

UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO GUELPH NA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DA ZONA NÃO-SATURADA DO AQUÍFERO FREÁTICO NAS IMEDIAÇÕES DO LIXÃO DE LONDRINA – PR

André Celligoi¹; Rodrigo Vitor Barbosa Sousa²; Hugo Reis Medeiros³; Diogo Lamônica⁴; Andressa de Cássia Machado⁵

Resumo

Esse trabalho se baseia em ensaios realizados com permeâmetro Guelph, modelo 2800, nas adjacências do lixão de Londrina, cuja finalidade foi determinar a condutividade hidráulica da zona não-saturada. Os testes foram executados ao lado de dois poços de monitoramento (PM) PM 2 e PM 11 respectivamente. A metodologia utilizada se deu através de trabalhos de campo para reconhecimento da área e através da utilização do permeâmetro, para o cálculo da condutividade. Com relação aos métodos tradicionais de sondagens, esse instrumento tem como principal vantagem a determinação da condutividade hidráulica *in situ*, demandando no máximo duas pessoas para o seu manuseio, dispensando análises laboratoriais para a obtenção dos resultados. Os resultados forneceram valores de condutividade hidráulica entre $2,5 \times 10^{-3}$ e $4,0 \times 10^{-4}$ cm/s, concordando relativamente com ensaios realizados em 2000.

Palavras – Chave: Lixão de Londrina, Condutividade Hidráulica, Permeâmetro Guelph.

Abstract

This work is based in Guelph permeameter tests, model 2800, at Londrina landfill, aiming to determinate the hydraulic conductivity of the unsaturated zone. Tests were made near two monitoring groundwater wells (PM) PM2 and PM11, respectively. The utilized methodology was through field geology in order to recognize the area and to utilize the permeameter to calculate the hydraulic conductivity. This instrument allows the determination of the hydraulic conductivity *in situ*, requiring only two persons to do it. The results were $2,5 \times 10^{-3}$ e $4,0 \times 10^{-4}$ cm/s, agreeing

¹ Professor Adjunto do departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina – PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216 e-mail: celligoi@uel.br.

² Bolsista de Iniciação Científica/IC, da Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina – PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216. e-mail: ro_vitorgeo@yahoo.com.br.

³ Graduando do curso de Geografia da Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina – PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216. e-mail: gohu-nc@bol.com.br.

⁴ Graduando do curso de Geografia da Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina – PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216. diogolamonica@hotmail.com.

⁵ Bolsista de Iniciação Científica/IC, da Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina – PR. Fone: (43) 3371-4316. Fax: (43) 3371-4216. e-mail: adressamor22@hotmail.com.

relatively with tests made in 2000.

Keywords: Londrina landfill, hydraulic conductivity, Guelph Permeameter

1 - Introdução

Os lixões não controlados ou lixões a céu aberto são responsáveis por vários impactos ambientais, entre eles a geração de resíduos como o chorume que, ao infiltrar no solo, pode alcançar e poluir um dos recursos naturais mais importantes para o homem, as águas subterrâneas.

O objetivo desse trabalho consiste em demonstrar ensaios realizados nas imediações do lixão de Londrina – PR, cuja intenção foi quantificar o valor da condutividade hidráulica (k) da zona não-saturada. Levando-se em consideração que o trabalho foi realizado em um lixão, a zona não-saturada assume grande importância, já que durante a percolação do chorume a mesma comporta-se como um filtro, retardando a migração de poluentes até a zona saturada.

A metodologia escolhida para a realização desse trabalho baseou-se em trabalhos de campo para reconhecimento e escolha dos locais a serem executados os testes e na utilização do permeâmetro Guelph, modelo 2800, instrumento que permite a quantificação da condutividade hidráulica *in situ* através de carga constante dispensando métodos geofísicos tradicionais.

Primeiramente serão dadas algumas informações a respeito da área de estudo, como área e localização. Posteriormente será tratado sobre os aspectos geológicos, pedológicos e hidrogeológicos do ponto de vista regional. Na seqüência serão abordados alguns aspectos em relação à infiltração da água no solo e em seguida comentados sobre a metodologia utilizada em campo. Por ultimo será apresentado os resultados do trabalho e feitas algumas considerações finais sobre o mesmo.

2 - Área de Estudo

A cidade de Londrina está localizada no sul do Brasil e norte do Estado do Paraná, localizando-se a leste da área central da cidade a área de estudo. O lixão de Londrina tem acesso pela estrada Água do Limoeiro, lote 23 da gleba Cambe e está situada entre as coordenadas UTM leste-oeste 488940 – 489810 e norte-sul 7417715 – 7419083 (ver Figura 1).

