

AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO SENTIDO DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA, EM ÁREA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE CUBATÃO/SP

Lélia Cristina da Rocha Soares¹; Elias Isler¹; Celine Coutinho de Oliveira¹; Marcio Costa Alberto¹;
Sílvia Maria Ferreira¹; Patrícia Totti¹; Eduardo Patrício dos Santos¹; Davi Betanho Romualdo¹;
Carlos da Silva Rosa²; Sidney Lopes² & Chang Hung Kiang¹

Resumo - O comportamento da migração de contaminantes em fase dissolvida está diretamente associado às características hidrogeológicas da área, ou seja, ao arcabouço geológico e às oscilações do nível d'água, em função da variação sazonal da recarga dos aquíferos, decorrente da quantidade de chuvas, que pode ocasionar a variação do sentido de fluxo da água subterrânea, além do gradiente hidráulico e, conseqüentemente, da velocidade de fluxo. Para avaliação das variações no sentido de fluxo da água subterrânea, neste trabalho foi utilizada a ferramenta geoestatística de análise de superfícies de tendência, de primeira ordem, em função de pontos com valores anômalos e flutuações locais da carga hidráulica. Os resultados mostraram uma tendência do sentido de fluxo para sudeste, porém, com variação temporal de até 76° entre julho e outubro/2008, mostrando relação direta com as oscilações sazonais do nível d'água.

Abstract - The migration patterns of contaminants in the dissolved phase is directly associated with hydrogeological characteristics of an area, in other words, the geological framework and water level fluctuations, due to seasonal variation of groundwater recharge, depending on rainfall, which can cause variation of the groundwater flow direction, hydraulic gradient, and hence the flow rate. To evaluate the variations in the direction of groundwater flow, in this study were used the first order trend surfaces geostatistical analysis tool, due to points with anomalous values and local hydraulic head fluctuations. The results showed a tendency of southeast flow direction, but with temporal variation of up to 76° between the seasonal flow directions, showing direct relationship with seasonal water table oscillation.

Palavras-Chave – hidrogeologia, geoestatística, superfície de tendência

¹ FUNDUNESP/RAIH - Laboratório de Remediação de Áreas Impactadas por Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo – Av. 24-A, nº 1515 – CEP 13506-900 – Bairro Bela Vista – Rio Claro/SP – Tel.: (19) 3526-9443 – Fax: (19) 3552-5519 – E-mail: lelia.cr.soares@gmail.com

² PETROBRAS - Av. República do Chile, nº 65/2201A – Centro – CEP 20031-912 – Rio de Janeiro/RJ – Tel.: (21) 3224-9196 – E-mail: carlos.rosa@petrobras.com.br

INTRODUÇÃO

O comportamento da migração de contaminantes em fase dissolvida está diretamente associado às características hidrogeológicas da área, ou seja, ao arcabouço geológico e às oscilações do nível d'água, em função da variação sazonal da recarga dos aquíferos, decorrente da quantidade e intensidade das chuvas, interferindo nas cargas hidráulicas do aquífero e, conseqüentemente, na potenciometria da área, ocasionando alterações na direção de fluxo da água subterrânea e no gradiente hidráulico, podendo mudar a velocidade e o sentido de migração dos contaminantes.

Para definição do sentido de fluxo da água subterrânea e do gradiente hidráulico foi elaborado inicialmente o mapa potenciométrico, o qual, em função de heterogeneidades apresenta curvaturas nas linhas equipotenciais, que não permitem definir precisamente a tendência do sentido de fluxo da água subterrânea. Para tanto, neste trabalho foi avaliada a variação do sentido de fluxo da água subterrânea, por meio da análise de superfície de tendências, com base em dados temporais do nível d'água de uma área localizada no município de Cubatão/SP, realizada entre os meses de outubro/2008 a dezembro/2009.

MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Monitoramento realizado

Para a elaboração deste trabalho, foi realizado monitoramento do nível d'água em 28 poços de monitoramento instalados na área em avaliação, no período de outubro de 2008 a dezembro de 2009 (15 meses).

Para a medição do nível d'água foram utilizados medidores eletrônicos de nível d'água, os quais foram registrados em formulário específico e tabulados para cálculo da carga hidráulica, elaboração dos mapas potenciométricos e dos cálculos de superfícies de tendência com o uso do Golden Software Surfer versão 9.0.

Superfície de tendência

Segundo Landim (2003), o comportamento espacial de variáveis mapeáveis pode ser mostrado com a distribuição dos valores segundo curvas de mesmo valor (isopletas). Anomalias e flutuações locais podem dificultar a estimativa dos valores, sendo comum avaliar estas variáveis de acordo com as tendências regionais, que são mascaradas por anomalias locais. Para avaliação destas situações, pode-se utilizar o método da **análise de superfícies de tendência**, que, segundo Landim (2003), define-se, além das grandes e sistemáticas mudanças existentes na área, "... aquelas

pequenas, aparentemente não ordenadas flutuações, que se impõem aos padrões mais gerais”. Esta técnica é aplicável quando os mapas de tendência e os respectivos resíduos podem ser interpretados espacialmente, ou quando o número de observações é limitado.

