

## AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA NAS ADJACÊNCIAS DO ANTIGO LIXÃO DE ROLÂNDIA-PR

Maurício Moreira dos Santos <sup>1</sup>; André Celligoi <sup>2</sup>

### RESUMO

Em períodos de médias pluviométricas elevadas, o chorume produzido em lixões a céu aberto tem sua migração favorecida através da zona não saturada e, portanto poluir o aquífero à jusante do depósito de resíduos. Dessa forma, estudos para a avaliação hidrogeológica nesses locais são de extrema necessidade. O local de estudos foi recentemente o destino final da coleta pública de resíduo urbano e industrial no qual eram depositados diretamente ao solo natural, expondo a massa de lixo às variações sazonais do clima. Portanto, o objetivo desse estudo foi a de avaliar o comportamento das águas subterrâneas adjacentes ao antigo lixão de Rolândia e assim verificar a vulnerabilidade do aquífero freático frente aos contaminantes gerados pela decomposição dos resíduos. O método empregado para a determinação das condutividades hidráulicas nesse trabalho, poderá ser seguido como base para o emprego em locais geologicamente semelhantes.

### PALAVRAS CHAVES

Avaliação, Aquífero freático, e Condutividade

### INTRODUÇÃO

A disposição final incorreta de resíduos sólidos urbanos tornam-se fontes potenciais de contaminação, o que gera sérios riscos ao meio ambiente, em particular para a qualidade das águas subterrâneas. Isso ocorre, especialmente, devido à emissão de lixiviado ou chorume, resultado direto da liberação de compostos químicos orgânicos e inorgânicos provocados pela decomposição do lixo de origem industrial e urbano. Em períodos de médias pluviométricas elevadas, o chorume tem sua migração favorecida através da zona não saturada podendo alguns compostos químicos atingir a zona satura e, portanto poluir o aquífero à jusante do depósito de resíduos.

Do ponto de vista ambiental, a recuperação e a eliminação de materiais residuais pressupõe a existência de um sistema de gerenciamento adequado dos detritos. Apesar da aplicação de diversas tecnologias, a recuperação dessas matérias suscita muitos problemas, principalmente de natureza econômica. Em função disso, as formas tradicionais de eliminação continuam sendo empregadas no país, e apresenta-se como solução: simples disposição a céu aberto.

---

1) Mestrando do programa de Geociências e Meio Ambiente do IGCE – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista – UNESP. Email: mau.geo@bol.com.br

2) Docente da Universidade Estadual de Londrina – UEL, caixa postal 6001, cep: 86051-990, Londrina-Pr. Email: celligoi@uel.br

Nesse sentido, Leite (1998) afirma que o tratamento do volume crescente de resíduos sólidos é um dos principais problemas urbanos da sociedade moderna que ainda estão a espera de soluções adequadas, representando a principal forma de degradação do meio ambiente e uma grande ameaça à saúde pública.

No Brasil, hoje cerca de 76% dos resíduos sólidos urbanos produzidos pelas atividades humanas são depositados aleatoriamente sobre o solo natural formando os chamados *lixões a céu aberto*, ou *vazadouros*. Por tudo isso, os objetivos desse presente estudo é utilizar diferentes métodos capazes de avaliar o comportamento das águas subterrâneas adjacentes ao um antigo lixão no município de Rolândia – Pr e de verificar a vulnerabilidade do aquífero freático aos contaminantes gerados por esse antigo depósito de resíduos.

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de pesquisa localiza-se no perímetro urbano da cidade de Rolândia, mais precisamente na porção norte do município, à vertente esquerda do ribeirão Vermelho (Figuras 1 e 2). Segundo Mello (1999), o local de estudo foi recentemente o destino final da coleta pública de resíduos sólidos urbanos do município em questão, antes de sua desativação em abril de 2002. Os resíduos eram depositados diretamente ao solo expondo a massa de lixo às variações sazonais do clima.

