

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA EM ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, COM RISCOS DE POLUIÇÃO DE AQUÍFEROS.

Paulo Cyro B. Scudino *

RESUMO

A implantação de um aterro sanitário para a disposição de resíduos sólidos ensejou a realização de um levantamento hidrogeológico, de caráter expedito, com o objetivo de avaliar em curto prazo e a baixo custo, a possibilidade de poluição dos aquíferos em área de embasamento cristalino com espesso manto de intemperismo. Furos de trado ensejaram o conhecimento básico das características hidrogeológicas e mineralógicas do substrato, assim como a obtenção dos níveis e amostras d'água para análise *in situ* e de metais pesados. A piezometria obtida permitiu caracterizar o fluxo subterrâneo, bem como estabelecer pontos de amostragem para o monitoramento da qualidade das águas.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho compreende a síntese dos estudos hidrogeológicos realizados na área fabril da Itatiaia Móveis S.A., objetivando uma análise e diagnóstico técnico sobre a possibilidade de infiltrações e poluição das águas subterrâneas, diante da instalação de um aterro sanitário destinado para repositório final de resíduos industriais e orgânicos.

Os estudos foram dirigidos para as observações das características hidrogeológicas do sub-solo no local do aterro e adjacências, e para investigações complementares sobre o fluxo e a qualidade das águas de infiltração, objetivando a elaboração de um plano de monitoramento da qualidade dessas águas, no eventual risco de poluição.

Neste contexto, foram realizados 11 furos de sondagem a trado com diâmetro de 6", perfazendo-se o total de 87,2 metros. Nessas sondagens, quando se atingiu o nível d'água, foram coletadas amostras para medições *in loco* do pH, da condutividade elétrica e temperatura da água subterrânea. Coletou-se em dois furos, amostras de água para a

determinação do cromo total e do zinco solúveis, por absorção atômica, de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (1985). Realizou-se também o nivelamento altimétrico da área em apreço empregando-se uma mangueira d'água, estimando-se eventuais erros da ordem de 1%. Conhecidos os níveis d'água nos furos e os seus respectivos níveis altimétricos, foi possível elaborar um mapa local de distribuição das curvas isopiezométricas, indicando-se o sentido e a direção do fluxo subterrâneo. Os furos de trado, que penetraram 0,4m abaixo do nível d'água (quando encontrado), permitiram observar a litologia do gnáisse decomposto, de caráter semipermeável. Demais observações geológicas e hidrogeológicas complementares permitiram caracterizar os meios aquíferos existentes e o seu comportamento, na área de estudo.

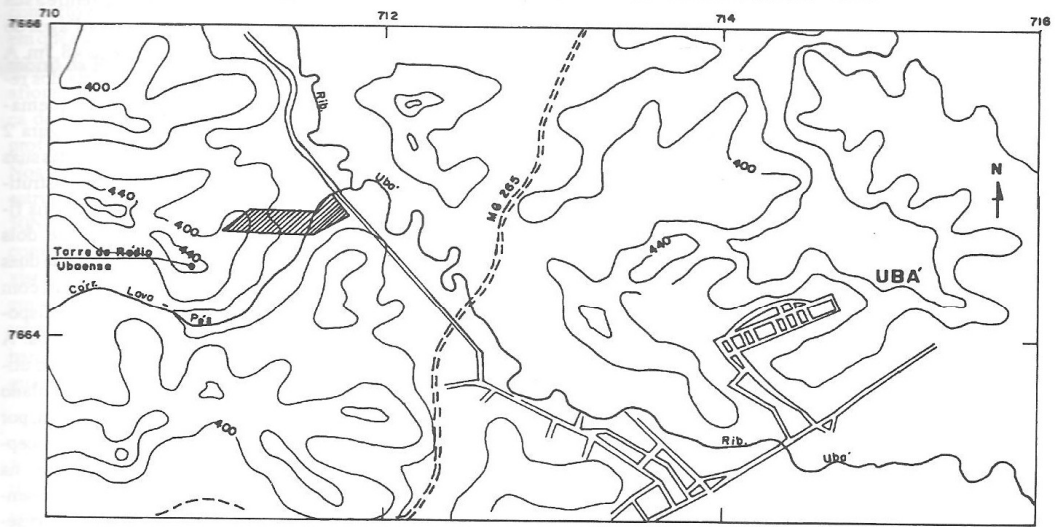
2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA ESTUDADA

A área da fábrica situa-se no perímetro urbano da cidade de Ubá, MG, entre os paralelos 7664 e 7666 km e entre os meridianos 710 e 712 km, em coordenadas UTM (figura 1), ao longo do vale do córrego Lava-Pés, tributário do ribeirão Ubá, estendendo-se tal área até cerca de 670m a oeste do Lava-Pés, abrangendo boa parte do morro da torre da Rádio Ubaense.

