

**AVALIAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE LÍQUIDOS CONTAMINANTES  
PERCOLADOS NOS POROS DO SOLO EM LOCAIS DE DISPOSIÇÃO DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS**

*Tânia Leme de Almeida<sup>1</sup> & Valdir Schalch<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- A permeabilidade do solo é um atributo físico de grande importância para a engenharia, sendo necessária a sua determinação nos trabalhos em que se tem movimento de água no solo. Vários são os atributos físicos do solo que influenciam nos valores do seu coeficiente de permeabilidade, sendo considerados de maior importância a densidade e a porosidade. Neste trabalho, objetivou-se verificar as correlações existentes entre os atributos físicos do solo com a permeabilidade em local de disposição de resíduos sólidos. Esses solos foram obtidos no Aterro Sanitário, localizada na cidade de São, Estado de São Paulo. Para a coleta desses solos, utilizou-se de um amostrador projetado especialmente para esta pesquisa, que apresentou uma boa eficiência na representatividade dos solos retirados. Os resultados do atributo físico do solo permeabilidade obtido descaracteriza este solo como local inadequado para dispor resíduos sólidos.

**ABSTRACT** --- The permeability of the soil is a physical attribute of great importance for engineering, being necessary its determination in the works where it has water movement in the soil. Several are the physical attributes of the soil that have influence in the values of the coefficient of permeability, being considered the most important ones the density and the porosity. This paper aimed at verifying the existing correlation between different physical attributes of the soil with the permeability at solid waste disposal. These soils were removed of the Landfill Waste, located in São Carlos city, São Paulo state, Brazil. For collecting those soils were used a sampler projected especially for this research, witch presented a good efficiency in the representation of removed soil, and comparing the results of the tests in laboratory with the field tests. The results of the physical attribute of the alone gotten permeability deprive of characteristics this ground as local inadequate to disposal solid waste.

**Palavras-chave:** permeabilidade, solos, resíduos sólidos.

---

1) Doutoranda em Hidráulica e Saneamento (PPG-SHS). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dep. Hidráulica e Saneamento. e-mail: [flalmeida@yahoo.com.br](mailto:flalmeida@yahoo.com.br)

2) Professor Associado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dep. Hidráulica e Saneamento-SHS Av. Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, SP, 13045-705. Centro. 13566-590. e-mail: [vschalch@sc.usp.br](mailto:vschalch@sc.usp.br)

# 1 - INTRODUÇÃO

A identificação e caracterização dos condicionantes geológicos e hidrogeológicos do meio constituem uma importante etapa nos estudos relacionados às conseqüências do descarte de resíduos. Inúmeros problemas presentes nos locais de disposição de resíduos sólidos podem ser estudados se as características do fluxo da água no solo não saturado forem conhecidas. Estes problemas vão desde a estabilidade de encostas até o projeto de coberturas e liners de aterros sanitários.

Um dos parâmetros que podem ser destacados, possuindo grande importância na compreensão da migração dos contaminantes no solo, é a condutividade hidráulica do meio.

Essa propriedade diz respeito à facilidade com que um fluido atravessa o meio poroso e, juntamente com outros importantes parâmetros geológicos, geotécnicos e geomorfológicos, caracteriza o meio físico em questão.

Tem influência direta na maior ou menor concentração de contaminantes, assim como na maneira com que a área responde à contaminação, uma vez que a água que percola o solo é o principal responsável pelo transporte dos possíveis contaminantes, e a direção do fluxo depende das direções e relações de anisotropia das condutividades hidráulicas principais do meio (TRESSOLDI e CONSONI, 1998).

Dentre estas características de fluxo está o coeficiente de permeabilidade (K) ou condutividade hidráulica, que é a taxa de infiltração de um fluido em um meio poroso. Segundo Stephens (1996) na zona não saturada este coeficiente varia em função das propriedades do meio poroso, das características do fluido e do teor de umidade volumétrica do material.

Quanto maior a umidade, maior a condutividade hidráulica, pois a área útil condutora de água vai se tornando menor à medida que o teor de água decresce. É, então, fácil constatar que na zona saturada, varia somente em função das propriedades do meio poroso e das características do fluido.

A permeabilidade é dependente de vários atributos do solo, principalmente da densidade, porosidade, macro e microporosidade (MESQUITA e MORAES, 2004).