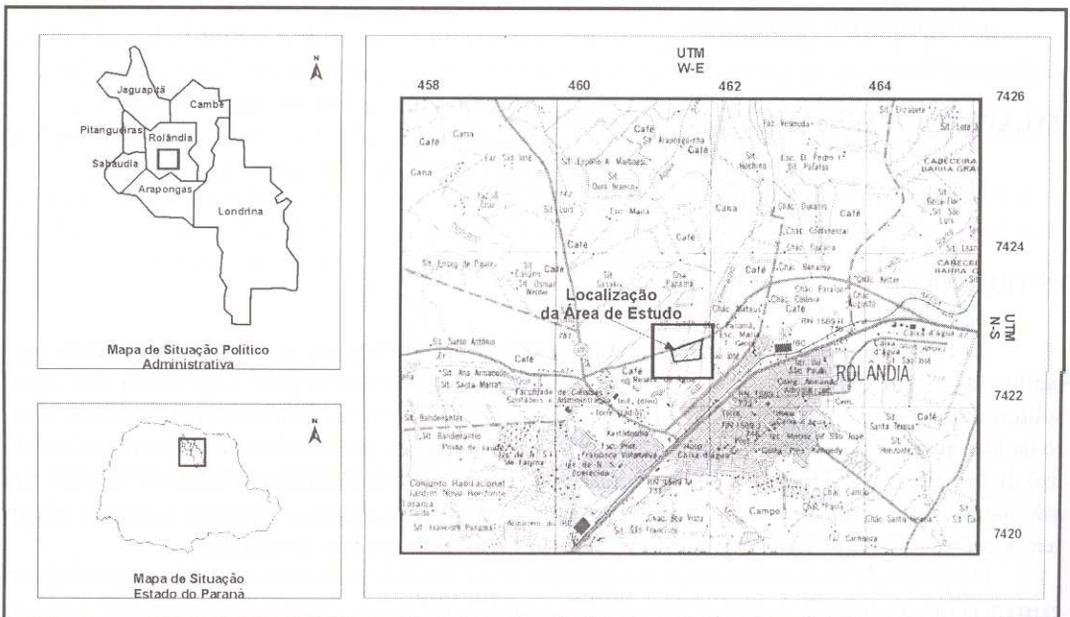


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Fonte: IBGE (1993)



Figura 2 – Planta do antigo lixão de Rolândia e a jusante ao depósito o ribeirão Vermelho. Modificado da Prefeitura Municipal de Rolândia (1996).

## MÉTODOS UTILIZADOS

A concretização do presente trabalho foi possível, pois foi necessário cumprir etapas fundamentais para o alcance dos objetivos propostos, dos quais se destacam: determinação do balanço hídrico regional através da metodologia empregada por Thornthwaite & Mather (1955); cadastro de três poços de monitoramento perfurados pela Prefeitura Municipal de Rolândia a jusante do antigo lixão; determinação da permeabilidade das camadas de solo alterada, determinação da velocidade de fluxo em meio saprólito através de inúmeros ensaios de slug teste, segundo o método de Hvorslev (1951).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### BALANÇO HÍDRICO REGIONAL

O regime pluviométrico é um dos principais fatores que influenciam a taxa de degradação dos resíduos e a produção do percolato, e a conseqüente poluição dos aquíferos adjacentes aos lixões além de influenciar diretamente o comportamento do nível freático local.

Nesse sentido, foi realizado o balanço hídrico na área em estudo, com a finalidade de uma melhor compreensão dos ganhos e perdas constantes no ciclo hidrológico. O período amostrado compreende dados de precipitação e temperatura de 1993 a 2001, para a estação meteorológica do IAPAR de Londrina (Instituto Agrônômico do Paraná), tal estação foi selecionada por ser a mais próxima da área de estudo.

A seguir as Figuras 3, e 4 evidenciam um excedente no balanço hídrico regional para quase todos os meses do ano, apresentando um pequeno déficit no mês de agosto, onde os valores médios de evapotranspiração potencial superam ligeiramente os de precipitação pluviométrica.

