

## AMOSTRAGEM DE ÁGUA NA ZONA NÃO SATURADA - UM EXEMPLO DO BRASIL\*

Nelson Ellert\*\*

Célia Alves Surita\*\*\*

### Abstract

This paper intends to present some information about the techniques used to sample water from the unsaturated zone. The field work was developed in the NW part of the State of São Paulo-Brazil, where Cretaceous sandy sediments covers about 2/3 of the State's surface. Several tanning industries are located in this area and the main objective of this research is to determine the impact caused by the deposition of "solid" waste on the ground's surface and infiltration of effluents in these sediments. Considering that the chemical analysis require a considerable volume of water sample, several field techniques were used to improve the methodology to obtain these necessary volumes. Three sampling stations were constructed in a 3 x 3 meters area, with lysimeters installed at 0,5 meters depth interval until reaching the groundwater table. One monitoring well was also constructed to sample the ground water. At each of these sampling stations effluent was infiltrated ( 2.000 liter / station) and water samples were collected each month during an hydrological year. The use of long term vacuum at each lysimeter has revealed to be the best technique to improve the water samples volume in this kind of terrain.

\* Pesquisa financiada pela FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo/IDRC-Canada

\*\*Pesquisador do CEPAS-Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas-Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo - Vice-Presidente da Hidro Ambiente

\*\*\* Pós-Graduanda do Instituto de Geociências-Universidade de São Paulo

## Resumo

Este artigo tem por objetivo apresentar algumas informações sobre técnicas utilizadas para amostrar a zona não saturada no NW do Estado de São Paulo, Brasil, em sedimentos Cretáceos do Grupo Baurú. Vários curtiúmes se encontram instalados nesta área e dispõe os seus resíduos na superfície do solo tanto sólidos como infiltração de efluentes. Considerando que para avaliar o comportamento dos efluentes em sua migração rumo ao lençol freático é necessário obter volumes apreciáveis de amostra para serem submetidas à análise química, é necessário otimizar as técnicas de campo para atingir estes objetivos. Para que amostras de água da zona não saturada fossem coletadas, estações foram instaladas, contendo lisímetros de sucção e tensiômetros. Em cada estação foram infiltrados 2.000 litros de efluentes e amostras coletadas durante um ano hidrológico. Verificou-se que a aplicação de vácuo durante 24 horas e a manutenção do vácuo no sistema, foi a melhor técnica para obter os necessários volumes de água para as análises químicas.

## Introdução

Amostragem de água da zona não saturada tem sido a técnica usada para determinar o comportamento químico da água no seu fluxo através desta zona.

A presença de diversos minerais no solo ( matéria orgânica, argilas) e bactérias, é responsável pelas mudanças hidrogeoquímicas da água durante o seu trânsito através desta zona, antes de atingir o nível freático.

A instalação de lisímetros é a técnica usual que torna possível a obtenção de amostras de água da zona não saturada.

As técnicas usadas para a instalação dos lisímetros e as técnicas utilizadas para a amostragem são chaves para a obtenção dos volumes de amostras de água necessários para realização das análises químicas.

Considerando que não há muitos trabalhos publicados tratando deste assunto, este artigo tem por intenção, trazer algumas informações práticas sobre técnicas que foram utilizadas em trabalhos de campo.

## A zona vadosa

A zona vadosa ( não saturada) pode ser definida como a parte do solo que se estende desde a sua superfície até a parte superior da franja capilar. Esta zona é caracterizada pela presença de gás em seus poros e ser parcialmente preenchida com água. Pode ser formada por materiais consolidados (rochas) ou não consolidado (sedimentos, rocha alterada), com partículas de diferentes dimensões ( cascalho, areia, silte, argila) e diferentes conteúdos de matéria orgânica.

A água da zona vadosa é parte da água infiltrada a partir da superfície rumo à maiores profundidades, que foi retida no meio poroso pela pressão capilar ou adsorvida na superfície dos grãos.