O empreendimento industrial consiste na fabricação de móveis, utilizando-se como matérias primas básicas a madeira e chapas de aço. Os resíduos industriais são produtos do preparo das peças de aço e pinturas; os efluentes são conduzidos para uma estação de tratamento, quando são

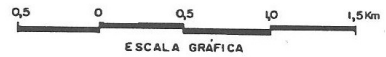
* Escola de Minas/UFOP - Deptº de Geologia
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC

Figura: 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA INDUSTRIAL DA ITATIAIA MÓVEIS S/A

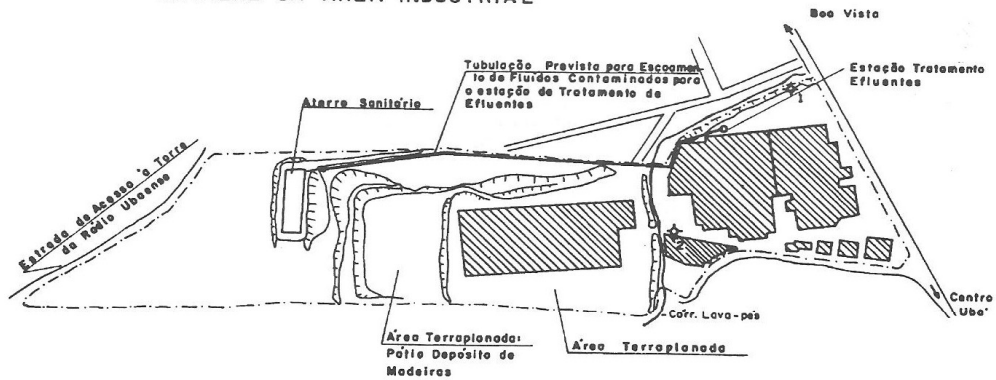


- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Curva de nível e sua cota | Rodovia asfaltada |
| Zona urbano | Área da fábrica Itatiaia Móveis S/A |
| Estrada de acesso | Cursos d'água |

FORNE: Carta IBGE, Folha SF-23-X-D-II-1 UBA'



DETALHE DA ÁREA INDUSTRIAL

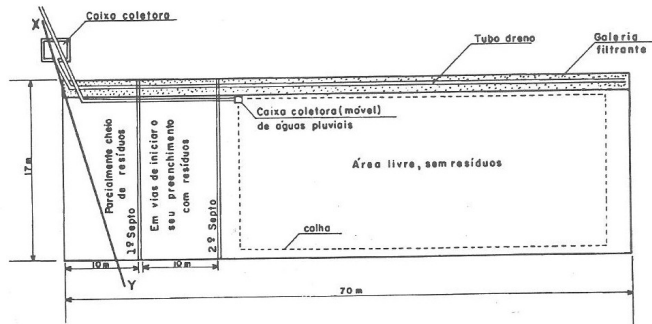


- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| Talude - corte no terreno | Área da fábrica Itatiaia Móveis S/A |
| Poço tubular | Instalações da fábrica |

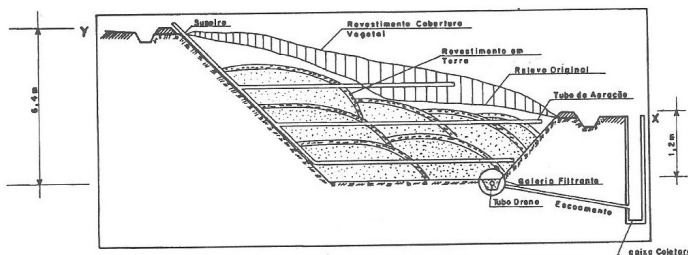
FORNE: Fábrica de Móveis Itatiaia S/A



Figura 2 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS CONSTRUTIVAS DO ATERRO SANITÁRIO



(a) - Planta Esquemática do Aterro Sanitário, com Manejo Atual (Ref. Julho/91)



