

AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO EM ÁREA AGRÍCOLA E FLORESTADA NA CIDADE DE LONDRINA (PR) ATRAVÉS DO PERMEÂMETRO GUELPH

Evaluation of the soil hydraulic conductivity in agricultural and forested area in Londrina town, Paraná state, Brazil through the Guelph permeameter

Rodrigo Vitor Barbosa Sousa¹
André Celligoi²

^{1,2}**Universidade Estadual de Londrina**
Departamento de Geociências

Rodovia Celso Garcia Cid. PR 445 Km 380. Campus Universitário. Cx. Postal 6001. CEP 86051-980.
 ro_vitorgeo@yahoo.com.br, celligoi@uel.br

RESUMO

O objetivo desse artigo é apresentar alguns resultados de condutividade hidráulica do solo em condição saturada, obtidos por meio do permeâmetro Guelph, modelo 2800. Para isso, foram utilizadas duas técnicas de quantificação denominadas: técnica de duas alturas de carga e técnica de uma altura de carga, destacando-se que ambas trabalham com um nível constante de água no solo. Paralelamente, realizou-se uma caracterização da área, bem como do solo, através de análises morfológicas e texturais, em amostras coletadas em campo. Os testes foram executados em duas áreas distintas, uma florestada (A1) e a outra agrícola (A2), ambas localizadas na cidade de Londrina – PR, totalizando quatro testes para cada área. Os resultados obtidos foram divididos de acordo com a técnica empregada no permeâmetro Guelph e de acordo com a área (A1) e (A2), para uma posterior correlação dos referidos resultados. Desse modo, na área florestada, verificaram-se valores no intervalo de 10^{-3} cm/s, denotando condutividade hidráulica média e, na área agrícola, observaram-se valores no intervalo de 10^{-3} cm/s a 10^{-4} cm/s, denotando condutividade hidráulica baixa. Os dados apresentados foram considerados válidos e são de extrema importância, pois abrem uma perspectiva de análise, adotando-se a mesma metodologia em pesquisas futuras.

Palavras chave: Condutividade hidráulica. Análise in situ. Técnicas de avaliação.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present some results of soil hydraulic conductivity in saturated condition, obtained through the Guelph Permeameter, model 2800. It was calculated through two appropriate techniques called: two load height and one load height, and is important to point that both work with a constant level of water in the soil. In parallel, the area and also the soil were characterized through morphological and textural analysis in soil samples. Tests were made in two distinct areas: forested (A1) and agricultural (A2), both located in Londrina town. The results were separated in accordance with the utilized technique in the Guelph Permeameter, and in accordance with the areas, (A1) or (A2). In this sense, the results pointed an average hydraulic conductivity in the forested area and a low hydraulic conductivity in the agricultural area, with values at interval of 10^{-3} cm/s, and between 10^{-3} cm/s and 10^{-4} cm/s, respectively. The presented results were considered valid and are very important, because it permits an analytical perspective, adopting the same methodology in future researches.

Keywords: Hydraulic conductivity. In situ analysis. Assessment techniques.

1 INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que as pesquisas que tratam sobre o permeâmetro Guelph no Brasil são de certa forma, recentes. No que diz

respeito à aplicabilidade do aparelho, tomando-se como exemplo os trabalhos de Bolduc, Larocque e Prichonnet (2006), Chen et al. (2009), Coe, Kinner e Godt (2008), Yu, Shi e Weindorf (2006), Santos (2005),

verifica-se que o referido aparelho é utilizado em sistemas de irrigação, vulnerabilidade de aquíferos, estudos pedológicos e hidrológicos em geral, entre outros.

O objetivo desse artigo é apresentar alguns resultados de condutividade hidráulica do solo, em condição saturada, obtidos através do permeâmetro Guelph, modelo 2800. Somando-se ao trabalho de Sousa e Celligoi (2009) o presente artigo procura aprofundar o conhecimento sobre as características do solo da região de Londrina, no que diz respeito à condutividade hidráulica, uma vez que esse é o principal fenômeno responsável pelo movimento da água no solo. O conhecimento da condutividade hidráulica da zona vadosa do aquífero, permitirá que estudos mais detalhados, relacionados ao aquífero Serra Geral, sejam realizados na região de Londrina e adjacências.