Quando o meio poroso contém espaços ocupados por água ou ar forma-se uma interface, o menisco. A curvatura deste menisco depende em maior ou menor escala do estado energético da água. A variação desta energia (E) por superfície do líquido (A) é a tensão superficial ( $\gamma$ ) dada em função da temperatura e pressão:

$$\gamma = (\delta E / \delta A)_{TAP}$$

A relação entre a tensão superficial e o raio do poro ( esferas ou cilindros) fornece a pressão capilar ( $P$ ), que a superfície do material sólido do poro exerce na água:

$$P = 2 \gamma / R$$

Baseado nesta equação, é fácil entender porque quanto menor o diâmetro dos poros, maior é a pressão capilar e a água é mantida no lugar por maiores forças.

A água é mantida por adsorção quando os seus volumes dentro dos poros diminui. A textura do meio poroso é um fator importante, pois, quanto menor o grão, maior a superfície específica e maior é a área de contato entre os dois meios. Argilas diferentes possuem capacidade a sorpção diferentes. A caulinita é um exemplo de ter a menor capacidade.

A presença de matéria orgânica reflete na capacidade do solo de reter água no solo. Quanto maior o conteúdo em matéria orgânica, tanto maior a capacidade de retenção.

Qualquer volume de água em um determinado ponto esta sujeita a ação da força de gravidade, além da adsorção e pressão capilar. Normalmente adota-se um plano de referência onde  $g$  é constante, no caso, a superfície do solo. Acima deste nível de referência  $g$  é positivo e abaixo  $g$  é negativo. Quanto mais profundo o ponto, tanto mais a tensão  $g$  se torna negativa. Além da pressão osmótica, a pressão de sucção para remover certo volume de água deve ser suficientemente grande para superar esta força que atua no sentido inverso.

A associação de todas estas forças, que estão relacionadas à textura e estrutura do meio poroso, definem a energia potencial matricial ( $\Psi_m$ ) do solo.

O potencial matricial é função do volume de água ( $\Phi$ ), portanto

$$\Psi'_m = \Psi_m(\Phi)$$

Quanto maior a quantidade de água, menor o potencial matricial  $\Psi_m(\Phi)$ , o que indica que, quanto maior a quantidade de água contida no meio poroso, tanto menos negativo é  $\Psi_m(\Phi)$ , portanto menor a intensidade de vácuo necessário para obter água do solo.

Na prática, o potencial matricial  $\Psi_m(\Phi)$  é medido por tensiômetros. Se um conjunto de tensiômetros é instalado a diferentes profundidades é possível obter-se o valor  $\Psi_m(\Phi)$  em função do tempo ao longo de um perfil vertical.

Estes tensiômetros podem ser de dois diferentes tipos: medidores de vácuo Bourdon, que indica  $\Psi_m(\Phi)$  em cm de H<sub>2</sub>O em bar, ou manômetros de mercúrio Reichardt (1990).

Os **tensiômetros de Hg** (figura 1) consistem de uma cápsula de cerâmica porosa conectada a um tubo de PVC que contém a coluna de Hg. O tubo de PVC é cheio de água deaerada. Quando o contato da cápsula poroso e o solo é estabelecido e se houver uma deficiência em água nos poros do solo, haverá uma pressão de sucção do solo sobre a água da cápsula. A pressão interna dentro do equipamento é menor e a coluna de Hg ascende dentro do tubo capilar. Esta ascensão cresce até haver um equilíbrio entre o conteúdo da água no meio poroso e a água contida na cápsula porosa. A variação da altura da coluna de Hg indica a pressão matricial do solo em um dado instante.

**Figura 1.** Esquema construtivo do tensiômetro de Hg

De acordo com Reichardt (1990), as dimensões dos poros da cápsula são tão pequenas que elas impedem que a água do seu interior migre para o solo, mesmo com uma pressão de sucção de 1 atm.

A energia potencial matricial  $\Psi_m(\Phi)$ , medida pelos tensiômetros é dada por:

$$\Psi_m(\Phi) = - (13,5951 h_{Hg} - h_{Hg} - h_c - h_p) \text{ cm H}_2\text{O}$$

OU

$$\Psi_m(\Phi) = - (12,5951 h_{Hg} - h_c - h_p) \text{ cm H}_2\text{O}$$

onde  $h_{Hg}$  = altura da coluna de mercúrio,  $h_c$  é a distância entre a superfície do solo e o reservatório de mercúrio e  $h_p$  a profundidade da cápsula porosa.

Os valores medidos no tensiômetros fornecem uma indicação da pressão de sucção necessária a ser aplicada nas cápsulas porosas dos lisímetros para permitir a obtenção de água da zona não saturada.

