

# APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOFÍSICA PARA CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGICA DE AQUÍFEROS FRATURADOS E OS DESAFIOS PARA ELABORAÇÃO DE MODELOS CONCEITUAIS ROBUSTOS.

Kamylla F. B. da Silva; *Lucas Jardim*

## Resumo

A elaboração de modelos conceituais consistentes de impactos na água subterrânea por contaminantes organoclorados no meio aquífero fraturado requer tanto o melhor dimensionamento da área impactada quanto às avaliações mais completas do comportamento e distribuição das plumas de contaminação. Com o intuito de complementar o modelo conceitual em uma área de interesse foi utilizado duas técnicas de geofísica: televisionamento acústico de alta resolução (HRAT) e *heat pulse flowmeter*. Os resultados obtidos com as duas técnicas permitiram identificar 4 famílias de fraturas no intervalo avaliado, dentre as quais fraturas sub verticais; intervalos fraturados com maior probabilidade de conduzir água subterrânea e os contaminantes e; intervalos de fraturas com fluxo vertical ascendente de água subterrânea.

## Abstract

The elaboration of consistent conceptual models of environmental impacts by chlorinated solvents in the fractured aquifer, require both the best design of the impacted area than the complete evaluations of the behavior and distribution of the plumes. Aiming to complement the conceptual model of the impact on an area of Interest that showed evidence of dissolved contamination in the fractured system were used two geophysics techniques: high resolution acoustic televiewer (HRAT) and heat pulse flowmeter. The results obtained with both techniques have identified four families of fractures in the assessed range, among which: sub vertical fractures, fractured intervals most likely to lead groundwater contaminants and intervals of fractures with vertical upward flow of groundwater.

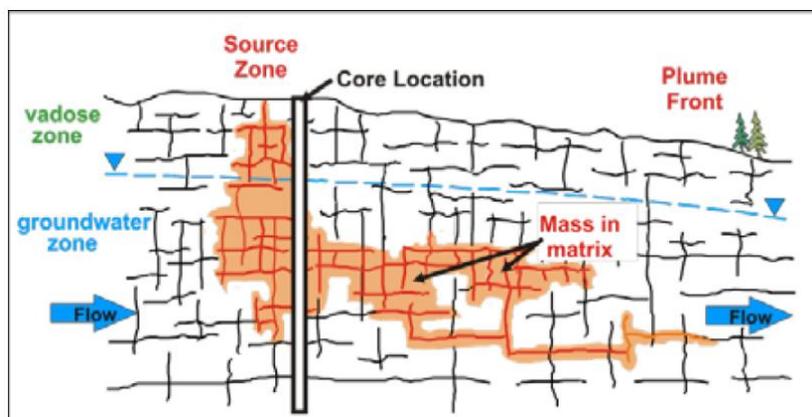
## Palavras Chaves

Aquífero, Fraturado, Modelo Conceitual e Geofísica

## 1. Introdução

Na cidade de São Paulo, há uma crescente demanda por estudos mais detalhados no aquífero cristalino, caracterizado por rochas gnáissicas e xistos fraturados, devido à presença de contaminantes organoclorados mais densos que a água subterrânea (DNAPL) dissolvidos detectados na água subterrânea em escala local e regional, o que por vezes compromete o recurso hídrico subterrâneo e resulta na necessidade de adequado gerenciamento deste passivo ambiental neste nível aquífero.

A elaboração de modelos conceituais consistentes a partir de impactos por contaminantes organoclorados no meio fraturado, identificados principalmente em poços de captação de água subterrânea, requer tanto o melhor dimensionamento da área impactada quanto às avaliações mais robustas do comportamento e distribuição das plumas destes compostos químicos de interesse utilizados em áreas industriais. Estas contaminações se originam em sua maior parte, nos aquíferos porosos sobrepostos formados por sedimentos recentes da Bacia de São Paulo, e migram para o sistema aquífero mais profundo, chegando ao aquífero cristalino-fraturado através de fraturas subverticais que conectam fraturas de diferentes orientações presentes na zona de interface dos sistemas aquíferos dos tipos: granular e fraturado (**figura 1**).