(b) - Perfil XY Esquemático do Aterro Sanitário, Após o seu Preenchimento
 FONTE: Engecross - Consultoria de Engenharia Ltda.
 Itatiaia Móveis S/A, Junho/90.

separados os resíduos sólidos mediante precipitação química e demais reações de redução do cromo e de volatilização de cianetos. Os resíduos sólidos, decantados e parcialmente secados, encontram-se sob as fórmulas químicas de $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ e $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$, sendo transportados na forma de uma pasta, em tambores, para o aterro sanitário, utilizado como repositório final. Prevê-se também a utilização desse aterro como repositório da matéria orgânica gerada na fábrica por fossas sépticas a serem construídas.

O aterro encontra-se construído próximo da cota 400;

o desnível topográfico entre a sua base (fundo) e a lâmina d'água do córrego Lava-Pés, é de 48,5m. A disposição final prevista dos resíduos encontra-se esquematicamente ilustrada na figura 2 (a,b), onde são apresentadas suas características básicas construtivas. Conforme se observa na figura 2-a, a existência de dois septos determina atualmente duas cavas disponíveis, isoladas, com área total de 340m², para a disposição das pilhas de resíduos. A parte restante do aterro, não utilizada, tem um sistema isolado de drenagem da água pluvial, por gravidade. No projeto de concepção desse aterro, prevê-se, na medida em que as cavas vão sendo preenchidas, novas cavas sejam postas em disponibilidade mediante a construção de novos septos e a recomposição do referido sistema de drenagem pluvial da parte restante não utilizada.

Do ponto de vista geológico, a área de Ubá se encontra inserida na ocorrência regional de gnáisses, rochas metamórficas do embasamento cristalino.

Na área em estudos, o gnáisse se apresenta com um espesso manto de intemperismo, em que se pode caracterizar dois tipos diferentes de aquíferos: o substrato, profundo, é constituído de rochas frescas que têm comportamento de meio aquífero fraturado, enquanto que, nas primeiras dezenas de metros em relação à superfície, o manto de intemperismo tem um comportamento de meio aquífero granular, de baixa permeabilidade. As observações de superfície e de sub-superfície permitiram observar que o manto de intemperismo é constituído de solos argilo-arenosos a argilo-siltosos, oriundos de gnáisses decompostos, de coloração amarela-ocre nos níveis mais próximos à superfície, passando a uma coloração amarela-avermelhada a rósea, a partir dos primeiros 5-10 metros. A maiores profundidades, entre os 20-30 metros ao longo do perfil vertical do terreno, a rocha decomposta apresenta uma tonalidade roxa-escura.

Não foi observado nos furos a trado, a profundidade do contacto entre a rocha decomposta e a rocha fresca. Na área em questão e em suas circunvizinhanças, em torno do citado morro da Rádio Ubaense, não se observou a ocorrência de afloramentos de rocha gnáissica fresca e tampouco a presença de fontes e nascentes, revelando sobremodo, a elevada profundidade do nível d'água subterrânea no local do aterro. Nos cortes dos taludes, a rocha decomposta preserva a sua estrutura original, bandada, com foliação de atitude N60W/50NE, observando-se também a presença de veios quartzosos com espessuras de até 30 cm, em geral concordantes com a xistosidade e às vezes discordantes, de pequena expressão em meso-escala. O gnáisse fresco da região de Ubá tem tonalidade cinza-escura; é rico em biotita, disposta em bandas de metamorfismo, apresentando neossomas ricos em quartzo leitoso.

O levantamento aerofotogeológico da área indica uma zona de fraturamento ao longo do vale do Lava-Pés, onde os traços desse córrego encontram-se superimpostos aos lineamentos estruturais. Fraturas secundárias, longitudinais à xistosidade, são pouco expressivas, descontínuas, e não ultrapassam o espigão do morro da Rádio Ubaense, indicando que este morro é pouco fraturado e com pequena área útil de recarga das águas pluviais.

3. ALIMENTAÇÃO, FLUXO E DESCARGA DO AQUÍFERO

Considerando-se a área total do aterro exposta à captação direta das águas pluviais de 1200m² aproximadamente, e uma pluviometria anual da ordem de 1200mm, ter-se-ia um volume de água precipitada ao mesmo, em torno de 1400m³/ano. Posto que a área útil atual utilizada desse aterro, correspondente aos dois septos isolados, é da ordem de 340m², cerca de 400m³/ano de água pluvial deverão ser precipitados sobre as pilhas de resíduos, ao longo de um ano hidrológico. Os restantes 1000m³/ano de água que caem na área não utilizada do aterro, serão pois drenados como simples água pluvial.