Pelo fato do permeâmetro Guelph ser projetado para funcionar em qualquer tipo de solo, seja pelo grau de evolução ou pelas características morfológicas, parte-se do pressuposto de que as características da área, influenciam a condutividade hidráulica, decorrendo daí, a necessidade de uma avaliação mais aprofundada. A utilização do permeâmetro Guelph em diferentes tipos de solo pode ser verificada em, Espinha Marques et al. (2009) e Yari et al. (2006), onde os autores utilizaram o permeâmetro Guelph em áreas díspares da superfície terrestre; o primeiro em áreas montanhosas de Portugal e o segundo em solos de regiões áridas e semi-áridas do Irã.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Optou-se pela escolha de duas áreas distintas para a realização dos testes com o permeâmetro Guelph. Sendo assim, a primeira (A1), pode ser caracterizada como uma área florestada, localizada no horto florestal do Campus da Universidade Estadual de Londrina – PR, situando-se à oeste do sítio urbano da cidade de Londrina, no interflúvio das bacias hidrográficas Cambé e Cafezal.

A segunda área de estudo (A2), pode ser caracterizada como uma área agrícola não

permanente. Localiza-se à sudeste do sítio urbano da cidade de Londrina, próximo ao córrego dos Piriquitos, afluente da margem esquerda do ribeirão Cambé. Um ponto importante a ser colocado é que essa área, encontra-se próxima ao aterro controlado da cidade, estando o córrego dos Piriquitos, rio mais próximo ao aterro e, as águas subterrâneas adjacentes ao mesmo, comprometidos pela percolação do chorume no solo (SOUSA; CELLIGOI, 2009). O município de Londrina situa-se sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, sendo todos os rios citados anteriormente, tributários desse último, um dos rios mais importantes do Estado do Paraná. As duas áreas de estudo apresentam-se na figura 1.

No tocante às características geomorfológicas, ambas as áreas encontram-se sobre o Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava, constituído basicamente por rochas básicas originadas do “trapp” do Paraná. Quanto à geologia, a região em questão está situada sobre a Formação Serra Geral, constituída principalmente por basaltos toleíticos, originados do grande vulcanismo ocorrido na Bacia do Paraná, na Era Mesozóica, período Jurássico-Cretácio, datados aproximadamente a 140 m.a atrás. No que diz respeito à hidrogeologia regional, existem duas formas de ocorrência de água subterrânea: aquífero livre e sistema aquífero Serra Geral. A recarga no aquífero livre relaciona-se diretamente com as chuvas precipitadas nas áreas topograficamente mais elevadas, enquanto no sistema aquífero Serra Geral, a ocorrência de água fica restrita às zonas de descontinuidades das rochas, as quais se constituem principalmente em estruturas tectônicas como fratura e/ou falhamento (CELLIGOI et al., 2006; BRASIL, 1984; MAACK, 1981; MINEROPAR, 2001; PETRI; FULFARO, 1983).

De acordo com Santos (2005) a principal unidade pedológica do município de Londrina é constituída por uma camada de solo espessa, variando entre 15 a 30 m. Trata-se de um solo residual argiloso, resultado do alto grau de intemperismo sofrido pela rocha