A granulometria e a estrutura apresentam influência sobre o espaço poroso do solo, sua porosidade total e distribuição de poros, dificultando em maior ou menor intensidade o movimento da água (MESQUITA, 2001). Segundo Neves (1987), pode-se determinar o coeficiente de permeabilidade por diferentes maneiras: fórmulas empíricas; ensaios de laboratório (com o uso de permeâmetros), ou ensaios de campo.

Assim muitos métodos de ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados, com fins de redução de custos dos ensaios e o aperfeiçoamento dos aparelhos de medição em campo, tornando-os mais práticos e de fácil utilização.

No caso de aterros o conhecimento da permeabilidade possibilita o desenvolvimento de projetos mais econômicos e adequados, bem como melhores soluções no que se refere à recuperação e remediação de aterros existentes.

A velocidade em que ocorre este fenômeno deve ser estudada para os diferentes tipos de solos, condicionados a diferentes tipos de condições de manejo e finalidade de utilização.

## 2 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A condutividade hidráulica é um parâmetro que oscila em função de algumas características do local. Quanto menor a condutividade hidráulica menor a velocidade de migração do contaminante, ou seja, menor volume contaminado e mais tempo para a degradação biológica e para as intervenções necessárias à remediação. O seu valor poderá ser alterado tanto positivamente (precipitação de solutos) quanto negativamente (dissolução de cimentação). Normalmente, é quantificada pelo coeficiente de permeabilidade ( $k$ ), que representa a velocidade com que os fluidos percolam.

A mineralogia das argilas é um fator importante influenciando neste transporte de contaminantes, uma vez que as propriedades típicas das argilas são função basicamente dos argilominerais. As diversas espécies de argilominerais influenciam, diferentemente, o comportamento dos solos, no que diz respeito à capacidade de adsorção, atividade e condutividade hidráulica. As espécies de argilominerais que determinam os extremos das propriedades dos solos são a caulinita e a montmorilonita. Assim, solos com predominância de caulinita possuem menor capacidade de troca catiônica, menor atividade e maior condutividade hidráulica do que solos com montmorilonita (ELBACHÁ, 1989).

Zuquete (1987) adota para o mapeamento geotécnico a classificação da permeabilidade como:

- ALTA - Materiais permeáveis  $k > 10^{-3}$  cm/s
- RAZOÁVEL - Materiais semi-permeáveis  $10^{-3} > k > 10^{-5}$  cm/s
- BAIXA - Materiais impermeáveis  $k < 10^{-5}$  cm/s

De acordo com o apresentado a seguir foram estabelecidas por alguns autores algumas faixas de interesse para a escolha de área para destinação:

- $k > 10^{-2}$  cm/s: materiais que devem ser evitados por serem mais propícios à infiltração dos percolados, podendo os mesmos atingir o lençol freático em curto espaço de tempo, além de, no geral, possuírem baixos valores de CTC; (ZUQUETE, 1987).
- $4 \times 10^{-3}$  cm/s  $< k < 7 \times 10^{-4}$  cm/s: materiais mais indicados (ZUQUETE, 1987). Essa faixa de permeabilidade seria característica de areias argilosas, possuindo também, valores aceitáveis de CTC;
- $10^{-2}$  cm/s  $< k < 10^{-6}$  cm/s: obrigatoriamente os materiais deveriam estar situados nessa faixa de permeabilidade, sendo os mais indicados os que se situem entre  $10^{-4}$  e  $10^{-5}$  cm/s (ZUQUETE, 1987) por combinar de forma mais adequada a permeabilidade e CTC.

Portanto, mostra-se necessário que na etapa de seleção da área, levantamentos geológicos, pedológicos e geotécnicos devem ser realizados para auxiliar na definição das condições favoráveis e desfavoráveis à implantação do sistema de disposição final na área.

Depois de definida a área, no entanto, uma investigação mais detalhada é realizada para definir com maior precisão o perfil de subsolo local, pois as características do meio influenciam nas definições de projeto dos sistemas de contenção.

Parte-se, então para uma definição da litologia local com a verificação de ocorrência de fraturas ou falhas nas rochas subjacentes, e do perfil de subsolo, com a verificação da estratigrafia e variações importantes das características físicas dos solos, tais como espessura, textura, granulometria e condutividade hidráulica.