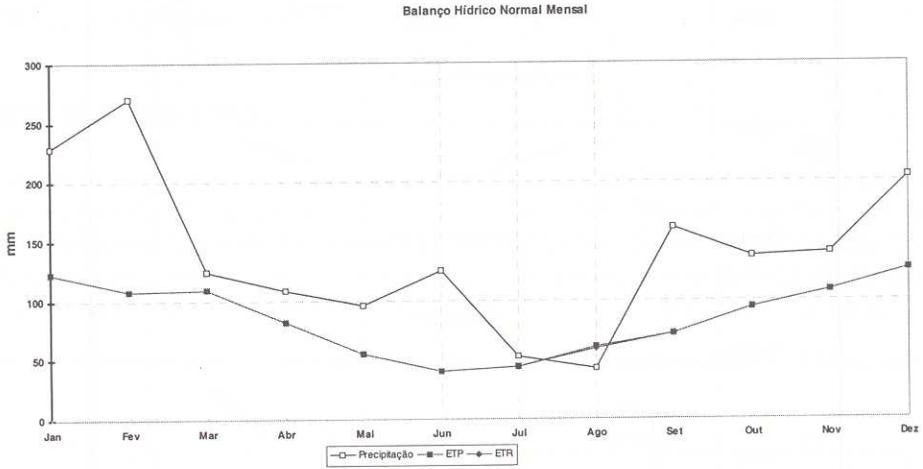


Figura 3 – Gráfico exibindo distribuição de precipitação, dos valores médios de temperatura e evapotranspiração potencial para o município de Rolândia, no período entre 1993 a 2001.

### Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do ano

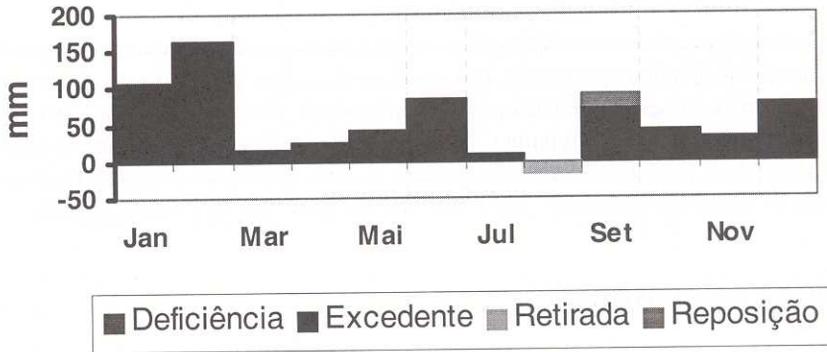


Figura 4 – Gráfico de deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica para os anos de 1993 a 2001.

Dessa forma, com base na amostragem dos dados da estação meteorológica do IAPAR, referente ao balanço hídrico regional, pode-se afirmar que o aquífero freático localizado na região de Rolândia, recebe em geral recargas pluviométricas distribuídas durante todos os períodos dos anos.

Verificado o excedente hídrico, essa situação implica em uma maior infiltração da água através da massa de resíduos sólidos favorecendo a produção de lixiviados e a migração de contaminantes pela zona não saturada e assim, a provável contaminação do aquífero freático.

## SOLOS

O Latossolo Roxo e a Terra Roxa Estruturada são as principais formações pedológicas encontradas na região do município de Rolândia. Hoje a EMBRAPA (1999), sugere uma nova classificação para esses tipos de solos, os nomeando em Latossolo Vermelho e Nitossolo respectivamente. De modo geral, os solos na região em questão apresentam-se normalmente profundos, pouco suscetíveis à erosão.

Em relação às características dos solos na área de estudo não foram analisados perfis pedológico, contudo, a jusante do antigo lixão de Rolândia foram coletadas 2 amostras de solo para a verificação das matrizes silte, argila e areia, e 3 amostras para o cálculo da porosidade efetiva local ( $m_e$ ).

A segunda seqüência de três amostras teve por objetivo a determinação da porosidade efetiva ( $m_e$ ) nos solos à jusante do antigo lixão de Rolândia, pois os resultados darão parâmetros para o cálculo da reserva reguladora e da condutividade hidráulica vertical. O método empregado é baseado em Celligoi (2000) para os solos do grupo Caiuá no noroeste do Estado do Paraná e obedece a seguinte equação:

$$m_e = \frac{P_{ag}}{P_{sat} - P_{sec}}$$

Portanto os resultados encontrados em laboratório indicaram uma porosidade média ( $m_e$ ) para os solos da área de estudo de 0,09 ou equivalente a 9%. Esse resultado condiz com testes de permeabilidade em outras áreas de abrangência do Latossolo Vermelho.

## GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida geologicamente nos limites da Bacia Sedimentar do Paraná, uma extensa depressão deposicional situada no centro-leste da América do Sul, abrangendo uma área de 1.600.000 Km<sup>2</sup>, sendo que sua maior extensão encontra-se no território Brasileiro (Petri & Fúlfaro 1983).

O município de Rolândia assenta-se sobre a Formação Serra Geral pertencente ao Grupo São Bento. Compreende ainda esse Grupo as formações Botucatu e Pirambóia, porém sem a ocorrência de afloramentos na região de estudo.

O magmatismo da Serra Geral recobre mais de 1.200.000 km<sup>2</sup> abrangendo os estados do centro sul do Brasil bem como parte do Uruguai, Argentina e Paraguai. Tal formação geológica é composta principalmente por rochas vulcânicas básicas, toleíticas, de textura afanítica, coloração cinza e negra, amigdaloidal nos topos dos derrames, grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais com intrusões alcalinas, pequenas lentes de arenito e com o manto de intemperismo muito pouco presente em algumas localidades, até cerca de 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente. (Schneider et al, 1974). Portanto, os principais tipos litológicos são o basalto, riocacito e riolito.

Na área de estudo a análise de fotografias aéreas na escala 1:25000 revelou a presença de diversos lineamentos estruturais de falhas e/ou fraturas com o direcionamento principal no sentido SW-NE, acompanhando trechos do Ribeirão Três bocas e seus afluentes, e também alinhamentos S-N subordinados a drenagem do ribeirão Vermelho (Figura 5).

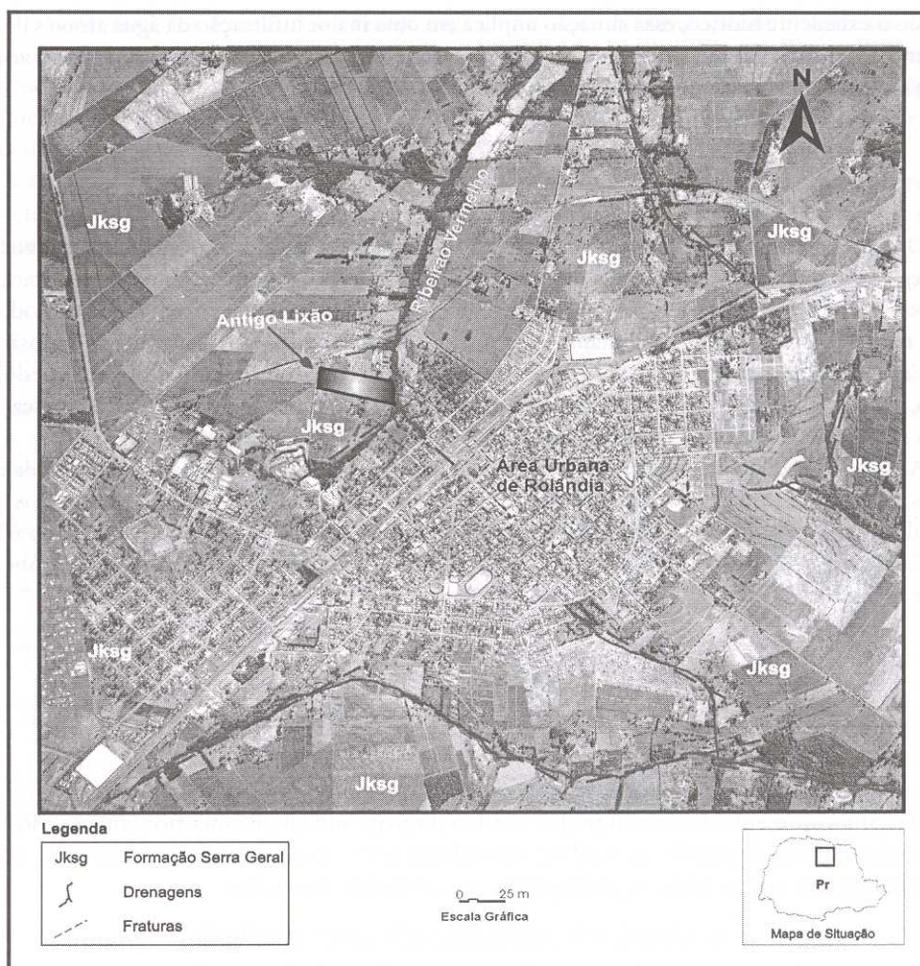


Figura 5 – Fotografia aérea de 1981, evidenciando os lineamentos estruturais

Os levantamentos dos lineamentos estruturais da área de estudo são de extrema importância, pois as águas do aquífero freático alimentam o fluxo de base dos rios ou infiltra-se a maiores profundidades alimentando a recarga do Aquífero Serra Geral condicionado em fraturas e/ou falhamentos.