Segundo (FUSCALDO, 2001) A deposição de resíduos sólidos vem sendo feita nesse local desde 1977, sendo sua área estimada em 192.640 m². Geomorfologicamente situa-se entre 480 e 560 m de altitude e ocupa uma porção a montante do vale da micro-bacia do córrego dos Periquitos, correspondente a sua área de recarga, ficando também próximo à suas nascentes.

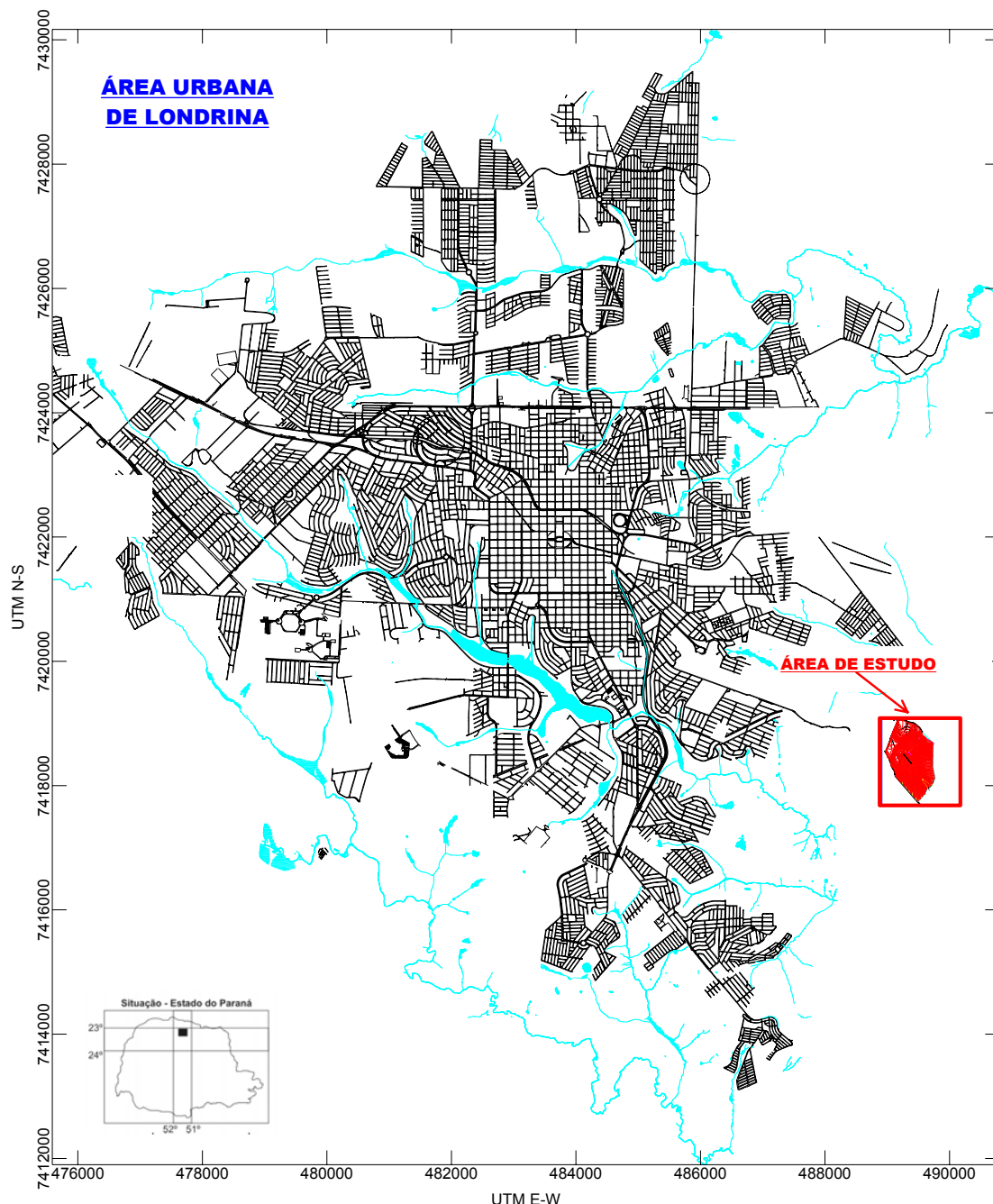


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo (Organizado por André Celligoi)

3 - Aspectos geológicos e pedológicos

Segundo (REBOUÇAS, 1978) a região de Londrina encontra-se geologicamente sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral (ver Figura 2). Esta formação ocorre em toda área estudada exceto no fundo dos grandes vales onde ocorre a deposição de sedimentos trazidos pelos rios da região. A Formação Serra Geral é composta por basaltos pretos a cinza escuros, de estrutura maciça ou vesicular, fraturados e com manto de intemperismo muito pouco presente em algumas localidades, até cerca de 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente (apud CELLIGOI, 1994).