Com o detalhamento conseguido nestes estudos pode-se então compreender os fatores que condicionam o fluxo de subsuperfície e conhecer as características dos materiais disponíveis visando sua aplicação na construção do sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos.

E assim, a caracterização geológico-geotécnica apresenta potencial para avaliar o risco de contaminação de um eventual vazamento, selecionar materiais e técnicas mais apropriadas para a execução dos revestimentos minerais, dimensionar os sistemas de drenagem e camadas de revestimento de base e cobertura, identificar o comportamento hidrogeológico e posicionar adequadamente os poços de monitoramento.

Estes estudos geológico-geotécnicos são realizados com base em furos de sondagens que possibilitam avaliar as variações texturais dos materiais de subsuperfície.

A sondagem pode ser realizada com trados manuais ou mecanizados, por equipamento de ensaio de penetração (SPT), ou ainda por uma sonda rotativa, aplicável a estratos rochosos. É prática usual aproveitar a escavação de um furo de sondagem para a construção de um poço de monitoramento ou piezômetros.

Assim o diâmetro da perfuração deve ser compatível com a necessidade de instalação de revestimentos permanentes ou com o diâmetro dos poços de monitoramento. Durante a execução da sondagem são coletadas amostras deformadas para a caracterização do material.

Com o conhecimento das características do solo local pode-se escolher o sistema de impermeabilização de laterais e fundos das trincheiras. Dados como teor de umidade, granulometria, textura, consistência, espessura, cor, classificação, peso específico, índice de vazios, condutividade hidráulica, parâmetros de compactação, capacidade de campo, bem como estimativa da capacidade de carga, da compressibilidade e da resistência dos solos são informações que podem ser obtidas em uma campanha de investigação geotécnica.

No que se refere aos ensaios de caracterização das amostras de solo, algumas das principais normas técnicas são:

Análise granulométrica (NBR 7181/84)

Limite de liquidez (NBR 6459/84)

Limite de plasticidade (NBR 7180/84)

Ensaio de permeabilidade (NBR 14545/2000)

Ensaio de peso específico real dos grãos (NBR 6508/84)

Em uma área que apresente um solo com maior condutividade hidráulica permitirá mais facilmente a passagem do lixiviado pelo solo, potencializando o risco de poluição das águas. Como já visto anteriormente, solos com baixa condutividade hidráulica (menor que  $10^{-4}$  cm/s) apresentam maior potencial de utilização como camadas de impermeabilização de laterais e fundo do aterro sustentável.

Portanto o objetivo do ensaio de condutividade hidráulica é verificar que solos presentes no local de disposição de resíduos sólidos possam ser compactados de forma a atingir a condutividade hidráulica desejada usando energia de compactação razoável.

### **3 – MATERIAIS E MÉTODOS**

Este ensaio teve por fim conhecer o tempo de movimentação de um líquido no solo do local de disposição de resíduos sólidos, de forma a procurar representar esta mesma velocidade no laboratório durante o Teste de Percolação. Ou seja, este ensaio será necessário para definir a velocidade de percolação do chorume nas colunas em laboratório.

O ensaio de condutividade hidráulica no local do aterro sanitário foi feito pelo geólogo da empresa “GEOINVEST INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS LTDA” já anteriormente contratada para execução do ensaio de sondagem a trado. Este ensaio foi executado conforme recomendações contidas no Boletim nº 4 de junho de 1996, da ABGE (“ENSAIOS DE PERMEABILIDADE EM SOLOS – Orientações para sua Execução no Campo”). E como já relatado anteriormente fez-se a

visita de reconhecimento no campo para definição dos pontos a serem perfurados para executar o ensaio de permeabilidade.

Após a análise da área e conforme o ensaio de sondagem a trado, neste foram feitos apenas dois furos para execução do teste. Desta forma os outros dois furos estão localizados na base do aterro sanitário, onde foram feitos os furos de sondagem a trado.

Neste ensaio de infiltração, o valor foi obtido através da medida do volume de água absorvido pelo solo (carga constante), ou seja, pelo rebaixamento do nível da água na boca do furo observado, a cada minuto, totalizando um total de 20 medidas, até se atingir a estabilidade do nível. E, após cálculos matemáticos, obtém-se o referido coeficiente para cada intervalo ensaiado ao longo do furo ou poço.