Dessa forma, essa recarga possibilita a migração de contaminantes pela zona de fraturamento prejudicando a qualidade das águas subterrâneas desse sistema aquífero, hoje muito explorado por poços tubulares na região dos domínios dos basaltos da Formação Serra Geral.

## HIDROGEOLOGIA

Segundo Celligoi et al (2001), na grande área estudada existem duas formas de ocorrência de água subterrânea: o aquífero freático e o sistema aquífero Serra Geral. O aquífero freático, representado aqui pelas camadas de solo e rocha alterada, pelas suas características geológicas de sedimentos argilosos, constitui-se em um meio poroso heterogêneo, geralmente pouco espesso e com baixa profundidade do nível saturado. Este aquífero tem características essenciais de aquífero livre, ou não-confinado. Dessa forma, a recarga se dá diretamente a partir de águas pluviais nas áreas mais elevadas topograficamente, aumentando os riscos em relação à contaminação ou poluição das águas subterrâneas (REBOUÇAS, 1978)

Ao contrário dos sistemas aquíferos sedimentares, os quais possuem uma certa homogeneidade física, o sistema Serra Geral, pelas suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (FREEZE & CHERRY, 1979). Dessa forma, o modo de ocorrência da água subterrânea fica restrito às zonas de descontinuidades das rochas, as quais se constituem principalmente em estruturas tectônicas do tipo fratura e/ou falhamento.

Para este trabalho toda via, a ênfase será dada ao aquífero freático, uma vez que este é mais suscetível a contaminação pela migração do lixiviado através da zona não saturado, liberado pela decomposição dos resíduos dispostos no antigo lixão de Rolândia.

O fluxo das águas subterrâneas, uma vez existente uma fonte de contaminação liberando os seus produtos, os transporta através de correntes advectivas ao longo de seu deslocamento, gerando-se assim uma "pluma" poluente. Dependendo das condições de formação das camadas, estas podem ter maior ou menor permeabilidade ou porosidade, afetando assim a forma e velocidade, por conseguinte, distância de deslocamento de uma nuvem poluente (CELLIGOI 1993).

Foram realizadas perfurações de três poços de monitoramento a jusante do antigo lixão de Rolândia, entre o talude da massa de lixo e o Ribeirão Vermelho (Figura 6). As perfurações tiveram por finalidade a investigação e a caracterização da ocorrência das águas subterrâneas locais, através da determinação da espessura de solo e rocha alterada, a medição dos níveis saturados, bem como avaliar a situação atual da zona saturada, no que diz respeito à sensibilidade hidrogeológica do aquífero freático na área de estudo.

A superfície freática foi determinada medindo-se os níveis de água dos 3 poços de monitoramento durante um ano, no qual foi calculada a oscilação média do nível d'água durante esse período. Os dados obtidos foram correlacionados com as cotas de altitudes acima do nível do mar sendo possível, dessa forma, o estabelecimento do gradiente hidráulico da área.

Para melhor averiguação da superfície freática foi estabelecido um perfil A-B na área de estudo conforme apresenta as Figuras 6 e 7, no qual foram tomados os poços 1 e 3 localizados perpendiculares às curvas de níveis do terreno, uma vez que as direções do fluxo subterrâneo em aquíferos freáticos são perpendiculares às linhas equipotenciais.