**Lisímetros de sucção** (figura 2) consistem de cápsulas porosas instaladas na extremidade de um tubo de PVC que se estende desde a superfície do solo até uma determinada profundidade da qual amostras de água devem ser coletadas.

Em um primeiro estágio, é necessário utilizar-se de uma bomba de vácuo para fazer uma pressão de sucção superior a energia potencial matricial e assim gerar uma migração da água para dentro da cápsula porosa.

De acordo com as definições anteriores, se o solo for formado por grãos grosseiros, a pressão de sucção de 1 atm é suficiente para amostrar água da zona vadosa. Não obstante é necessário observar-se a precipitação pluviométrica e evaporação na área de trabalho.

**Figura 2.** Esquema construtivo de um lisímetro.

### Considerações sobre as estações de amostragem

Na localidade de Monte Aprazível, localizada no NW do Estado de São Paulo - Brasil, formada por sedimentos do Grupo Baurú, de idade Cretácea, foram instaladas estações de amostragem situadas em diferentes condições de profundidade do nível d'água.

**Figura 3 .** Foto da estação de amostragem

Considerando que as estações foram instaladas em três locais distintos com diferentes profundidades do nível d'água, o que difere cada uma é o número de lisímetros instalados, guardando todas elas a mesma semelhança quanto a sua concepção, ou seja:



- lisímetros de 1" de diâmetro instalados a cada meio metro de profundidade até atingir o nível freático;
- tensiômetros instalados igualmente a cada meio metro de profundidade até 3 metros de profundidade máxima;
- construção de um poço de monitoramento de 2" a jusante, para coleta de água subterrânea;
- área da estação de 3 x 3 metros ;
- infiltração de 2.000 litros de efluentes em cada estação;

apresentaremos detalhes de somente uma das estações.

Conforme figura 5, as estações foram construídas numa área de 3 x 3 metros, circundadas por um pequeno muro de tijolos para manter o acúmulo de efluentes durante os períodos de injeção. Os lisímetros foram instalados atingindo profundidades sucessivamente maiores, com intervalos de 0,5 metros na profundidade até atingir o nível freático e na parte mais interna foram instalados os tensiômetros igualmente atingindo profundidades maiores com 0,5 m de intervalo de profundidade.

**Figura 4.** Comportamento granulométrico do solo

**Figura 5.** Esquema das estações com lisímetros e tensiômetros

**Figura 6.** Corte esquemático da estação de amostragem.

### **Características dos lisímetros**

Conforme esquema da figura 2, os lisímetros constam de tubos de PVC rígido, de 1" de diâmetro, em cuja extremidade inferior se encontra instalada uma cápsula de cerâmica porosa de igual diâmetro. Em sua extremidade superior (figura 7) encontra-se instalada uma rolha de borracha contendo as conexões para a aplicação do vácuo, bem como para coleta de água. No seu interior, desde a extremidade superior até a extremidade inferior encontra-se instalada uma delgada tubulação para a retirada da água acumulada no interior da cápsula porosa por ocasião da aplicação do vácuo.

Para garantir o fluxo da água do solo para dentro da cápsula de cerâmica, ela é envolvida por uma camada de sílica moída. Para impedir que água superficial flua ao longo do tubo de PVC, quando o efluente é lançado, o espaço anular é preenchido por uma mistura de solo com bentonita e cimento para permitir a estanqueidade necessária. A rolha de borracha instalada na extremidade superior garante a perfeita obstrução do lisímetro, bem como o acoplamento com o sistema de vácuo e bombeamento da água a ser amostrada.

Dois pequenos tubos de  $\frac{1}{4}$ " de aço inox foram instalados nesta rolha (figura 7). A extremidade **1** do tubo **A** é utilizado para conectar o lisímetro à bomba de vácuo. A extremidade **3** do tubo **B** é utilizada para drenar a água do interior do lisímetro. A extremidade **4** do tubo **B** está acoplada à mangueira de plástico que serve como duto para ascensão da água quando da coleta. Como muitas vezes a mangueira plástica não permanece totalmente reta, na sua extremidade inferior é acoplado uma pequena haste de aço inox para, através do seu peso, garantir que a mangueira atinja sem problema, o fundo do lisímetro.