O ensaio utilizou-se como equipamentos tambor com capacidade de aproximadamente 80 litros, régua graduada, mangueira plástica flexível, registro com roscas e ligações e planilha para anotação dos resultados de rebaixamento do nível de água.

Estes equipamentos em seu conjunto compõem o permeâmetro o qual apresenta carga hidráulica constante que tem por fim medir a condutividade hidráulica de campo acima do lençol freático.

Algumas das vantagens deste método de campo são: a leveza do aparelho, a facilidade de poder ser operado por uma única pessoa, a rapidez dos ensaios e a pouca quantidade de água por ensaio.

Após algum tempo, que depende da umidade antecedente do solo e da sua textura, uma pequena área em torno do furo ficará saturada e, então, o fluxo torna-se constante. Este valor de fluxo é utilizado no cálculo da permeabilidade.

Durante o ensaio, na verdade, não é conseguida a saturação total, e sim uma chamada saturação de campo, pois no campo não se consegue expulsar completamente o ar dos vazios. Isto não chega a ser uma desvantagem visto que a saturação total é muito difícil de ser atingida em uma situação real. Logo a condutividade obtida será a condutividade hidráulica da saturação de campo ( $K_{fs}$  – hydraulic conductivity at field saturation).

Este ensaio apresenta capacidade de medir a condutividade entre  $10^{-2}$  e  $10^{-6}$  cm/s. Abaixo ou acima destas ordens de grandeza, as medições apresentam erros ou não se consegue realizar o ensaio.

Neste ensaio a recarga de água no furo está submetida a três tipos de fluxo: um de pressão radial ao longo das paredes e dois verticais na base, um de pressão e outro gravitacional. Ao considerar a variação destes fluxos ao longo da base e das paredes do furo, desenvolveu-se um método semi-analítico e numérico para a estimativa da permeabilidade saturada de campo. Mas, para a aplicação destes métodos, algumas condições têm que ser consideradas:

- Meio poroso rígido, homogêneo e isotrópico;
- Fluxo em regime permanente;
- Domínio de fluxo em um semi-espaço infinito.

### *Fundamentos operacionais*

#### **PONTO 1**

No local para instalação dos equipamentos a serem utilizados no ensaio foi feita uma limpeza no terreno.

Assim procedeu-se neste primeiro ponto o início da perfuração. Fez-se o furo com a profundidade desejada com auxílio de um trado manual e mediu-se a profundidade atingida.

A perfuração resultou em um furo se com diâmetro médio de 6,15 cm e uma profundidade de 1,50 metros.

Depois, trocou-se a ponta de perfuração do trado por uma de limpeza, que tem por função nivelar a base do furo e regularizar as paredes do furo.

Após a medição da profundidade do furo e este pronto, iniciou-se a montagem dos equipamentos que compõem o permeâmetro.

Ou seja, no tambor conectou-se uma torneira a qual esta acoplada a uma mangueira plástica maleável, que tem por finalidade levar água deste para o furo. Também no tambor, colocou-se uma régua graduada a qual mede a altura de água rebaixada para o furo.

Após a montagem pronta, preencheu o tambor com água até o nível máximo da graduação da régua, para então colocar a mangueira do permeâmetro no furo. Deixou-se que a água enchesse completamente as mangueiras. Sendo prudente nesse momento a verificação da presença de possíveis vazamentos nas roscas e ligações.

Encheu-se o furo de água até a boca, tomando-se este instante como tempo zero. O nível de no furo foi mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada, medindo-se o volume de água introduzido durante um certo intervalo de tempo (vazão).

Como este ensaio foi realizado acima do nível de água do terreno, o nível de água do furo foi mantido na boca estável por 10 minutos para saturação. Interrompeu-se o fornecimento de água tomando-se este instante como zero, e a intervalos curtos de 1 minuto acompanhou-se o rebaixamento do nível de água no furo.

Portanto, dado o início do ensaio, após 1 minuto começou-se a fazer as leituras em intervalos constantes de tempo, estabelecidos como 1 minuto, através da régua graduada presente no tambor.

Anotou-se na folha de ensaio o tempo, a variação do nível da água no tambor até se estabelecer um rebaixamento constante (nível de água no furo, praticamente estável).