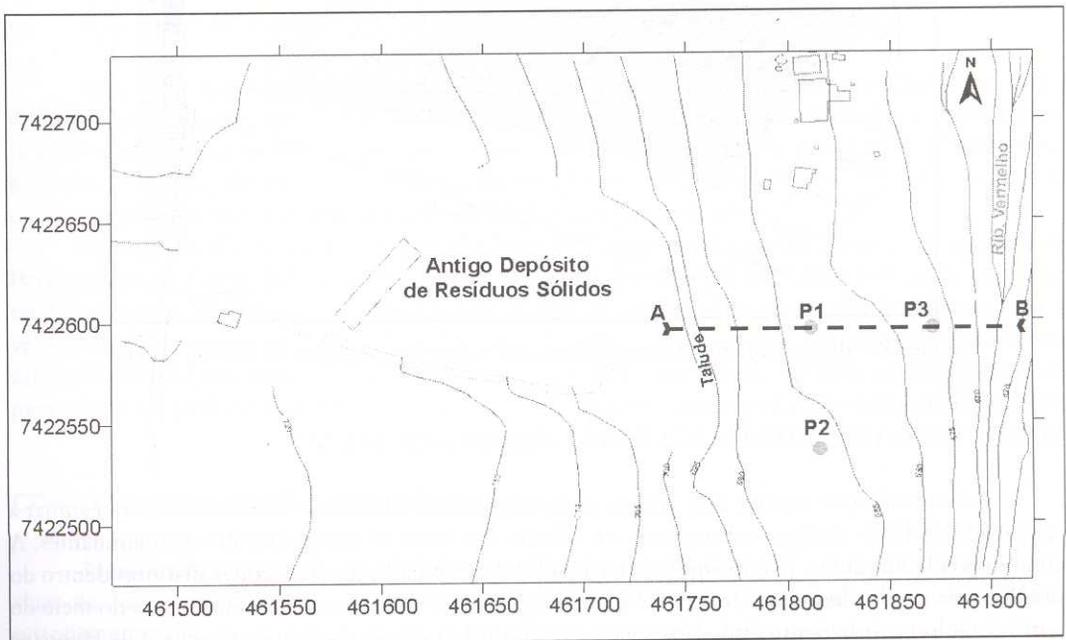


Figura 6 – Mapa de localização dos poços de monitoramento e corte esquemático A-B, na área de estudo.

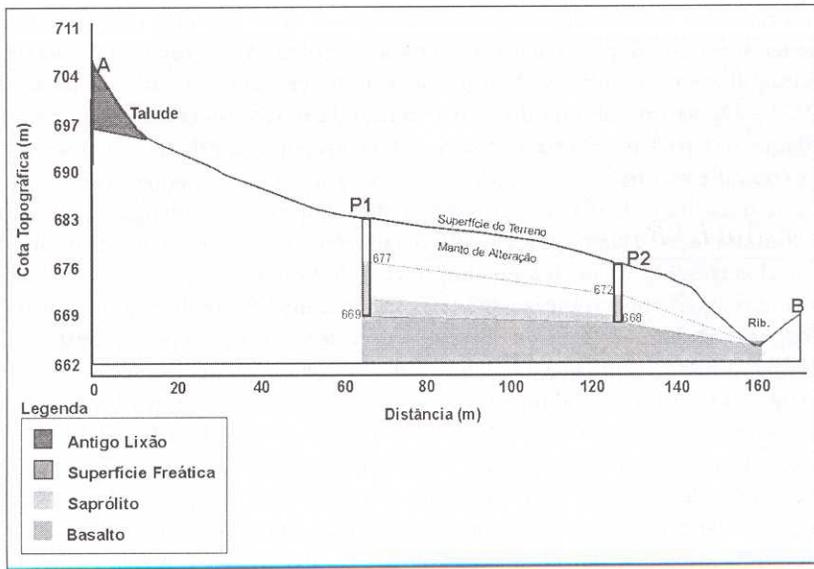


Figura 7 – Perfil ilustrando, superfície do terreno profundidades e superfície freática.

Como observado nas Figuras 7 e 8, a superfície freática acompanha de uma forma geral a superfície do terreno. Esta conformação demonstra que a área de recarga local do aquífero freático se encontra nas porções mais elevadas do terreno, sendo a área de descarga localizada nas partes mais rebaixadas do relevo, em direção a calha do ribeirão Vermelho.

