE-trending family; b) sub-vertically dipping NE-SW-

trending family; c) steeply northwestward dipping E-W-trending family; d) steeply northeastward dipping WNW-ESE-trending family); e) NE-SW-trending family with moderate dipping towards the NW; and f) NE-SW-trending family with moderate dipping towards the SE.

Results of studies in the semi-detail investigation area allowed the selection of sites for drilling of 11 wells in detail area A and 4 wells in the detail area B. All the wells were surveyed by acoustic televue and the identified fractures were classified in four families and two subfamilies: family 1 (sub-horizontal to gently dipping); family 2A (N-S-trending with moderate dipping towards the W) and 2B (N-S-trending with steep dipping towards the E); family 3A (NE-SW-trending with moderate dipping towards the NW) and 3B (NE-SW-trending with moderate dipping towards the SE); and family 4 (WNW–ESE-trending with sub-vertical dipping).

Hydraulic conductivity (K) measured in the wells ranged from 1.55×10^{-8} to 2×10^{-5} cm/s, with a mean of 2.98×10^{-6} and standard deviation of 5.60×10^{-6} cm/s. Pumping tests showed the groundwater flow through N-S-trending structures and good connection with NE-SW-trending structures. The average opening of fractures attained 1.13×10^{-3} cm and was calculated on the basis of the amount of hydraulic conductivity correlated with structural data.

Based on structural and hydrogeological data it was proposed a method for estimating the transmissivity and hydraulic conductivity of a well installed in the fractured-bedrock aquifer.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de aquíferos fraturados apresenta grande importância devido a dois aspectos principais, a prospecção de água subterrânea em meios de baixa porosidade primária (e.g. embasamento cristalino) e a contaminação por atividades antrópicas. A maior parte dos estudos em meios cristalinos fraturados usualmente empregam uma abordagem descritiva das estruturas observadas em uma dada localidade, tendendo a tratar o maciço como um meio poroso, ao invés de se preocupar com a elucidação dos mecanismos geradores das fraturas, que permitem a elaboração de modelos de distribuição das fraturas e anisotropias.

Investigações hidrogeológicas podem se deparar com situações que abrangem características estruturais do meio, como fraturas que atuam como caminhos da água subterrânea em aquífero de meio fraturado, ou como anisotropias em aquíferos em meio poroso inconsolidado. Com intuito de desenvolver um método que permita estes estudos, o presente trabalho se propõe a utilizar os conhecimentos da tectônica rúptil para detalhar o padrão de fraturamento de uma área, definir os mecanismos geradores das deformações rúpteis, e elaborar um modelo conceitual da distribuição das estruturas rúpteis com potencial para serem caminhos preferenciais da água subterrânea.

Estudos recentes sobre a tectônica rúptil na região sudeste do Brasil vêm demonstrando a importância da análise integrada de dados estruturais e morfométricos como ferramentas em estudos de tectônica rúptil e neotectônica (e.g. Ferrari 2001, Chiessi 2004, Alves 2005, Hartwig 2006). O presente estudo é uma aplicação da tectônica rúptil ao estudo de aquífero fraturado em rochas do embasamento cristalino na região de Cotia, SP.

Trabalhos relacionados ao estudo da influência da tectônica na produtividade de poços de abastecimento foram elaborados nos últimos anos. Para as regiões de Campinas (Fernandes 1997), Jundiaí (Neves 2005, Neves & Morales 2006 e Neves & Morales 2007) e Bacia Hidrográfica do Médio Tietê (Jesus 2005) foram comparados os dados hidrogeológicos com estruturas

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