**Figura 7 .** Esquema da rolha de fechamento

### Técnica de amostragem

Considerando os elevados volumes de ar a serem exauridos dos lisímetros (mais de 100 litros), foram instaladas 2 bombas de vácuo na estação.

Para otimizar o processo de amostragem de água foi utilizado o seguinte procedimento.

- considerando-se a grande quantidade de lisímetros a serem amostrados simultaneamente, metade deles foi acoplada a uma bomba de vácuo e a outra metade acoplada à outra bomba de vácuo. Para que isto fosse possível construiu-se o que denominamos de "flauta" (figura 8)

**Figura 8 .** Esquema da "flauta"

- mantendo-se fechada a extremidade **2** do tubo **B** por meio de uma presilha aplicada no tubo de plástico, a extremidade **1** do tubo **A** foi conectada à bomba de vácuo. Um vácuo de -600 a -650mm/Hg foi aplicado aos lisímetros durante 24 horas.

- após 24 horas de funcionamento, mantendo as bombas de vácuo ligadas, o tubo plástico conectado na extremidade **1** do tubo **A** foi obstruído por meio de uma presilha. Depois de proceder assim com todos os lisímetros, a bomba de vácuo foi desligada e desconectada da "flauta".

Este procedimento foi utilizado de modo que fosse mantido o vácuo criado dentro dos lisímetros, pois o solo nas vizinhanças imediatas das cápsulas estava igualmente submetido a vácuo. Se o vácuo do interior do lisímetro fosse relaxado, a água coletada dentro da cápsula porosa fluiria de volta para o solo vizinho.

Após aguardar cerca de 1 hora, enquanto o vácuo no interior do lisímetro lentamente caía, conforme esquematizado na figura 10, a bomba de vácuo era conectada na extremidade **2** do tubo **B**, através do erlenmeyer, conforme esquematizado na figura 8.

**Figura 9 .** Esquema de instalação da bomba de vácuo.

**Figura 10 .** Curva de decaimento do vácuo no lisímetro.

Após conectar a bomba de vácuo na saída do erlenmeyer, mantendo o tubo grampeado, a bomba de vácuo era religada. Quando o vácuo no sistema, incluindo o erlenmeyer, atingia -650 mm/Hg, o grampo era lentamente relaxado e uma queda de pressão era criada dentro do tubo de plástico e a água acumulada no fundo do lisímetro começava a fluir, através da mangueira plástica, para dentro do erlenmeyer instalado conforme figura 8. Considerando que este procedimento voltava a criar vácuo dentro de lisímetro, a extremidade **1** do tubo **A** era lentamente aberta de modo a permitir que ar entrasse lentamente no lisímetro. Era assim reduzido o vácuo no sistema, possibilitando assim o fluxo da água acumulada no fundo do lisímetro para dentro do reservatório.

## Resultados

Empregando-se esta metodologia, volumes apreciáveis de água foram coletados dos lisímetros, sobretudo daqueles instalados mais profundamente. Houve situações em que o lisímetro em toda a sua extensão estava repleto de água, o que significa volumes superiores a 4 litros.

A técnica da aplicação prolongada do vácuo ( 24 horas) dentro do lisímetro, a manutenção do vácuo no sistema, após o desligamento da bomba ( por pelo menos 1 hora) e o alívio do vácuo no sistema após o início da ascensão da água através da mangueira de plástico após a aplicação do vácuo no erlenmeyer , revelou-se um procedimento adequado para a obtenção dos volumes de amostras de água necessários para a realização das análises químicas.

## Bibliografia

- ALEXANDRE, G. A. . (1995) Contribuição ao estudo do comportamento geoquímico do As, Cu, Pb e Zn originários de pesticidas agrícolas nas zonas não saturada e saturada em área urbana e agrícola do Município de Louveira (SP) . São Paulo, 158p. (Tese de Doutorado) Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo
- CULLEN, S.J. (1995) Vadose Zone Monitoring Experiences and Trends in the United States GWMR, Summer p.136-143
- FETTER, C.W. (1993) Contaminant hidrogeology . New York. Macmillan Publishing Company, 457p
- HANSEN, E.A.; HARRIS, A.R. (1975) - Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. Soil Science Society America Proc. v.39 , p.528-536
- HARRIS, A.R.; HANSEN, E.A. (1975) A new ceramic cup soil-water sampler . Soil Science Soc. Amer. Proc. v.39 p. 157-158
- REICHARDT, K. (1990) A água em sistemas agrícolas. São Paulo Editora Manole Ltda 187 p
- SZIKSZAY, M; CONSONI, A.J.; GUIGUER, N.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A.;