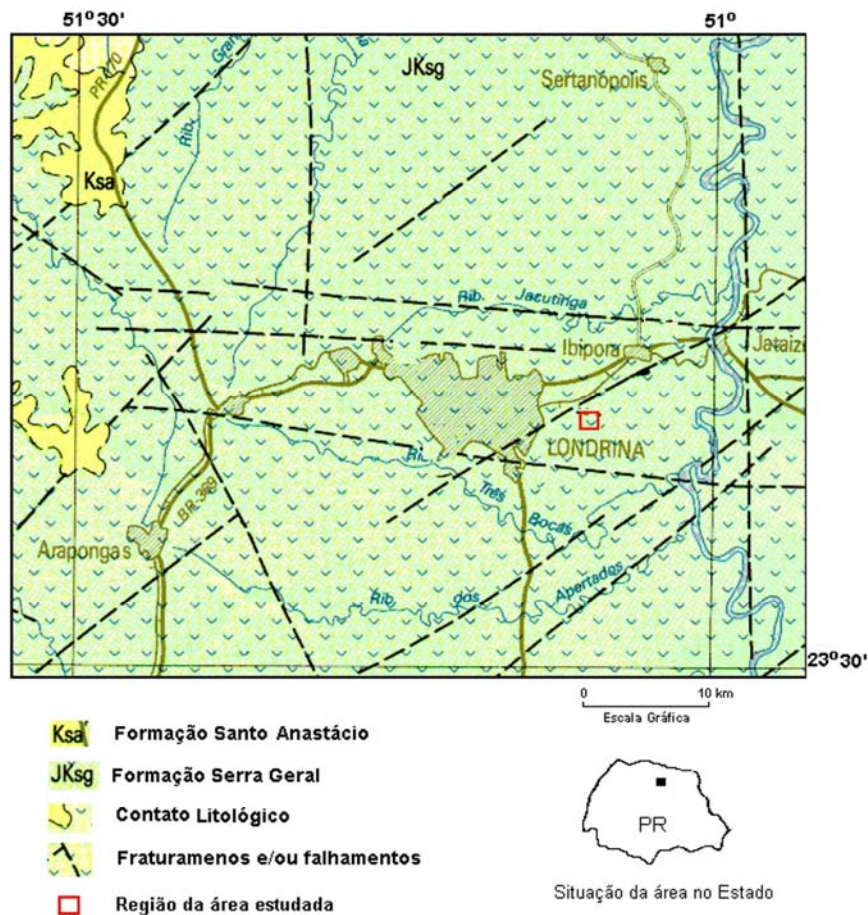


Figura 2 – Mapa geológico regional (Fonte: Mineropar, 1989).

A principal unidade pedológica do município de Londrina é constituída por camadas de solo espessa, em torno de 15 metros, mas podendo chegar a 30 metros em algumas regiões, como dito anteriormente. Trata-se de um solo residual argiloso, resultado do alto grau de intemperismo sofrido pelas rochas basálticas. Este perfil foi dividido por Branco et al. (1998) em três camadas: argila siltosa porosa muito mole a media vermelho escura, argila siltosa rija vermelho escura e argila rija e dura. (apud, Santos, 2005).

Segundo (EMBRAPA, 1999) a região em questão apresenta solos de media e/ou alta fertilidade, tais como o Latossolo Vermelho e o Nitossolo. Os solos, de maneira geral, possuem papel primordial, pois seus horizontes se caracterizam como atenuadores naturais de contaminantes que se infiltram antes de chegar na zona saturada.

4 - Hidrogeologia

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 relativamente homogêneo, geralmente pouco espesso e com baixa profundidade do nível saturado. Este aquífero possui características de aquífero livre, desta forma, a recarga se dá diretamente a partir de águas pluviais nas áreas mais elevadas topograficamente, motivo pelo qual, não é aconselhado o seu uso através de fontes ou poços, dado o elevado risco de poluição por agrotóxicos, ou outros agentes antrópicos.

O sistema aquífero Serra Geral, pelas suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (FREEZE & CHERRY, 1979).

A ocorrência da água subterrânea neste aquífero fica restrita às zonas de descontinuidades das rochas, as quais se constituem principalmente em estruturas tectônicas do tipo de fratura e/ou falhamento.

O meio fraturado das suites vulcânicas da Formação Serra Geral apesar de ser consideradas como rochas cristalinas, possuem características litológico-estruturais que as distinguem hidrogeologicamente dos demais meios fraturados, tanto ígneas, plutônicas, quanto as metamórficas em geral (CELLIGOI & DUARTE, 1997).