Tendo em vista as características granulométricas e litológicas do manto decomposto na base e no substrato do aterro, pode-se admitir que a capacidade de infiltração nesse material seja da ordem 0,5%. Logo, nas condições atuais do aterro, estima-se que, dos 1000m³/ano precipitados, algo em torno de 5m³/ano (1000 . 0,5%) de água pluvial não contaminadas serão infiltrados e que, dos 400m³/ano precipitados sobre as cavas de resíduos, cerca de 2m³/ano (400 . 0,5%) de água pluvial contaminada, serão aportados ao aquífero, por infiltração. Desse modo, diante da eventual possibilidade

de extravasamento dessas águas pluviais contaminadas, previu-se a instalação de tubulações (duas tubulações isoladas, sendo uma conectada ao tubo de 100mm da galeria filtrante e uma outra, à tubulação de drenagem da água pluvial dentro do aterro), com o escoamento das águas pluviais para a estação de tratamento dos efluentes da fábrica, conforme indicado na figura 1.

Encontra-se ilustrada na figura 3, a distribuição espacial das curvas isopiezométricas. O fluxo subterrâneo tem direção perpendicular às linhas de isopiezas e sentido para o vale do córrego Lava-Pés, em zona de descarga natural. O furo de sondagem T-10 perfurado no fundo do aterro, com 15m de profundidade, não atingiu o nível d'água, revelando uma espessa zona de aeração nessa faixa imediatamente subjacente ao mesmo, que se constituiu em uma zona predominante de recarga.

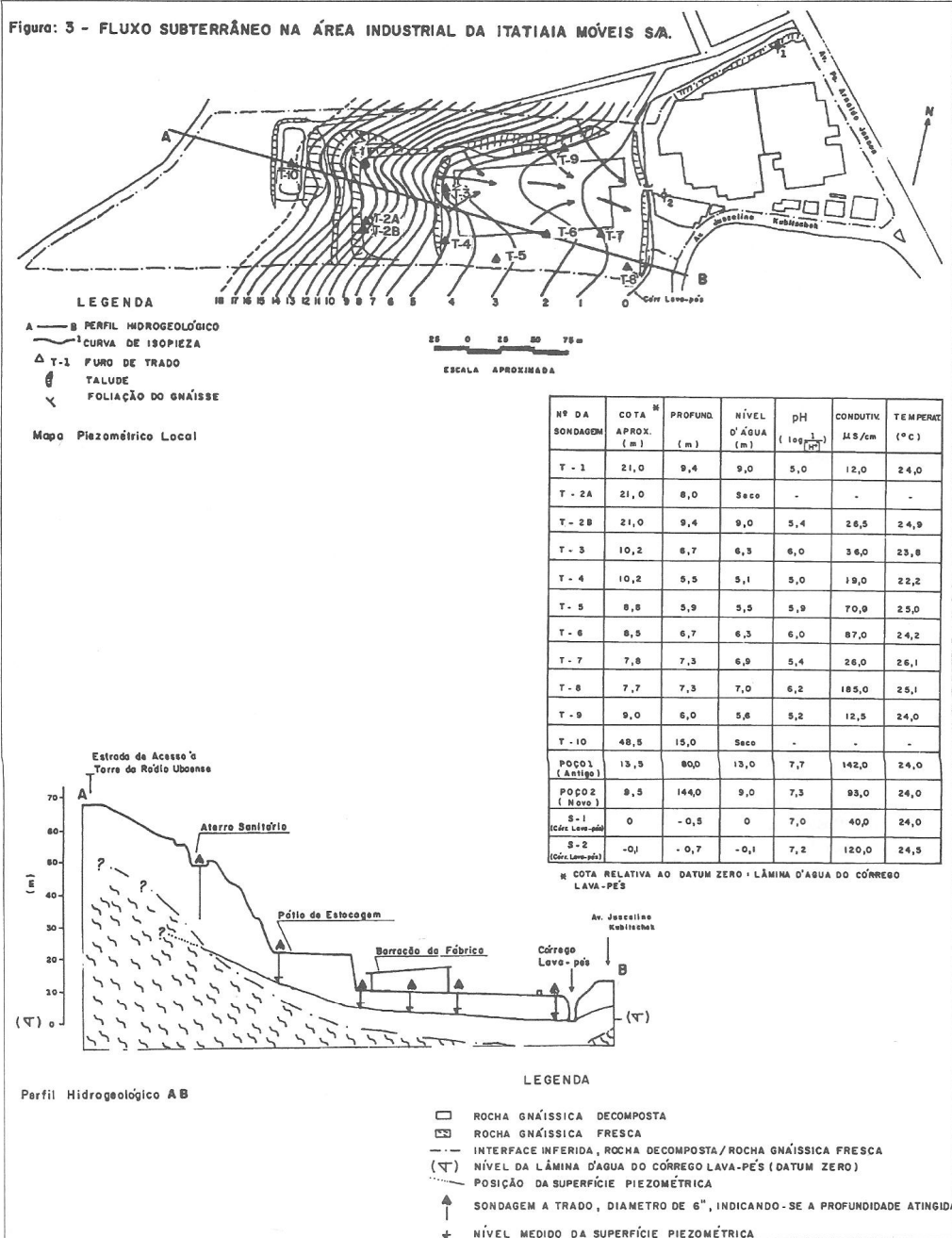
As águas de alimentação do fluxo subterrâneo têm origem pluvial e pequeno percurso, haja vista a sua baixa salinidade, com 12 a 36 micromhos/cm, valores encontrados nos pontos T-01, T-02, T-03 e T-04, próximos ao aterro sanitário. Os valores maiores de pH e de condutividade elétrica encontrados nas águas mais distanciadas da zona predominante de recarga, são produtos das interações químicas de contacto água/rocha (material decomposto), cujas águas subterrâneas possuem maior tempo de trânsito no aquífero. Possivelmente o sódio oriundo dos feldspatos caoliniticos e o ferro da biotita, sejam os cátions de maior aporte a essas águas pluviais. Os valores de pH e condutividade apresentam-se bem contrastados das medições efetuadas nas águas oriundas do córrego Lava-Pés e de dois poços tubulares explorados na área industrial, sob regime de intenso bombeamento. Isto significa que o regime de fluxo natural na margem esquerda do Lava-Pés, não é influenciado pelas explorações dos referidos poços, tal como sugerem as curvas de isopiezas ilustradas na figura 3.