PARISOT, E.; SGAMBATO, F.; YOSHINAGA, S. (1986) Instalação de uma estação experimental para estudo da dinâmica e da evolução da composição química da água na zona não saturada. São Paulo. Revista Águas Subterrâneas, n.10, p 05-20

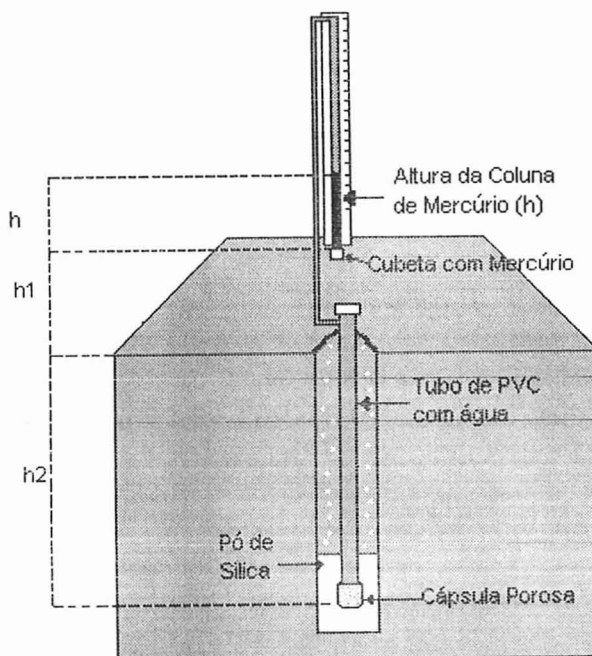


Figura 1. Esquema construtivo do tensiômetro de Hg

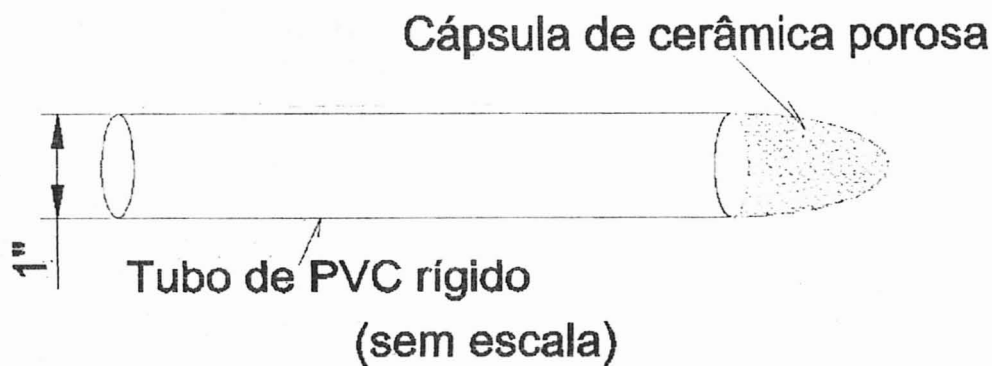


Figura 2. Esquema construtivo de um lisímetro.