Quando as diferenças das medidas entre as leituras se tornaram constantes o ensaio foi finalizado. É necessário que as diferenças se tornem iguais por três ou mais leituras consecutivas. Ou seja, recomenda-se que o ensaio seja dado por concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou 30 minutos do ensaio.

Assim, após a finalização do ensaio, é aconselhável a elaboração de um gráfico com os dados obtidos, onde sejam lançados na abscissa o tempo, e na ordenada o volume acumulado ou vazão.

Tal gráfico possibilita a observação da estabilização da vazão que é caracterizada por uma reta. Essa é a vazão que será utilizada no cálculo de permeabilidade (vazão constante).

Esse gráfico possibilita a observação da estabilização do nível da água no furo e a vazão correspondente necessária para manter o rebaixamento constante, a qual será usada no cálculo da permeabilidade juntamente com o rebaixamento atingido.

## **PONTO 2**

Neste ponto, iniciou-se a perfuração para dar continuidade ao início do ensaio neste novo ponto.

Assim procedeu-se neste segundo ponto o início da perfuração. Fez-se o furo com a profundidade desejada com auxílio de um trado manual e mediu-se a profundidade atingida. Novamente, repetindo a profundidade do ponto anterior procurou-se fazer um furo com aproximadamente 1 metro de profundidade.

Depois, trocou-se a ponta de perfuração do trado por uma de limpeza, que tem por função nivelar a base do furo e regularizar as paredes do furo.

Após a medição da profundidade do furo e este pronto, iniciou-se a montagem dos equipamentos que compõem o permeâmetro..

Ou seja, no tambor conectou-se uma torneira a qual esta acoplada uma mangueira plástica maleável, que tem por finalidade levar água deste para o furo. Também no tambor, colocou-se uma régua graduada a qual mede a altura de água rebaixada para o furo.

Mas observou-se que no início do enchimento do furo com água, o solo presente na parede deste furo desbarrancou, devido às características físicas do solo, como pode ser observado na Figura 57 a seguir.

Assim optou-se por desmanchar as estruturas estabelecidas neste local e iniciar a montagem em outro ponto próximo a este.

Portanto iniciou-se uma nova perfuração para dar continuidade ao início do ensaio em um ponto ao lado do anterior.



Assim procedeu-se novamente o início de uma nova perfuração. Fez-se o furo com a profundidade desejada com auxílio de um trado manual e mediu-se a profundidade atingida. Novamente, repetindo a profundidade dos pontos anteriores procurou-se fazer um furo com profundidade de aproximadamente 0,90 metro.

Depois, trocou-se a ponta de perfuração do trado por uma de limpeza, para nivelar a base do furo e regularizar as paredes do furo.

Assim, procurou acertar o furo colocando um pouco de água para compactá-lo e impedir que novamente este desbarrancasse.

Assim, após o furo preparado iniciou-se a montagem dos equipamentos que permitem o estudo da permeabilidade.

Com a montagem pronta, preencheu o tambor com água até o nível máximo da graduação da régua, para então colocar a mangueira do permeâmetro no furo.

Deixou-se que a água enchesse completamente as mangueiras. Sendo prudente nesse momento a verificação da presença de possíveis vazamentos nas roscas e ligações.

Encheu-se o furo de água até a boca, tomando-se este instante como tempo zero. O nível de no furo foi mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada, medindo-se o volume de água introduzido durante um certo intervalo de tempo (vazão).

Como este ensaio foi realizado acima do nível de água do terreno, o nível de água do furo foi mantido na boca estável por 10 minutos para saturação. Interrompeu-se o fornecimento de água tomando-se este instante como zero, e a intervalos curtos de 1 minuto acompanhou-se o rebaixamento do nível de água no furo.

Portanto, dado o início do ensaio, após 1 minuto começou-se a fazer as leituras em intervalos constantes de tempo, aqui estabelecidos como 1 minuto, através da régua graduada presente no tambor.

Anotou-se na folha de ensaio o tempo, a variação do nível da água no tambor até se estabelecer um rebaixamento constante (nível de água no furo, praticamente estável).

Quando as diferenças das medidas entre as leituras se tornaram constantes o ensaio foi finalizado. É necessário que as diferenças se tornem iguais por três ou mais leituras consecutivas. Ou seja, recomenda-se que o ensaio seja dado por concluído quando o rebaixamento atingir 20% da carga inicial aplicada ou 30 minutos do ensaio.