A percolação de água, junto aos fraturamentos verticais, vai alimentar as diáclases horizontais da porção inferior do derrame. Estas, no entanto, não possuem, freqüentemente, uma circulação de água muito efetiva, devido a presença de materiais de alteração junto aos planos de fratura assim como as estruturas tectônicas rúpteis regionais, como fraturamentos e falhamentos, bem como intrusões magmáticas-diques e sills, os quais podem alterar as condições hidrogeológicas originais (CELLIGOI & DUARTE, 1994).

As rochas vulcânicas, assim como outros tipos de rochas cristalinas constituem um meio heterogêneo onde a circulação de água é condicionada as descontinuidades físicas das rochas.

5 - Algumas considerações sobre a Infiltração da água no solo

De acordo com (KNAPP, 1978) o arranjo espacial dos materiais do solo (estrutura) influencia no direcionamento e no tempo da infiltração da água (apud NETTO, 2005, p. 115). Dessa forma, pode-se dizer que solos com estrutura granular possuem grande quantidade de poros, os quais

permitem o movimento dos fluxos em todas as direções. No entanto, mesmo alguns solos possuindo estrutura granular como os da cidade de Londrina – PR, latossolo vermelho ou nitossolo, os mesmos não possuem boa permeabilidade, devido ao reduzido tamanho das partículas de argila, favorecendo assim, o processo de capilaridade, responsável pela regulação e estocagem de água no solo. A porosidade do solo ou da rocha é um fator importante que influencia na capacidade desses se deixarem atravessar pelas águas de infiltração, ou seja, na condutividade hidráulica (GUERRA, 2003, p. 153; NETTO, 2005, p. 120 seq).

Segundo (GUERRA, loc. cit) a condutividade hidráulica está relacionada com as propriedades físicas, tanto dos fluidos como dos materiais por onde passa a água, e retrata a maior ou menor facilidade pela qual a água atravessa o solo. A condutividade hidráulica de diferentes tipos de solos pode ser observada na (Tabela 1), segundo a classificação de Terzaghi & Peck (1967) e Mello & Teixeira (1967).

Tabela 1 – Relação dos valores de condutividade hidráulica e tipos de materiais

Coefficiente de Permeabilidade k (cm/s)	Grau de Permeabilidade Terzaghi & Peck (1967)	Tipo de Solo Mello & Teixeira (1967)
10^9 a 1	Alta	Pedregulhos e Areia
1 a 10^{-1}	Alta	Areias
10^{-1} a 10^{-3}	Média	Areias
10^{-3} a 10^{-5}	Baixa	Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos
10^{-5} a 10^{-7}	Muito Baixa	Areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos
$< 10^{-7}$	Praticamente Impermeável	Argilas

(apud SANTOS, 2005) modificado.

6 – Metodologia

A metodologia empregada para a determinação da condutividade hidráulica (k) da zona não-saturada nas imediações do lixão de Londrina se deu através de trabalhos de campo para reconhecimento e escolha dos locais para a realização de testes; e na utilização do permeâmetro Guelph, modelo 2800.

Os testes, T1 e T2, foram realizados ao lado de dois poços de monitoramento (PM); PM 2 e PM 11 respectivamente (ver Figura 3).