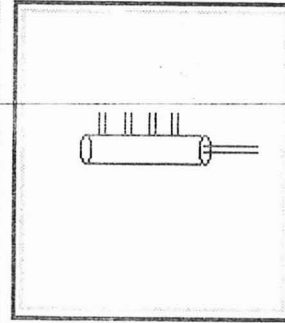
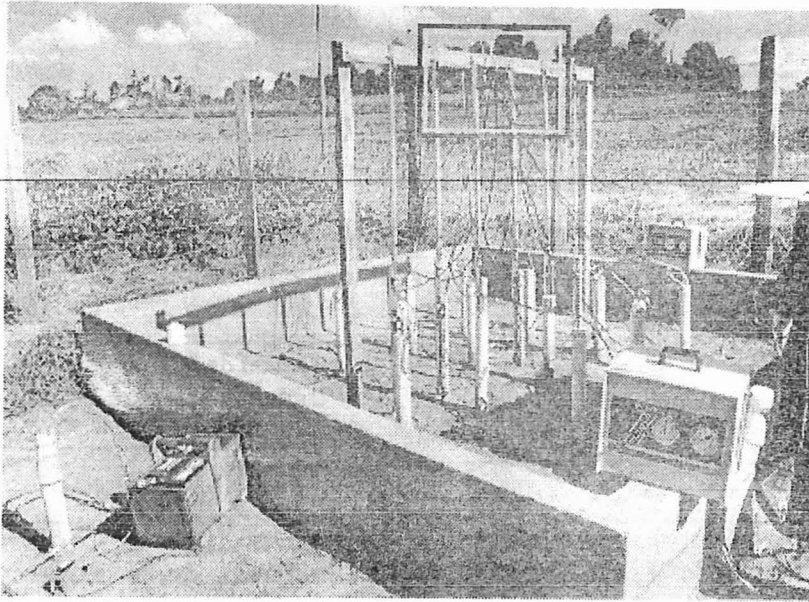