Assim, após a finalização do ensaio, elaborou-se um gráfico com os dados obtidos, que foram lançados na abscissa o tempo, e na ordenada o volume acumulado ou vazão.

Tal gráfico possibilitou a observação da estabilização da vazão que é caracterizada por uma reta. Essa é a vazão que será utilizada no cálculo de permeabilidade (vazão constante).

Esse gráfico possibilitou a observação da estabilização do nível da água no furo e a vazão correspondente necessária para manter o rebaixamento constante, a qual será usada no cálculo da permeabilidade juntamente com o rebaixamento atingido.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### PONTO 1

#### Curva da vazão em função do tempo no Ponto 1

Tabela 1 – Valores de Vazão com o tempo no Ponto 1

<b>TEMPO ACUMULADO ( min )</b>	<b>VOLUME ACUMULADO ( L )</b>
1	4,84
2	9,54
3	14,38
4	18,93
5	23,32
6	27,86
7	32,35
8	36,79
9	41,33
10	45,57
11	49,66
12	53,90
13	57,83
14	62,07
15	66,31
16	69,80
17	77,21
18	77,21
19	77,21
20	77,21

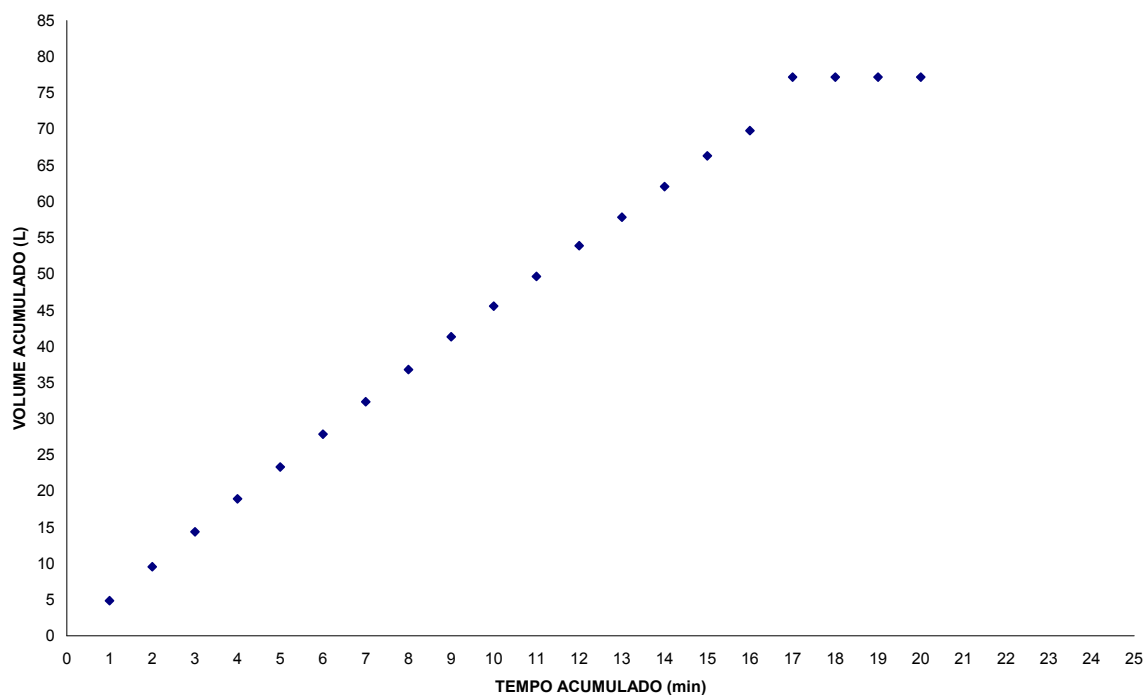


Figura 1 – Variação da Vazão com o tempo no ponto 1

Tabela 2 – Medidas conseguidas durante o ensaio no Ponto 1

<b>COLUNA DE ÁGUA</b>	<b>VALORES</b>
Altura(m)	1,5
Pressão( Kg/cm <sup>2</sup> )	0,15
Vazão (L/min)	4,3154
Absorção ( L/m.min)	2,8769
PE(L/m.min kg/cm <sup>2</sup> )	19,1796
Fator de correção	6,77 e <sup>-05</sup>
K (cm/s)	1,298 e <sup>-03</sup>

O solo aqui estudado é destinados para a disposição de resíduos sólidos, onde a percolação deve ser considerado com maior atenção, sendo um fator importante a ser considerado, pois precisa-se verificar a eficiência das barreiras de contaminantes, para o cálculo do balanço hídrico e para o estudo de inúmeros problemas geotécnicos como, por exemplo, a estabilidade de encostas (ABREU,2000).