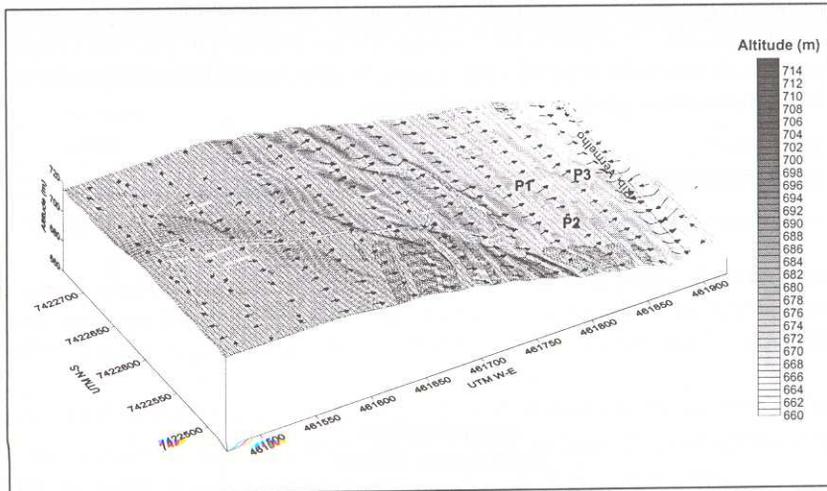


Figura 8 – Bloco diagrama evidenciando a conformação topográfica da área de estudo.

## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E VELOCIDADES DE FLUXO

A determinação precisa dos valores de condutividade hidráulica é necessária para estimar a velocidade de fluxo da água subterrânea e o cálculo das taxas de transporte dos contaminantes. A condutividade hidráulica ( $K$ ) do aquífero na área foi determinada em duas zonas distintas dentro do perfil do manto de alteração: Uma entre a camada de solo e rocha semi-alterada e outra no meio do perfil do solo propriamente dito. A primeira foi feita pelo método do slug test, a partir de Hvorslev (HVORSLEV, 1951), no qual se introduz um tarugo no poço e, após a elevação do nível d'água, mede-se o rebaixamento do mesmo em função do tempo.

A metodologia de Hvorslev permite avaliar a permeabilidade média das camadas ao redor do filtro. As medidas foram efetuadas nos níveis próximos à zona de contato entre a rocha semi-impermeabilizada e o solo propriamente dito.

Tal zona constitui-se em uma descontinuidade litológica que favorece o fluxo subterrâneo, uma vez que a rocha basáltica sã, não sendo fraturada, é praticamente impermeável, dadas às suas características de rocha cristalina. O método, então, segue a seguinte equação:

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2LT_0}$$

A partir dessa metodologia foram obtidos os seguintes coeficientes  $K$  para os poços de monitoramento:

$$P1 = 1,25 \times 10^{-2}$$

$$P2 = 9,30 \times 10^{-3}$$

$$P3 = 3,25 \times 10^{-3}$$

Os valores acima indicam que a camada entre o solo e a rocha semi-alterada apresenta condutividade hidráulica mediamente elevada, pela qual, com um gradiente hidráulico relativamente alto, pode ter velocidades de fluxo consideravelmente altas.

Tal velocidade é regida diretamente pela Lei de Darcy, na expressão: +

$$V_r = \frac{k \times i}{m_e}$$

O gradiente hidráulico médio para a área, determinado através dos níveis d'água nos poços de observação, foi de 0,080, ou 8%. Adotando-se o valor médio de  $k = 8,25 \times 10^{-3}$  cm/s, determinado pelos testes do "slug" para os poços P1, P2 e P3 então segue o seguinte resultado:

$$V_r = 7,21 \times 10^1 \text{ cm/s}$$

Esse valor demonstra que os lixiviados originários da decomposição dos resíduos localizados no topo da vertente do antigo lixão de Rolândia, a cerca de 160 metros de distância acima topograficamente, na mesma vertente, uma vez atingindo o nível d'água e não reagindo com os minerais de argila do solo, deve atingir o ribeirão Vermelho em aproximadamente 280 dias. Tal valor se coaduna relativamente com um material de permeabilidade extremamente alta.