4. POSSIBILIDADES DE CONTAMINAÇÃO DO FREÁTICO

Conforme visto anteriormente, admite-se um aporte de 2 a 7m³/ano de águas contaminadas, por infiltração de águas de chuvas, posto que o aterro se encontra a céu aberto. Desse volume infiltrado, admite-se portanto a lixiviação dos componentes de Cr⁺³, Cr⁺⁶, Zn e, eventualmente cianetos, existentes nas pilhas.

Alguns fenômenos modificadores da composição dessa água infiltrada podem entretanto ocorrer, durante a sua percolação na zona de aeração e na zona aquífera saturada.

Figura 3 - FLUXO SUBTERRÂNEO NA ÁREA INDUSTRIAL DA ITATIAIA MÓVEIS S.A.



Com relação pois, ao grau de contaminação da água subterrânea, é importante se considerar os efeitos de adsorção, de troca iônica, de precipitação química e de complexação com substâncias orgânicas, que deverão ocorrer, ao longo do percurso da água pluvial contaminada, lentamente infiltrada na zona insaturada do substrato do aterro. Como se prevê a disposição de resíduos orgânicos no aterro, esses não afetarão a qualidade da água subterrânea, haja vista a elevada espessura dessa zona de aeração. Estudos experimentais realizados por ROMERO (1970) apud CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), dão conta de que em espessuras superiores a 6 metros, os riscos de contaminação do freático por microorganismos são muito pouco prováveis. Ademais, seria recomendável a intercalação, da base para o topo do aterro, da matéria orgânica com os resíduos industriais, para facilitar a redução do Cr^{+6} , se existente, para o Cr^{+3} que é menos solúvel. É importante mencionar que o cromo hexavalente é um elemento fortemente oxidante, agindo portanto como um bactericida. O material argiloso constituinte do manto decomposto exerce, por sua vez, um papel muito importante na fixação dos metais pesados no solo, devido ao pequeno tamanho de suas partículas, tendo sido observado por CANTER et alii (1988) essa influência, quanto ao mercúrio, chumbo, níquel e ao zinco - elemento presente no aterro, na forma de $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Nesse contexto, experiências de FULLER (1977) apud CANTER et alii, op. cit., sobre o movimento de metais lixiviados em aterros sanitários, em solos mais representativos nos E.U.A., concluíram que a retenção do cromo e do zinco é influenciada, além de suas propriedades químicas próprias, pela baixa permeabilidade do solo e pela maior quantidade de argilas e de hidróxido de ferro presentes no solo. A adsorção do Cr^{+3} e do Zn pelas argilas, segundo GRIFFIN e SHIMF (1978) apud CANTER et alii, *ibid.*, é maior no meio de baixo pH do solo. Posto que o pH do solo na área em apreço está em torno de 4,5, tendo para 5 - 5,5 nos níveis inferiores do manto decomposto, pode-se admitir como mais provável uma tendência maior para a adsorção desses elementos no solo. Por outro lado, a adsorção do Cr^{+6} é menor nessas circunstâncias, fato que motivaria a pertinência de se dispor a matéria orgânica intercalada aos resíduos industriais no intuito de reduzi-lo para a valência 3, em que o cromo é menos solúvel. Esses autores ainda consideraram que para um meio de pH superior a 5,3, a precipitação dos cátions é o mecanismo mais importante, concomitante ao fenômeno de adsorção dos ânions. Os fosfatos de cálcio, presentes no aterro, são menos solúveis do que os de sódio; via de regra são quimicamente adsorvidos pelos minerais de ferro e de alumínio dos silicatos da rocha decomposta, sob ambientes fortemente ácidos a neutros. ALESII e FULLER (1976) apud CANTER et alii, *ibid.