Este é um solo de característica arenosa, no qual apresenta alta condutividade hidráulica e baixa capacidade de sorção dos contaminantes nas suas partículas, não podendo ser usado como barreiras naturais e dificultando sua migração.

Conforme Abreu (2000) apresenta valores de permeabilidade determinados por diversas formas e autores, bem como em locais diferentes podendo-se observar que a permeabilidade em aterros de lixo varia aproximadamente entre  $10^{-4}$  a  $10^{-8}$  m/s.

Assim este local amostrado tem  $K \text{ (cm/s)} = 1,298 \text{ e}^{-03}$  o que represente uma permeabilidade alta, ou seja composta de materiais permeáveis  $k > 10^{-3} \text{ cm/s}$ , os quais devem ser evitados por serem mais propícios à infiltração dos percolados, podendo os mesmos atingir o lençol freático em curto espaço de tempo, além de, no geral, possuírem baixos valores de CTC.

## PONTO 2

### Curva da vazão em função do tempo no Ponto 2

Tabela 3 – Valores de Vazão com o tempo no Ponto 2

TEMPO ACUMULADO (min)	VOLUME ACUMULADO (L)
1	0,76
2	1,51
3	2,27
4	3,03
5	3,79
6	4,39
7	4,90
8	5,70
9	6,30
10	6,90
11	7,60
12	8,00
13	8,60
14	8,93
15	9,39
16	9,99
17	10,45
18	10,75
19	11,20
20	11,36