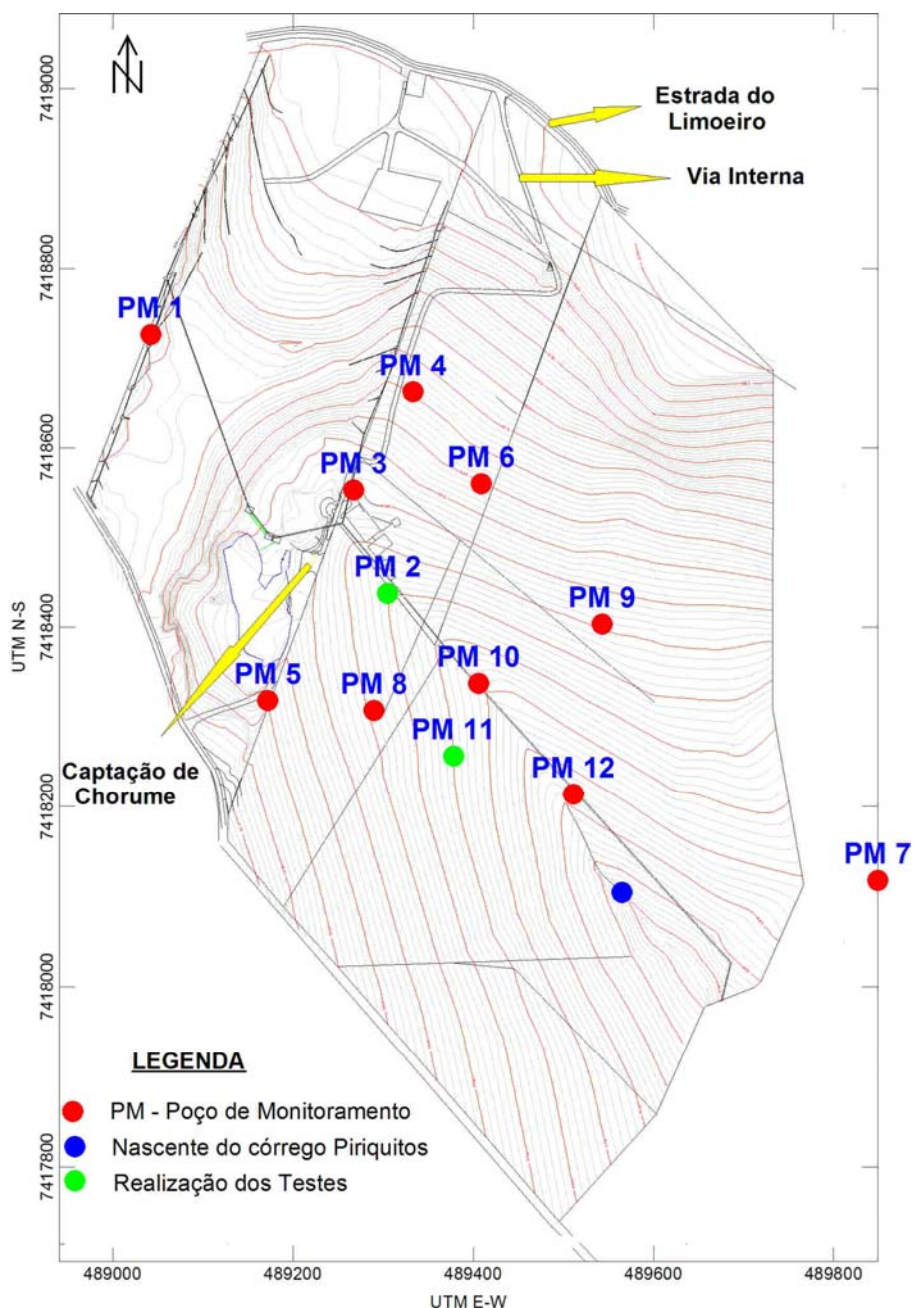


Figura 3 – Mapa de Localização dos Poços de Monitoramento. (Organizado por Rodrigo Vitor. B. Sousa).

O teste T1, realizado ao lado do primeiro poço, PM 2, efetuou-se a um deslocamento de 2 m sentido oeste, em área plana, sem cobertura vegetal. No entanto, o aparelho foi fixado sobre um local com muito lixo misturado ao solo, o que dificultou o andamento do trabalho. É importante destacar, que em um primeiro momento a escolha do local para a realização desse teste foi outra, no entanto, devido o solo ter se apresentado muito compactado, optou-se pela mudança de local.

O segundo teste - T2, foi realizado ao lado do PM 11, estando este a jusante do PM 2. Diferente da primeira ocasião, essa área apresentava grande quantidade de vegetação, desde árvores médias com aproximadamente 2 m de altura até árvores altas como eucaliptos. O relevo possuía um

leve declive e havia a presença de serrapilheira no solo, caracterizada pelas folhas e galhos caídos. De forma geral a área pode ser entendida como um fragmento de mata nativa, estando próxima ao córrego dos periquitos. Em relação ao permeâmetro Guelph, o mesmo foi fixado a uma distância de 2 m sentido sul (ver Figura 4).



Figura 4 – PM 11 à frente e Permeâmetro Guelph ao Fundo.

7 - Permeâmetro Guelph

Quanto ao funcionamento e manuseio do aparelho, este deve ser utilizado *in situ*, demandando no máximo duas pessoas para a realização de testes. A principal característica desse aparelho é que, diferentemente dos métodos empregados para achar a condutividade hidráulica (k) na zona saturada, *slug test* por exemplo, onde a carga da coluna d'água varia com o tempo, o permeâmetro Guelph trabalha com carga constante.

O procedimento do ensaio tem início com a escolha do local a ser realizado o teste. Posteriormente deve ser feita a montagem do aparelho, bem como um furo a trado no solo, com pelo menos 30 cm de profundidade e, por último, deve ser injetada água no permeâmetro (ver Figura 5).