*, estudaram a lixiviação de cianetos, nas formas de KCN e $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ na água e em terrenos de aterro, concluindo que esses compostos, na água,

são bastante móveis, enquanto que nos solos lixiviados de aterros se apresentam com menor mobilidade, principalmente de clorita e argilas do tipo gibbsita, que têm elevadas cargas positivas.

Diante do exposto, é possível se prever uma baixa concentração final dos poluentes nas águas de infiltração, capazes de serem incorporadas ao aquífero e ao córrego Lava-Pés, por descarga natural.

As análises especiais aqui realizadas (CETEC, certificado nº 056-0158) nos pontos T-01 e T-02, revelaram ausência de cromo total solúvel (menor do que 0,05 mg/l, limite de detecção do método) e concentrações de zinco entre 0,06 mg/l (amostra T-02) e 0,08 mg/l (amostra T-01), que são compatíveis com os teores encontrados em águas subterrâneas naturais, segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (1976) e CANTER et alii (1988).

Considerando-se as características hidrogeológicas do manto intemperizado do gnáisse, estima-se que sua porosidade eficaz e permeabilidade tenham, respectivamente, valores próximos de 3% e $10^{-3}\text{m}/\text{dia}$. Como visto anteriormente, nas condições atuais do aterro, cerca de $2\text{m}^3/\text{ano}$ podem ser incorporados ao aquífero. A percolação desse volume, nos 15m da zona de aeração, realizar-se-á após um período de 40 anos. Considerando-se entretanto uma permeabilidade teórica, superestimada, de $10^{-2}\text{m}/\text{dia}$, em função de eventuais heterogeneidades do sub-solo (veios de quartzo, fissuras interconectadas à foliação/xistosidade do gnáisse decomposto), tal incorporação se daria após 4 anos. Nessa condição, o tempo de trânsito dessa água, até o ponto T-01, distante do aterro cerca de 50m, seria da ordem de 14 anos. Aplicando-se a lei de Darcy, nesse trecho, admitindo-se uma espessura média saturada de 3m em uma seção transversal de 100m, e um gradiente hidráulico de 0,2, obtém-se um fluxo da ordem de $0,6\text{m}^3/\text{dia}$, equivalente a cerca de $200\text{m}^3/\text{ano}$, isto é, cem vezes maior que o referido aporte de água contaminada. Considerando-se o caminho do fluxo preferencial da água subterrânea, desde esse ponto T-01, até a descarga no córrego Lava-Pés, o tempo de trânsito seria da ordem de 95 anos. Assim, estima-se que o tempo de trânsito total, desde a infiltração no substrato do aterro, até a descarga natural no Lava-Pés, seja em torno de 100 a 150 anos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, pode-se chegar às seguintes conclusões e recomendações:

- A escolha do local para a construção do aterro sanitário foi adequada, levando-se em conta a área disponível da fábrica. Dados de perfuração atestam existir uma espessa zona de aeração no substrato do aterro, superior a 15 m, o que facilita as ações dos fenômenos físico-químicos de adsorção, troca iônica, precipitação e complexação das argilas e minerais ferro-aluminosos do substrato com as águas contaminadas do aterro que vierem a se infiltrar, fato que minimiza as concentrações dos poluentes aportados às águas subterrâneas.
- Não existe atualmente, nos pontos T-01 e T-02 a jusante cerca de 50m do aterro, a contaminação do lençol freático por cromo e zinco, dados os resultados analíticos encontrados.
- Admitindo-se infiltrações no aterro, é estimado para a área atualmente utilizada, um aporte máximo de 2m³/ano ao aquífero. Considerando-se a área total do aterro, tal aporte seria da ordem de 7m³/ano. Face à baixa permeabilidade do substrato do aterro, estima-se para permeabilidade entre 10⁻³ a 10⁻²m/dia, um período entre 40 a 4 anos, respectivamente, para que tal aporte seja incorporado às águas subterrâneas. O tempo de trânsito relativo a um percurso de 50 metros, no aquífero, seria da ordem de 14 anos, considerando-se uma permeabilidade superestimada de 10⁻²m/dia. O volume aportado seria bastante pequeno em relação à água armazenada no aquífero, sendo exequível que a diluição resulte em baixas concentrações dos poluentes na água.
- A existência de uma galeria filtrante com um tubo de 100mm com escoamento para uma caixa coletora, constitui-se de particular interesse para se verificar as eventuais contaminações por infiltração no substrato do aterro, mediante a coleta e análise laboratorial dos fluidos escoados para a referida caixa. Quanto maior for a sua capacidade de drenagem, menor será o volume de água contaminada, aportada ao substrato do aterro.
- A disposição em septos isolados dentro do aterro tem procedimento adequado, na medida em que não ocorram extravasamentos das águas pluviais para fora das cavas, nas zonas ainda não utilizadas do aterro onde a água pluvial, não contaminada, é drenada por gravidade. Recomenda-se portanto especial atenção quanto à drenagem de eventual excesso d'água pluvial nas cavas das pilhas de resíduos, de modo a minimizar as infiltrações d'água contaminada.
- Recomenda-se que os resíduos industriais sejam dispostos no aterro intercalados com a matéria orgânica e com camadas de materiais argilosos, na forma de um "ciclotema" de células superpostas. A matéria orgânica teria a propriedade de formar compostos complexos com os metais e reduzir o Cr⁺⁶, se existente, para o Cr⁺³, menos solúvel. Quanto aos cianetos porventura existentes, os materiais argilosos intercalados também exerceriam o papel de reduzir, com maior propriedade, a sua mobilidade.
- Recomenda-se como medida de segurança e precaução, que seja construído um poço de coleta no ponto T-01 a jusante do aterro (figura 3), de modo que se possa dirimir eventuais dúvidas sobre o comportamento hidrodinâmico do substrato do aterro. Tal poço, de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, servirá para coletas e medições de background dos conteúdos de Cr⁺³, Cr⁺⁶, Zn e CN⁻, bem como o pH, DBO, coliformes totais e fecais. Tais medições, se recomendam sejam realizadas por pessoal e laboratório especializados, nos meses de setembro/outubro e abril/maio, que correspondem às épocas do final de estiagem e do final do período chuvoso, respectivamente. O poço de coleta aqui recomendado, de simples construção, deverá penetrar o máximo possível no aquífero (cerca de 3 a 5m seriam suficientes) e ser completado com filtros e pré-filtros, a exemplo do anteprojeto construtivo ilustrado na figura 4. As coletas e análises poderão ser concomitantes com as inspeções na caixa coletora, caso existir o escoamento de fluidos filtrados, oriundos da galeria filtrante. Essas inspeções deverão ser amiúdes, principalmente durante o período chuvoso. No caso de, realizadas as duas etapas de monitoramento no ponto T-01 aqui recomendadas e não ter sido detectada a presença dos constituintes de Cr⁺⁶, Cr⁺³, Zn, CN⁻, recomendar-se-ia como medida de extrema precaução, a continuidade desse monitoramento nos períodos de setembro/outubro e abril/maio, durante mais três anos consecutivos, findos os quais, estará preenchido o aterro, prevendo-se o seu recobrimento no topo por uma espessa camada de argila e recomposta a sua vegetação. A partir dessa data, o monitoramento poderá ser efetuado bianual ou quinzenalmente.
- Na eventualidade, pouco provável, de se constatar a presença dos constituintes tóxicos no poço T-01, sob concentrações não permissíveis, se recomenda a impermeabilização do fundo do aterro na sua parte de área útil ainda não utilizada, de modo a prevenir e minimizar