Figura 3 . Foto da estação de amostragem

## Granulometria Estacao A

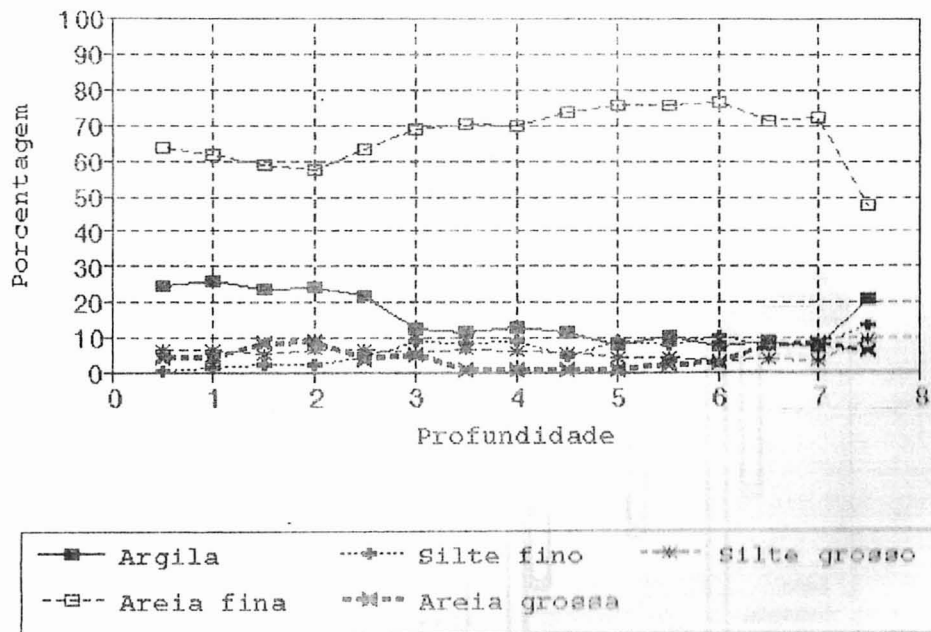


Figura 4. Comportamento granulométrico do solo

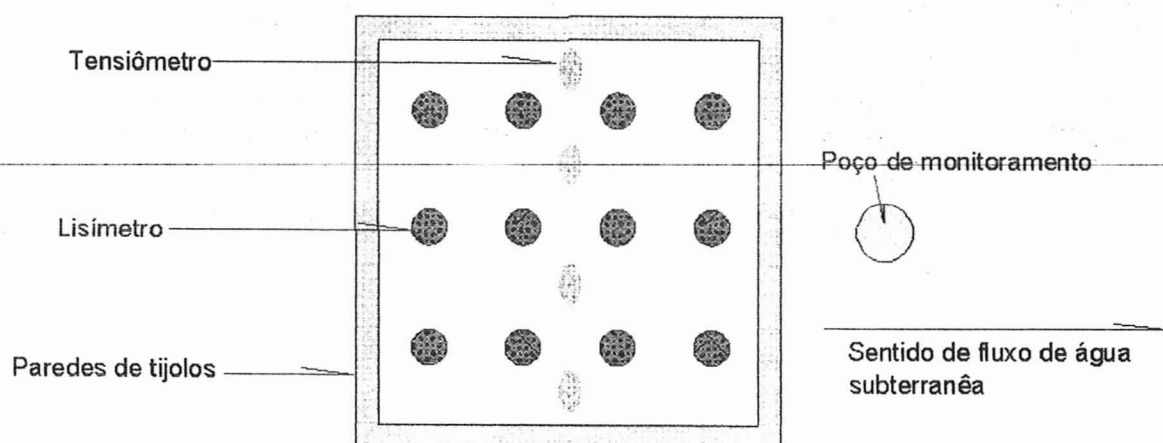


Figura 5. Esquema das estações com lisímetros e tensiômetros

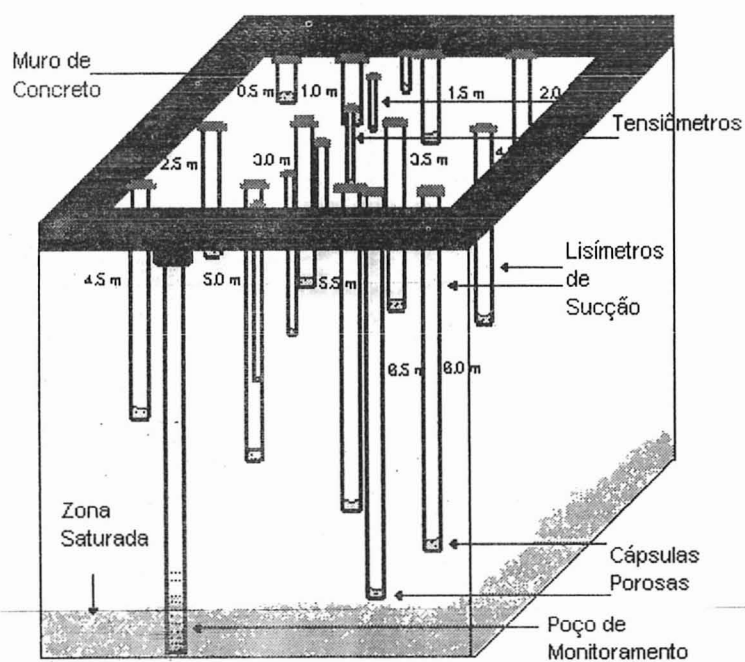


Figura 6. Corte esquemático da estação de amostragem.