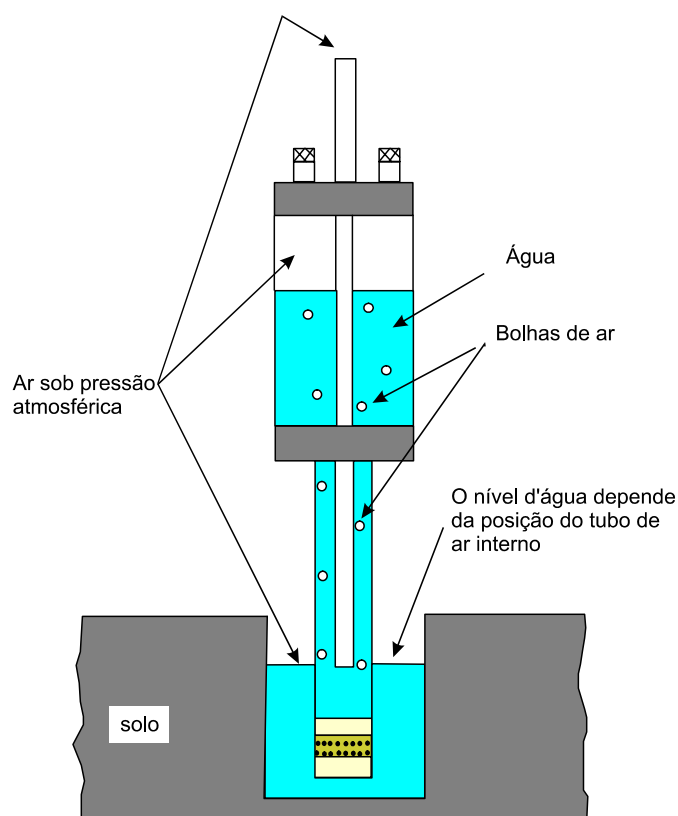


Figura 5 – Esquema de funcionamento do permeâmetro Guelph (apud SANTOS, 2005).

Segundo (SANTOS, 2005, p. 39) depois de injetado água, 5 cm de coluna em um primeiro momento, deverá ser estabelecido um nível d'água (carga hidráulica) constante no interior do furo do trado, originando um “bulbo” de saturação d'água a partir de sua base (ver Figura 6). Esse “bulbo”, no entanto, varia conforme as características dos diferentes tipos de material.

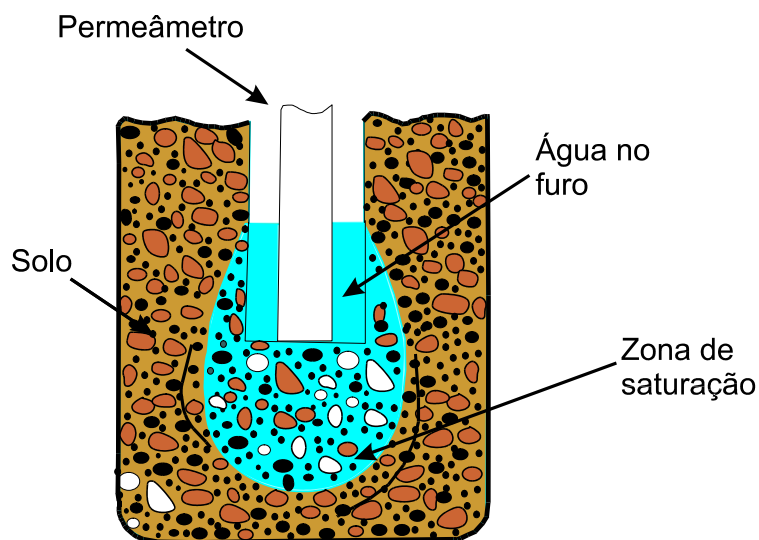


Figura 6 – Esquema de formação do bulbo de saturação (apud SANTOS, 2005).

O volume de água que infiltra no solo por unidade de tempo (taxa de infiltração) se torna constante depois de determinado tempo de estabilização⁶. Essa unidade de tempo é o pesquisador quem escolhe, visto terem os diferentes tipos de solo, capacidade de infiltração diferente. Depois que a taxa de infiltração fica estável, o mesmo procedimento deve ser realizado, porém, injetando uma coluna d'água de 10 cm. É importante que a unidade de tempo escolhida, minutos ou segundos, seja a mesma nos dois momentos do teste.

O cálculo da condutividade hidráulica (k) é obtido através do conhecimento do valor da (taxa de infiltração) e da associação deste com as dimensões do furo e da altura da coluna d'água em seu interior. Através das seguintes equações (equação 1) e (equação 2) pode-se obter o valor da condutividade hidráulica⁷:

$$K = [(0,0041) (X) (R_2) - (0,0054) (X) (R_1)] \quad (1)$$

$$K = [(0,0041) (Y) (R_2) - (0,0054) (Y) (R_1)] \quad (2)$$

Onde:

K – Condutividade hidráulica, em cm/s;

R₁ e R₂ – Taxas de infiltração estabilizadas correspondentes a H1 (5 cm) e H2 (10 cm) respectivamente, em cm/s;

X e Y – Constantes correspondentes a área do tubo (reservatório d'água) utilizado, em cm². X (reservatório externo) equivale a 35,36 cm²; Y (reservatório interno) equivale a 2,17 cm². A utilização do reservatório externo é recomendada para solos mais permeáveis, oposto a isso se recomenda a utilização do reservatório interno, o que não impede o uso invertido dos mesmos, desde que na hora do cálculo seja utilizada a fórmula correta.