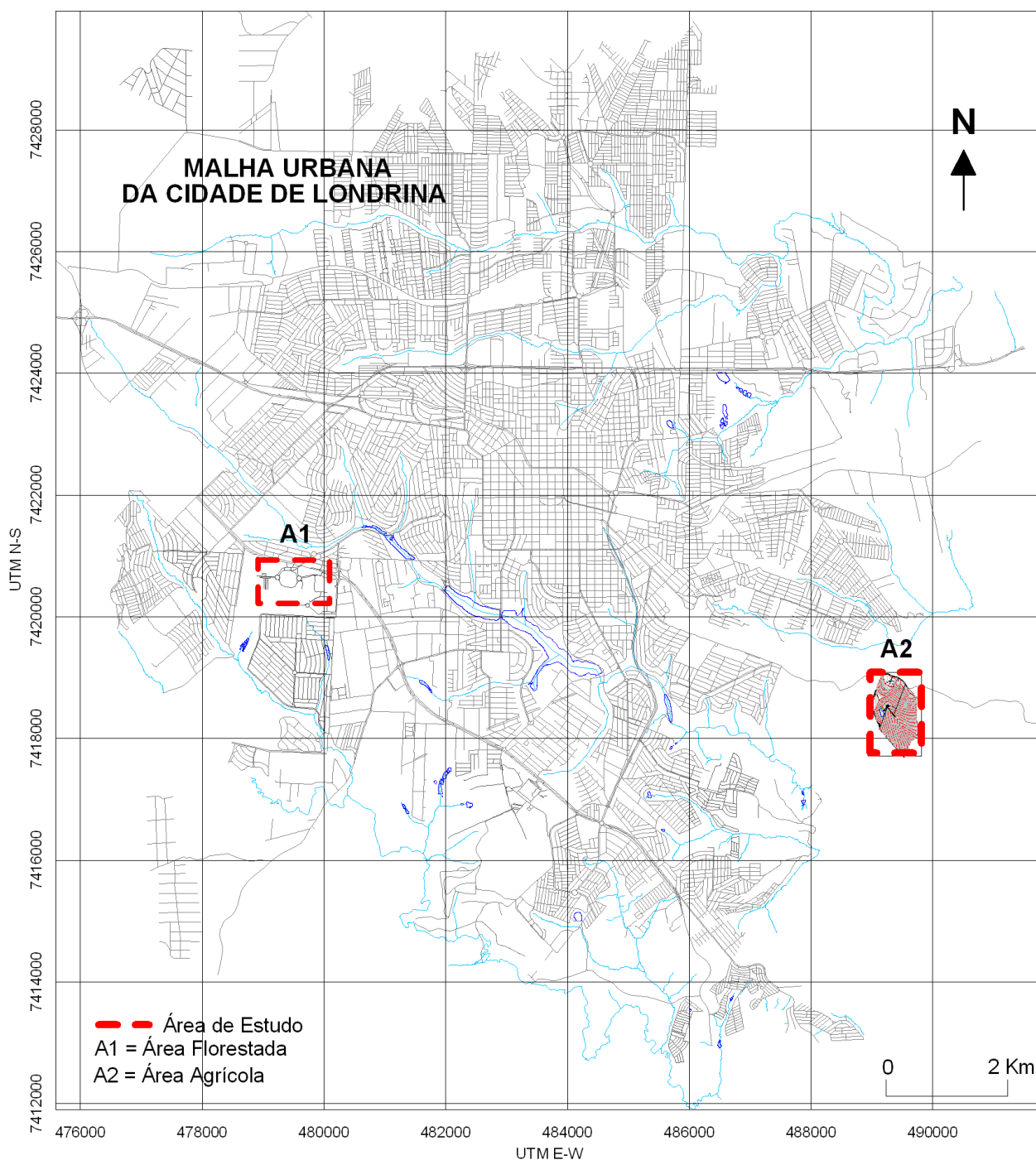


Figura 1: Mapa de localização das áreas de estudo, A1 e A2.

Fonte: Instituto de pesquisa e planejamento urbano de Londrina, 2001.

mãe. Baseando-se em Tagima e Terabe (2005), a área florestada (A1), localiza-se sobre um solo do tipo LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico, enquanto a área agrícola (A2), localiza-se sobre um solo do tipo NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico, situando-se topograficamente entre 480 e 560 m de altitude.

Ao todo foram realizados oito ensaios com o permeâmetro Guelph, sendo quatro

executados em área florestada (A1) e quatro em área agrícola (A2). Todos os testes realizaram-se a 35 cm de profundidade, uma vez que a partir dessa profundidade, principalmente na área agrícola, o trado encontrou dificuldade em cortar o solo, sendo que em (A1) essa dificuldade foi detectada em menor grau. Na área florestada houve uma análise do perfil do solo, a fim de se estabelecer o horizonte em que os testes foram

executados, nesse caso, horizonte B1. No entanto, na área agrícola não foi possível realizar tal etapa, pois tratava-se de uma propriedade particular, sem a autorização do responsável para a execução dessa etapa do trabalho.