Entretanto, diversos testes de percolação realizado por sondagem SPT na área de domínio da Formação Serra Geral, indicaram uma condutividade hidráulica ( $k$ ) em  $1,02 \times 10^{-5}$  cm/s. Considerando a porosidade efetiva calculada em laboratório de 0,09 ou 9%, os resultados indicam que a velocidade real de percolação no solo é de  $9,79 \times 10^{-2}$  cm/s, o que o torna uma camada de solo com características de um material pouco permeável. Um poluente levaria 69 dias, aproximadamente, para atingir a superfície saturada, visto que a mesma possui uma profundidade média de 6,77 metros

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizando, a partir da permeabilidade obtida na camada de rocha semi alterada através dos slugs de  $7,21 \times 10^1$  cm/s e a permeabilidade de  $9,79 \times 10^{-2}$  cm/s para a área da camada de solo propriamente dito, os contaminantes gerados pela decomposição dos materiais depositados no antigo lixão levaria um total de 349 dias aproximadamente para atingir e contaminar as águas do ribeirão Vermelho à jusante, na mesma vertente.

Dessa forma, visto que a área de estudo possui um excedente hídrico para quase todas as épocas do ano, os resíduos eram depositados de forma irregular ao solo, após anos de funcionamento e os resultados finais referentes a permeabilidade, concluí-se que o aquífero freático localizado nas adjacências do antigo lixão do município de Rolândia possui alto grau de vulnerabilidade aos contaminantes provindos da lixívia.

A sociedade em geral e, principalmente, a população urbana sofre diariamente com as consequências da condução e de adoções equivocadas para a questão do lixo, pois a ineficiência ou até a inexistência de políticas para o manejo adequado dos resíduos acentua os riscos de contaminação do solo, do ar e da água provocando a proliferação de vetores e de doenças.

O problema com os resíduos sólidos não termina quando são enterrados, apenas começa. A transformação da matéria orgânica, a umidade natural dos resíduos e as infiltrações devido às chuvas, dissolvem e carregam os contaminantes presentes na massa, gerando lixiviados com grande teor de contaminação. Esta lixívia não pode ser disposta sem ter um tratamento adequado, pois deverá ser compatível com as restrições impostas pelo órgão ambiental responsável.

Portanto, a solução da problemática dos resíduos sólidos urbanos no Brasil envolve um conjunto de definições políticas que sejam resultados de estudos abrangentes realizados por profissionais de forma multidisciplinar e que envolvam a sociedade organizada, para que sejam definidos regras e critérios necessários a implantação de um eficaz programa de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no país, especialmente na disposição final do mesmo.

## BIBLIOGRAFIA

- CELLIGOI, A.; SANTOS, M. M.; VIANA, T. R. Análise e interpretação do gradiente hidráulico do aquífero freático em uma área na região sul de Londrina-PR. **Revista do Departamento de Geociências**. UEL, v. 10, n. 1, p. 79-87, 2001.
- CELLIGOI, A. – **Hidrogeologia da Formação Caiuá no Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em hidrogeologia)- São Paulo. IGc USP, 2000
- CELLIGOI, A. – **Recursos hídricos subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina – PR**. Dissertação de mestrado, IGc USP, 1993.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999 412p.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J.A. - 1979 - **Groundwater**. *Prentice-Hall inc.*, New Jersey, 604 p.
- IAPAR, **Cartas Climáticas do Paraná**. Instituto Agrônomo do Paraná, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Consórcio Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Londrina, 2001.
- IAPAR, **Resumo Climatológico de Londrina**. Período de 1993/2001, Londrina, 2001.
- LEITE, W. C. A. Manejo e gerenciamento de resíduos. In: TAULK-TORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, T.S. (orgs.) **Análise Ambiental: Estratégias e ações**. São Paulo: Editora T. A. Queiroz, 1995.
- MELO, A. C. A. **Resíduos Sólidos Domiciliares na Cidade de Rolândia-PR.: Coleta seletiva e reaproveitamento – reciclagem**. Monografia de conclusão de curso. Departamento de Geociências/CCE. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1999.
- PETRI, S. FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. EDUSP. São Paulo, SP. 1983.
- REBOUÇAS, A. C. - - Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil. XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. **Anais...**, 1978.
- SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. XXVIII Congresso Sociedade Brasileira de Geologia. Porto Alegre-RS. **Anais...**, 1974.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Gersey, v.8, 1955, 104p.