8 - Resultados

Foram realizados dois testes (T1 e T2), ao lado dos poços de monitoramento PM 2 e PM 11, respectivamente, apresentando valores de condutividade hidráulica de: T1 = 2,5 x 10⁻³ e T2 = 4 x 10⁻⁴ cm/s. Os procedimentos realizados em campo foram anotados para que não houvessem problemas na hora do cálculo final. Sendo assim, obtiveram-se os seguintes dados:

⁶ SANTOS, loc. cit., p. 41

⁷ SOIL MOISTURE, 1987 apud SANTOS, loc. cit., p. 41

Teste T1

Data: 12/05/2006 **Local:** Lixão de Londrina - PM 2 **Início:** 16:40 **Término:** 17:30

Condições Climáticas: Boa, céu limpo com sol **Tipo e Condições do solo:** Parte compactada, parte com lixo misturado ao solo mais superficial.

Reservatório: *Externo* (X) X = 35.39 / ou *Interno* () Y = 2.14
Coluna d'água de 5 cm.

Número da leitura	Tempo	Intervalo de tempo (min ou seg)	Nível da água Res. (cm)	Varição do nível da água (cm)	Taxa de Infiltração do nível da água (cm/min) R1
1	0	5'	19,7	-----	-----
2	5'	5'	25	5,3	-----
3	10'	5'	26,7	1,7	-----
4	15'	5'	28,6	1,9	0,38
5	20'	5'	30,5	1,9	0,38
6	30'	5'	32,4	1,9	0,38
7					
8					

Reservatório: *Externo* (X) X = 35.39 / ou *Interno* () Y = 2.14
Coluna d'água de 10 cm.

Número da leitura	Tempo	Intervalo de tempo (min ou seg)	Nível da água Res. (cm)	Varição do nível da água (cm)	Taxa de Infiltração do nível da água (cm/min) R1
1	0	5'	36	-----	-----
2	5'	5'	50	14	-----
3	10'	5'	58	8	1,6
4	15'	5'	66	8	1,6
5	20'	5'	74	8	1,6
6					
7					
8					

$$R1 = (0,38) / 60 = 0,0063 \text{ cm/seg}$$

$$R2 = (1,6) / 60 = 0,026 \text{ cm/seg}$$

$$K = [(0,0041) (35,39) (0,026) - (0,0054) (35,39) (0,0063)] = 2,5 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Teste T2

Data: 16/05/2006 **Local:** Lixão de Londrina - PM 11 **Início:** 16:05 **Término:** 17:05

Condições Climáticas: Boas, céu limpo com sol **Tipo e Condições do solo:** Solo não compactado em região florestada.

Reservatório: *Externo* (X) X = 35.39 / ou *Interno* () Y = 2.14

Coluna d'água de 5 cm.

Número da leitura	Tempo	Intervalo de tempo (min ou seg)	Nível da água Res. (cm)	Varição do nível da água (cm)	Taxa de Infiltração do nível da água (cm/min) R1
1	0	5'	16,2	-----	-----
2	5'	5'	17,9	1,7	-----
3	10'	5'	18,1	0,2 mm	0,04
4	15'	5'	18,3	0,2 mm	0,04
5	20'	5'	18,5	0,2 mm	0,04
6					
7					
8					

Reservatório: *Externo* (X) X = 35.39 / ou *Interno* () Y = 2.14

Coluna d'água de 10 cm.

Número da leitura	Tempo	Intervalo de tempo (min ou seg)	Nível da água Res. (cm)	Varição do nível da água (cm)	Taxa de Infiltração do nível da água (cm/min) R1
1	0	5'	18,5	-----	-----
2	5'	5'	23,9	5,4	-----
3	10'	5'	25,6	1,7	-----
4	15'	5'	27,1	1,5	-----
5	20'	5'	28,1	1	-----
6	25'	5'	29,4	1,3	-----
7	30'	5'	30,5	1,1	0,22
8	35'	5'	31,6	1,1	0,22
9	40'	5'	32,7	1,1	0,22

$$R1 = (0,04)/60 = 0,0006 \text{ cm/seg}$$

$$R2 = (0,22)/60 = 0,0036 \text{ cm/seg}$$

$$K = [(0,0041) (35,39) (0,0036) - (0,0054) (35,39) (0,0006)] = 4 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

De acordo com a Tabela 2, pode-se dizer que o grau de permeabilidade hidráulica dos solos onde foram realizados os testes, varia de *médio a baixo*. As características atribuídas aos solos da área de estudo, se comparado com a mesma tabela, podem ser: textura argilosa e areia fina. Os resultados obtidos condizem parcialmente com as características do solo da região, latossolo vermelho e nitossolo, visto serem esses constituídos por argila.