Para uma melhor compreensão do comportamento da água nessa região do solo e para comparar os solos das duas áreas de estudo, foram realizadas análises de características morfológicas como, cor, estrutura, plasticidade e pegajosidade, totalizando 8 amostras, uma para cada local onde realizou-se o ensaio com o permeâmetro. Além disso, realizaram-se análises texturais com o objetivo de se estabelecer a quantidade de argila, silte e areia, em 4 amostras de solo, duas para A1 e, duas para A2, segundo a metodologia da EMBRAPA (1997).

Durante a análise textural, a escala utilizada para separar a argila do silte foi a proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte, escala mais utilizada no Brasil, cuja peneira empregada no momento da separação é a de 53 micas (KIEHL, 1979). Todas as análises realizaram-se no laboratório de pedologia do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina - UEL.

Os trabalhos de campo foram fundamentais para o desenvolvimento prático e teórico dessa pesquisa, não apenas para a utilização *in situ* do aparelho, mas também para a identificação das características da área de estudo e de algumas características do solo (Figura 2).

A metodologia utilizada para o cálculo da condutividade hidráulica, baseou-se nas técnicas propostas por Reynolds, Elrick e Clothier (1985), Reynolds e Elrick (1986) e Elrick, Reynolds e Tan (1989), denominadas por técnica de duas alturas de carga e, técnica de uma altura de carga. Apenas para nível de esclarecimento, a(s) altura(s) de carga, significa a altura da coluna d'água deslocada em centímetros no permeâmetro. Essa metodologia foi utilizada para um posterior confronto dos resultados, a fim de averiguar se há uma aproximação ou

afastamento dos mesmos nas técnicas utilizadas.

De acordo com Cabral (1997), Coelho Neto (2005) e Guerra e Guerra (2003) a condutividade hidráulica está relacionada com as propriedades físicas, tanto dos fluídos como dos materiais por onde passa a água e retrata a maior ou menor facilidade, pela qual a água atravessa o solo. Dentre essas propriedades físicas pode-se citar porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas, bem como viscosidade e massa específica do fluído que está escoando.

Sendo assim, a técnica de duas alturas de carga pode ser descrita através da equação (1).

$$K_{fs} = G_2 \cdot Q_2 - G_1 \cdot Q_1 \quad (1)$$

Onde, G_2 , é descrito através da equação (2).

$$G_2 = H_1 \cdot C_1 / \pi (2H_1 \cdot H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 \cdot C_2 - H_2 \cdot C_1)) \quad (2)$$

E onde, G_1 , é descrito através da equação (3)

$$G_1 = G_2 \cdot H_2 \cdot C_1 / H_1 \cdot C_2 \quad (3)$$

Sendo:

K_{fs} = condutividade hidráulica do solo, em condição saturada;

H_1 = primeira altura do deslocamento da carga de água;

H_2 = segunda altura do deslocamento da carga de água;

Q_1 = vazão no instante do primeiro deslocamento da carga de água (produto do fluxo em regime permanente pela área do reservatório). Se utilizado o tubo externo do aparelho a área será 35,22 cm²; se utilizado o tubo interno do aparelho a área será 2,15 cm²;

Q_2 = vazão no instante do segundo deslocamento da carga de água (mesmas características que Q_1);

C_1 = fator de forma que depende da razão de H_1 , pelo raio do trado (H/a) variando a cada tipo de solo (valor adimensional);

C_2 = fator de forma que depende da razão de H_2 , pelo raio do trado (H/a) variando a cada tipo de solo (valor adimensional);

a = raio do furo do trado igual a 3cm;

G_2 = valor adimensional;

G_1 = valor adimensional.