o impacto dessa infiltrações na qualidade das águas subterrâneas. Nesse caso, também se recomendaria a construção de um segundo poço de coleta, no ponto T-03, para monitoramento de Cr^{+6} , Cr^{+3} , Zn e CN.

- Não se recomenda o aproveitamento dos furos de sondagem e do poço de coleta T-01 para a exploração de água subterrânea. O bombeamento da água provocaria fortes gradientes hidráulicos, o que modificaria as condições atuais de fluxo natural da água subterrânea na margem esquerda do córrego Lava-Pés. Desse modo, existindo a necessidade de um terceiro poço de exploração, o mesmo poderá ser locado sobre lineamentos estruturais, próximos à margem do Lava-Pés, prevenindo-se o seu bombeamento a uma taxa da ordem de $10m^3/h$, sob regime permanente, ou seja, sob condições de recarga induzida.

6. AGRADECIMENTOS

Especiais agradecimentos ao eng^o João Carlos Balbi, superintendente da Itatiaia Móveis S.A.; ao seu staff e demais funcionários, pela infra-estrutura oferecida e pelas suas participações nos levantamentos de campo, de fundamental importância para a execução do presente trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUSTÓDIO, E.G. & LLAMAS, M.R. - Hidrologia Subterrânea. Ediciones Omega. Barcelona, Espanha, 1976. 2359 págs.
- CANTER, L.W., FAIRCHILD, D.M. & KNOX, R.C. - Ground Water Quality Protection. Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan, U.S.A., 1988. 562 págs.

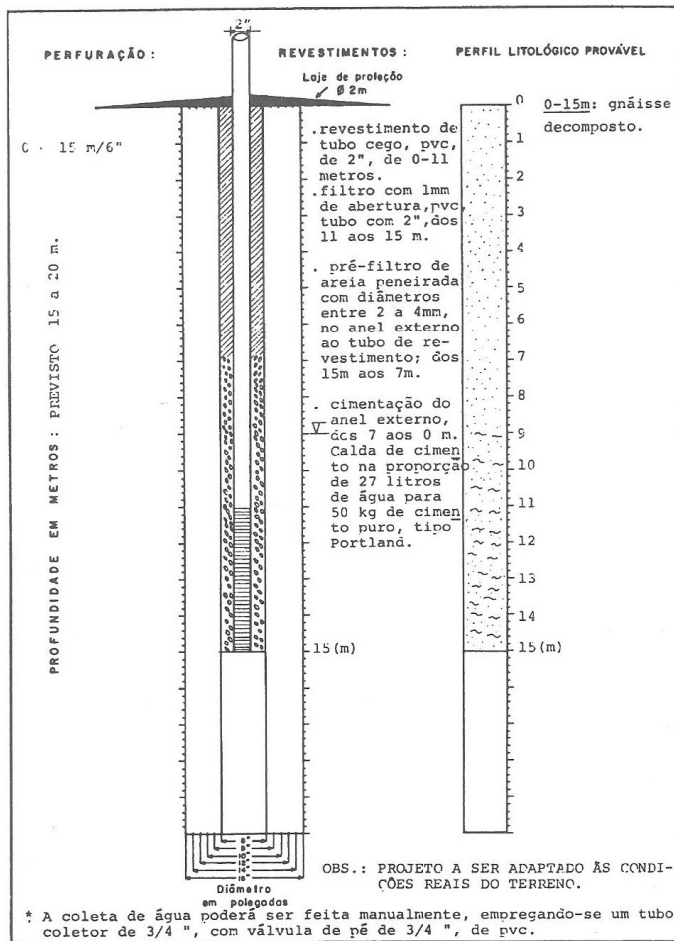


Figura 4: Anteprojeto construtivo de poço-padrão de coleta