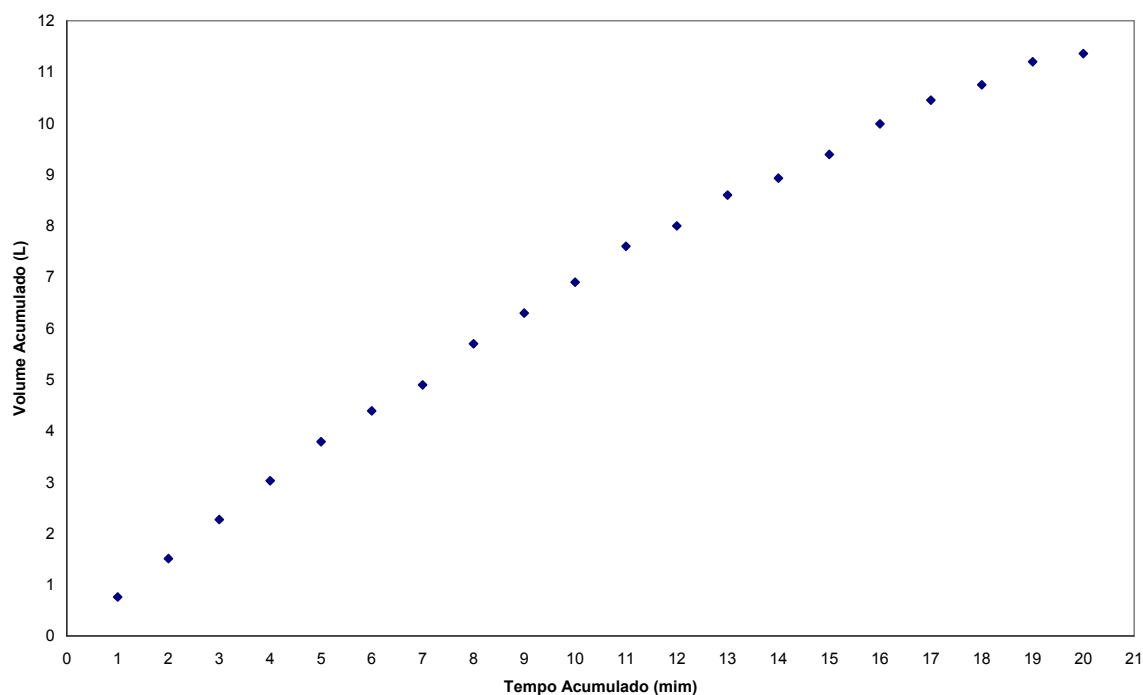


Figura 2 – Variação da Vazão com o tempo no ponto 2

Tabela 4 – Medidas conseguidas durante o ensaio no Ponto 2

COLUNA DE ÁGUA	VALORES
Altura(m)	0,90
Pressão( Kg/cm <sup>2</sup> )	0,090
Vazão (L/min)	0,757
Absorção ( L/m.min)	0,8411
PE(L/m.min kg/cm <sup>2</sup> )	9,3457
Fator de correção	5,8 e <sup>-05</sup>
K (cm/s)	5,467e <sup>-04</sup>

Conforme o ponto anterior, alocado na área de disposição de resíduos sólidos, onde a percolação tem maior probabilidade de ocorrer, e se esta ocorrer deve ter um solo que suporte tal fenômeno, segurando este contaminante, para que este não percole no perfil podendo atingir os recursos hídricos.

Portanto este deve ser considerado com maior atenção, , pois precisa-se verificar a eficiência das barreiras de contaminantes, para o cálculo do balanço hídrico e para o estudo de inúmeros problemas geotécnicos como, por exemplo, a estabilidade de encostas (ABREU,2000).

Este é um solo de característica arenosa, no qual apresenta alta condutividade hidráulica e baixa capacidade de sorção dos contaminantes nas suas partículas, não podendo ser usado como barreiras naturais e dificultando sua migração.

Conforme Abreu (2000) apresenta valores de permeabilidade determinados por diversas formas e autores, bem como em locais diferentes podendo-se observar que a permeabilidade em aterros de lixo varia aproximadamente entre  $10^{-4}$  a  $10^{-8}$  m/s.

Assim este local amostrado tem  $K$  (cm/s) =  $5,467e^{-04}$  o que represente uma permeabilidade medianamente alta, mas que devem ser evitados por serem propícios à infiltração dos percolados, podendo os mesmos atingir o lençol freático em curto espaço de tempo, além de, no geral, possuírem médios valores de CTC.

## 5 – CONCLUSÕES

- O solo amostrado do aterro sanitário do município de São Carlos possui a capacidade de depuração e imobilizar impurezas nele depositadas, ou seja, para retenção os contaminantes presentes no chorume, apesar de ser classificado como arenoso e de suas características amostradas, como a permeabilidade do solo não se enquadrarem nos parâmetros adequados para sua utilização em áreas de disposição de resíduos sólidos urbanos. Essas características podem ser melhoradas através de sua mistura com geossintéticos, o que acarreta certa economia na construção de camadas impermeabilizantes, dispensando o uso de argilas e evitando o transporte de locais distantes do aterro;
- A capacidade atenuadora do solo é limitada, podendo ocorrer alteração de sua qualidade, devido ao efeito acumulativo da deposição dos poluentes ocorrida ao longo da percolação com o chorume;

## BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). NBR 7180: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ (1984). NBR 6459: *solo: determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ (1984a) NBR 7181 – *Solo - Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro: 13 p.

\_\_\_\_\_ (1984b). NBR 6508 – *Solos: determinação de massa específica*. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_ (2000). NBR 14545. *Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro.

ABREU, R. C. (2000). *Compressibilidade de Maciços Sanitários*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, USP.

- ELBACHÁ, A. T. (1989) - *Estudo da Influência de Alguns Parâmetros no Transporte de Massa em Solos Argilosos*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio. 178 pp.
- MESQUITA, M. G. B. F. *Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo*. 2001. 110 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. *A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, maio/jun. 2004.
- NEVES, M. *Estudo da permeabilidade do solo colapsível da região de São Carlos*. 1987. 138 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.
- STEPHENS, D. B. *Vadose Zone Hydrology*. Lewis Publishers, 1996.
- TRESOLDI, M.; CONSONI, A J. (1998). *Disposição de resíduos*. In “ABGE: Geologia de Engenharia”, Oliveira, A M.S. e Brito, S. N. A (Eds), CNPq / Fapesp, São Paulo, pp. 343-360.
- ZUQUETTE, L.V. - *Análise e proposta metodológica sobre cartografia geotécnica para condições brasileiras*, Tese de Doutorado, 3 volumes, EESCUSP, São Carlos, 1987