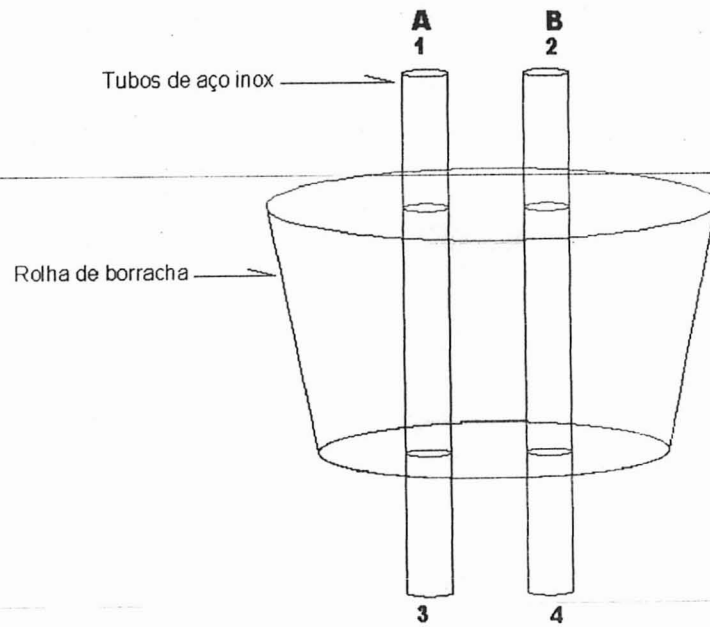


Figura 7 . Esquema da rolha de fechamento

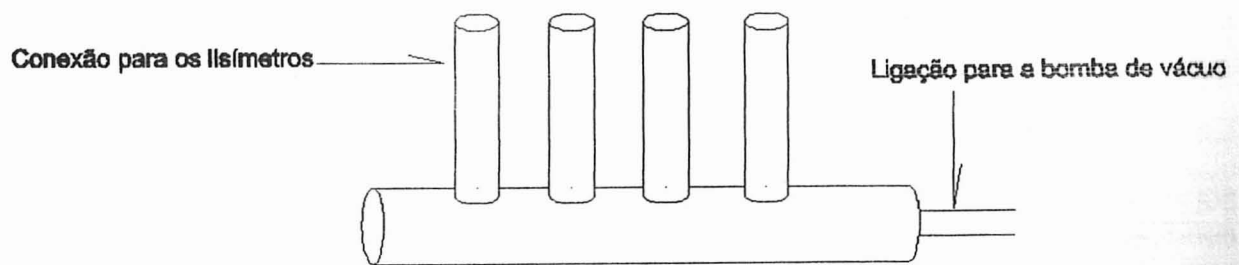


Figura 8 . Esquema da "flauta"

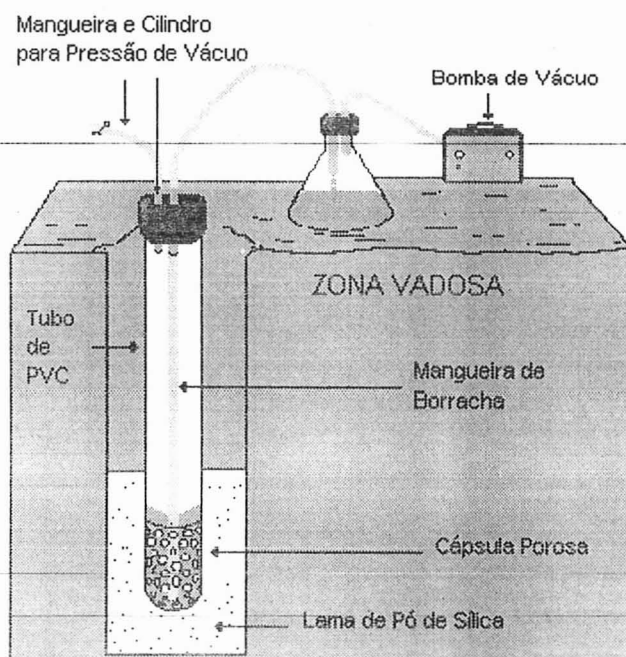


Figura 9 . Esquema de instalação da bomba de vácuo

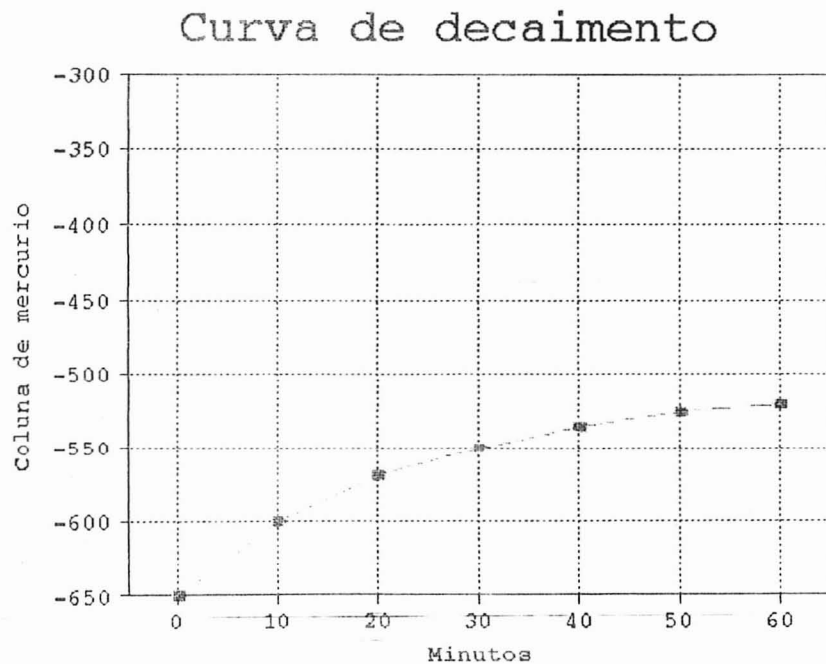


Figura 10 . Curva de decaimento do vácuo no lisímetro.