**Figura 1.** Dinâmica da distribuição da pluma de contaminantes em meio fraturado (Parker & Cherry, 2011).

### 1.1. Objetivos e metodologia

Com o intuito de complementar o modelo conceitual do impacto em uma área de interesse que apresentou indícios de contaminação em fase dissolvida no sistema fraturado subjacente a um aquífero poroso contaminado por compostos organoclorados, foram utilizadas as técnicas de perfuração geofísica de televisionamento acústico de alta

resolução (HRAT) em 08 (oito) poços, *heat pulse flowmeter* 04 (quatro) poços instalados no aquífero cristalino e o tratamento estatístico das direções das fraturas. Este trabalho tem como base a utilização da metodologia *Discrete Fracture Network (DNF) Approach* (Parker 2007) utilizada para caracterização de modelo hidrogeológico em rochas fraturas. O DNF baseia-se na premissa de que a caracterização dos locais contaminados para desenvolvimento de modelos conceituais é realizada à medida que a aplicação do DNF progride, o número de hipóteses é reduzido e o modelo conceitual é avançado de forma interativa, uma vez que as questões-chave são dirigidas a um grau adequado de refinamento e confiabilidade.

O uso das técnicas de geofísica de alta resolução é de grande importância para a caracterização hidrogeológica e estrutural em poços tubulares profundos, instalados em áreas industriais para a produção de água subterrânea ou para fornecimento de água em áreas residenciais. A técnica de televisionamento acústico de alta resolução é utilizada em poços instalados no aquífero cristalino, com o intuito de se detectar a ocorrência e geometria dos sistemas de fraturas, que constituem a porosidade do aquífero e determinam o padrão de fluxo e transporte dos contaminantes. Além do televisionamento acústico, também foram aplicadas outras técnicas de geofísica no meio rochoso, como a perfilmagem geofísica de raio natural gama e calibre (*caliper log*) que auxiliam na identificação da fratura e da litologia.

## **2. Resultados obtidos**

A área de interesse possui poços de monitoramento com profundidade média de 35 metros a partir da superfície, sendo 10 metros perfurados em rocha. Os poços apresentam as paredes do intervalo rochoso expostas enquanto a porção porosa foi isolada com uso de revestimento, da superfície até o topo rochoso. A técnica de HRAT foi aplicada em 08 poços enquanto a técnica de *heat pulse flowmeter* foi aplicada em 04 poços selecionados após a interpretação e tratamento estatístico dos dados obtidos pela HRAT. Os resultados obtidos com as duas técnicas permitiram identificar 4 famílias de fraturas no intervalo avaliado, dentre as quais fraturas sub verticais; intervalos fraturados com maior probabilidade de conduzir água subterrânea e os contaminantes e intervalos de fraturas com fluxo vertical ascendente de água subterrânea.

### 3. Conclusões

Os resultados obtidos com a perfilagem geofísica permitiram verificar que as fraturas abertas e fechadas (por argilominerais, bandamento ou foliação da rocha) existentes na área possui direção predominante NE-SW, com mergulho predominante para SE em concordância ao trabalhado regionalmente na área de estudo por outros autores.

Com a soma dos ensaios realizados pôde-se caracterizar quais fraturas estão possivelmente ativas hidráulicamente, com entrada e saída de água nos poços avaliados. Adicionalmente se observou que as condições de fluxo se encontram nas porções basais dos poços, com entradas de água nas porções mais profundas e saídas de água nas porções mais rasas, em contato com o saprólito. Sugere-se, mesmo diante do indicativo do fluxo vertical ascendente verificado no aquífero fraturado, que a contaminação por organoclorados detectada neste arcabouço aquífero, tenha sua origem no aquífero poroso sobrejacente, principalmente relacionada a sua porção saprolítica de base, através da interconexão hidráulica existente preferencialmente por fraturas de direção NE/SW e NW/SE.

Tais atividades servem para embasar as próximas atividades para detalhar o modelo conceitual de fluxo no aquífero cristalino fraturado, como no caso a utilização de obturadores de pressão para coleta de amostras brutas de água subterrânea, tanto nos poços tubulares profundos ou em novos poços de monitoramento e a realização de ensaios hidráulicos (bombeamento, *slug test* ou *bail down test*). Com o uso de ferramentas de geofísica foi possível detalhar as propriedades geológico-estruturais da rocha, que compõe o aquífero fraturado local e nortear as demais atividades de investigação a serem conduzidas no aquífero fraturado contaminado com DNAPL.

### 4. Referências bibliográficas

Parker, B.; Cherry, J. 2011: The Discrete Fracture Network (DNF) Approach for Contaminated Bedrock Site Characterization—Center for Applied Groundwater Research—University of Guelph, Canada.

Parker, B.L. 2007. Investigating Contaminated Sites on Fractured Rock Using the DFN Approach. In: Proceedings of the U.S. EPA/NGWA Fractured Rock Conference: State of the Science and Measuring Success in Remediation, Portland, Maine.