Em sondagens à percussão (SPT-T) realizadas anteriormente neste local no ano de 2000, obtiveram-se valores de condutividade hidráulica que variaram de $5,12 \times 10^{-4}$ a $4,49 \times 10^{-6}$ cm/s, havendo uma média de 10^{-5} cm/s em todos os testes. Um ponto importante que deve ser destacado é que esses testes anteriores foram realizados a uma profundidade de até 5 m de profundidade, denotando assim, uma permeabilidade menor, enquanto os testes realizados com permeâmetro Guelph deram-se a uma profundidade de 40 cm e em condições de solos bem distintos. Sendo assim, o grau de permeabilidade hidráulica verificado em testes anteriores, segundo a (Tabela 1), podem ser classificados de *baixo a muito baixo*, o que condiz em parte aos testes realizados com permeâmetro Guelph.

9 - Considerações Finais

Com relação aos resultados obtidos, dois pontos foram levados em consideração: Em primeiro lugar, a área de estudo apresenta solos altamente compactados devido ao grande fluxo de tratores e caminhões. Em segundo, devido o local ser uma área de aterro, embora o mesmo funcione como um lixão não controlado, o solo na sua grande maioria não é o original da área, mas sim de zonas de empréstimo. Tais pontos são relevantes, pois influenciaram de forma direta nos testes.

A diferença dos valores obtidos nos testes T1 e T2, realizados ao lado dos poços de monitoramento PM 2 e PM 11 = $2,5 \times 10^{-3}$ e 4×10^{-4} cm/s respectivamente, pode ser explicada pelas diferentes condições em que os solos se encontravam. Próximo ao PM 2 o solo se encontrava com grande quantidade de lixo não compactado, o que provavelmente permitiu uma maior permeabilidade da água. Conclui-se assim, que nesse local, a percolação do chorume se dá de forma mais acentuada, impactando ou podendo impactar mais facilmente os solos e as águas subterrâneas. Já próximo ao PM 11 o solo preservava suas características físicas naturais por estar situado próximo a um fragmento de mata nativa. Tais características podem ser descritas pela presença de grande cobertura vegetal e serrapilheira no solo, propiciando dessa forma, uma alta atividade biogênica e, conseqüentemente, maior permeabilidade do solo. Dessa forma, pode-se dizer que a condutividade hidráulica, depende não apenas das características dos materiais, solo ou rocha, mas sim, de todo um sistema biogeográfico que esses fazem parte.

Os resultados obtidos através do permeâmetro Guelph, podem ser considerados válidos, já que condizem com resultados de estudos realizados anteriormente no lixão de Londrina. Dessa forma, esse trabalho poderá contribuir para a elaboração e execução de outras pesquisas acadêmicas, visando a minimização de impactos ambientais proveniente de atividades antrópicas.

Com relação à obtenção dos resultados, pode-se dizer que as vantagens adquiridas pelo uso do permeâmetro Guelph em relação aos ensaios tradicionais como, por exemplo, sondagem à percussão SPT-T são duas: A primeira é a praticidade, pois dispensa uma equipe técnica e maquinário pesado. A segunda é a simplicidade na quantificação dos dados, não sendo necessárias análises laboratoriais. Levando-se em consideração as características do solo local, demorou-se em média 1 hora para a realização e quantificação dos dados.

10 – Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério da Agricultura; EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Serviço de Produção e Informação (SPI), 1999.

CELLIGOI, André. & DUARTE, Uriel. *Conotação hidrogeológica dos lineamentos estruturais E-W na região de Londrina – PR*. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 8. 1994, Recife . Anais... Recife: ABAS, 1994.

CELLIGOI, André & DUARTE, Uriel. *Hidrogeologia da Formação Serra Geral em Londrina – PR*. Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba: v.45, p. 117-132, 1997.

FREEZE, R.A. CHERRY, J.A. *Groundwater*. New Jersey: Prentice – Hall inc., 1979. p. 604

FUSCALDO, Wladimir. C. *Resíduos Sólidos: Práticas e Conceitos. Um estudo a partir da experiência de Londrina*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São de Paulo, 2001.

GUERRA, Antônio T. GUERRA. Antonio J. T. *Novo Dicionário Geológico – Geomorfológico – 3º ed – Rio de Janeiro: 2003. p. 153.*

NETTO, Ana L. Coelho. *Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia*. In: GUERRA, Antonio. J. T. CUNHA, Sandra B (ogr). *Geomorfologia. Uma Atualização de Bases e Conceitos – 6º ed – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.*

SANTOS, Maurício. M. dos. *Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo. Rio Claro: 2005.