A superfície é ajustada, pelo método de regressão polinomial, aos valores de Z_i como uma função linear das coordenadas X-Y dos pontos amostrados e irregularmente distribuídos, conforme equação matemática a seguir, que se baseia se nos polinômios não-ortogonais, preliminarmente, em uma superfície linear e, na sequência, em uma superfície quadrática, cúbica, e assim por diante. Neste trabalho, foi aplicada a análise de superfície de tendência utilizando-se o método linear.

$$Z(X, Y) = a_{00} + a_{10}X_i + a_{01}Y_j + e_{ij} \quad (1) \text{ Equação do modelo polinomial linear}$$

onde $Z(X, Y)$ = variável mapeada em função das coordenadas x_i e y_j , e e_{ij} representa os resíduos, ou seja, a fonte não-sistemática de variação.

RESULTADOS

Foram calculadas as superfícies de tendência de primeira ordem dos dados, gerando-se uma superfície para cada mês monitorado, e calculadas as direções azimutais do fluxo da água subterrânea, que apresentaram variações entre sul e sudeste, sendo mais frequentes as direções N150 (para os meses de out/08, set/09 e dez/09) e N190 (para os meses de fev, jul e ago/09), conforme observado no gráfico de roseta da **Figura 1**.

O cálculo das direções azimutais foi efetuado pela equação a seguir, utilizando-se dos coeficientes obtidos pela regressão polinomial para o cálculo das superfícies de tendência e, depois, aplicado o ângulo normal, tendo em vista que esta equação apresenta os valores para a direção das linhas de isovalores da superfície de tendência, considerando que as linhas de fluxo são ortogonais a estas linhas.

$$\tan \alpha = \frac{a_2}{a_1} \quad (2) \text{ Equação para o cálculo da direção das linhas de isovalores}$$

Comparando-se os rumos calculados com a média do nível d'água, observa-se uma relação direta entre as variações do nível d'água e do rumo, com algum atraso ou adiantamento da resposta entre si, conforme gráfico da **Figura 2**.

DISCUSSÕES

De acordo com a análise de superfície de tendências da variação da direção do fluxo da água subterrânea na área, verifica-se que ocorrem mudanças na direção de fluxo, podendo atingir até 76°

de diferença entre os meses de julho e outubro de 2008, apesar da tendência geral de fluxo, para quase todas as épocas, se mostrar para sul-sudeste. Também, verifica-se que as alterações na direção do fluxo tem uma relação direta com as oscilações do nível d'água, onde, com o nível d'água mais profundo, a direção tende para sudeste, e com o nível mais raso, o nível tende para sul. Estas alterações apresentam atraso ou adiantamento, em relação às oscilações do nível d'água. As alterações observadas podem ocasionar variações no comportamento de eventuais contaminantes que existam na área, portanto, destaca-se o uso desta ferramenta para auxiliar na tomada de decisão para remediação de áreas contaminadas, principalmente em áreas que possuem contaminantes menos densos que a água, presentes em fase dissolvida.

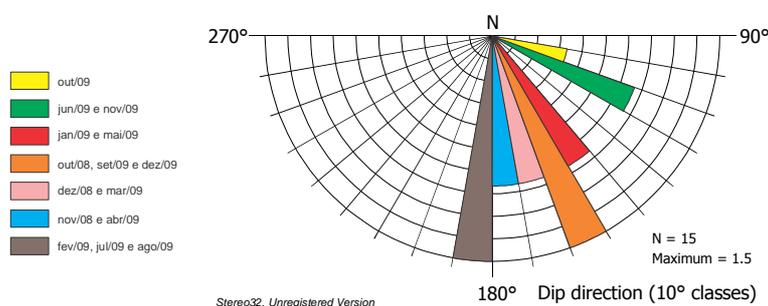


Figura 01 – Roseta com a frequência dos rumos azimutais do fluxo da água subterrânea.

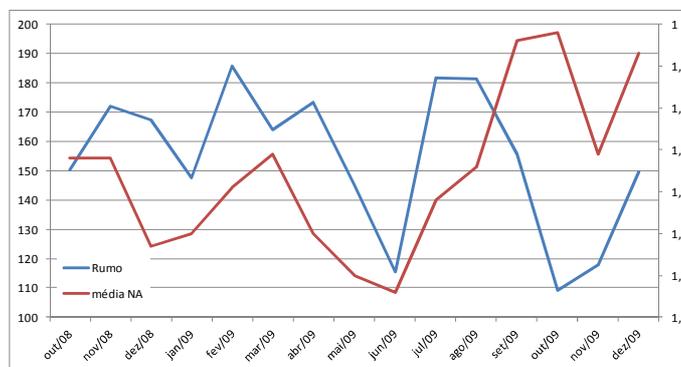


Figura 02 – Gráfico de rumo azimutal x média do nível d'água.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FUNDUNESP e a PETROBRAS por permitirem a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LANDIM, P.B., 2003. Análise Estatística de Dados Geológicos. 2ª edição. Editora UNESP