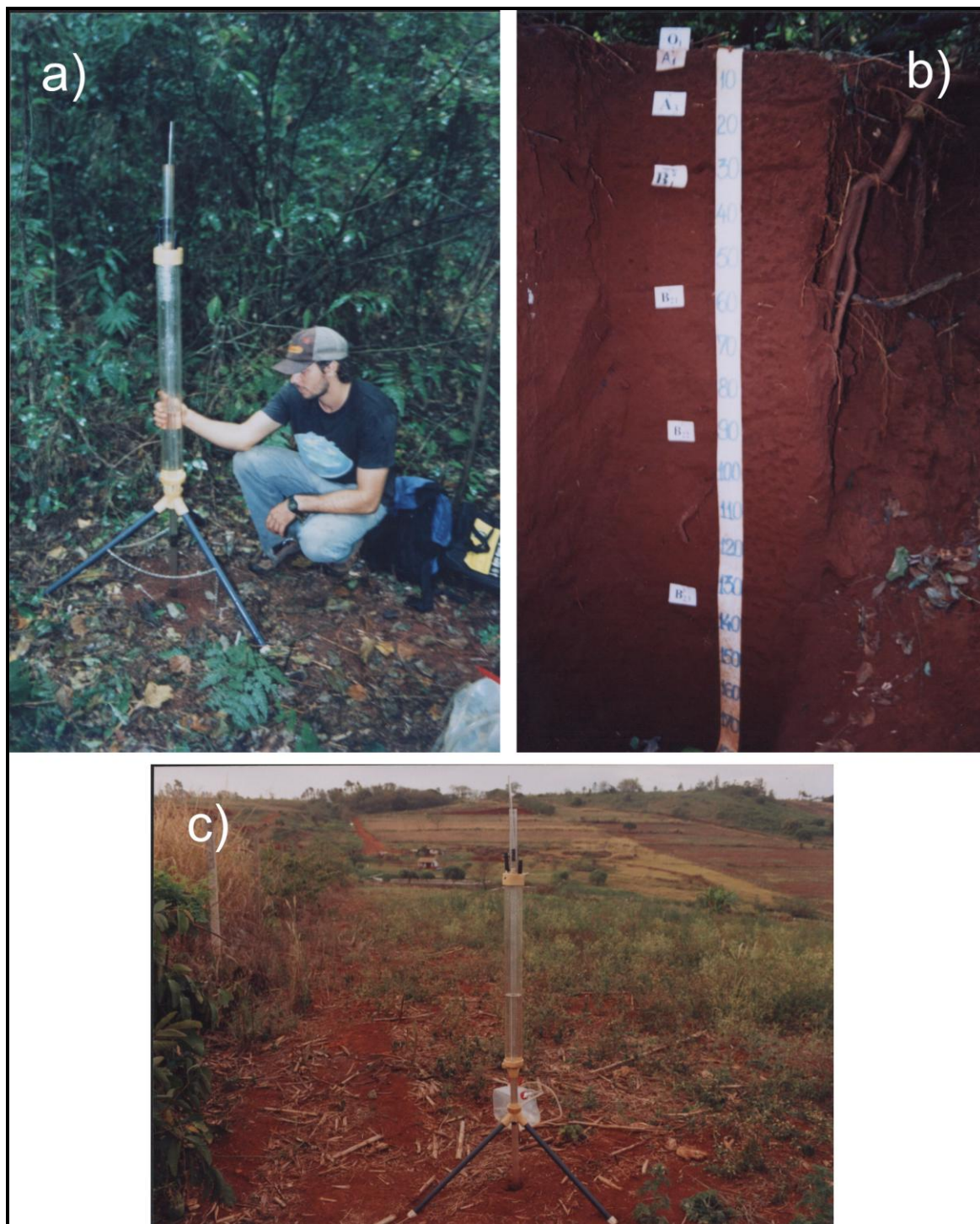


Figura 2: Imagens ilustrando trabalhos de campo; a) ensaio com o permeâmetro Guelph na área de floresta (A1); b) perfil de solo em (A1), indicando o horizonte, B1, onde foram realizados os testes; c) ensaio com o permeâmetro Guelph na área agrícola (A2). Datas: 2008.

Fonte: SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa.

Já a técnica de uma altura de carga pode ser descrita através da equação (4).

$$K_{fs} = \frac{CQ}{2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/\alpha} \quad (4)$$

Sendo:

K_{fs} = condutividade hidráulica do solo, em condição saturada;

H = altura do deslocamento da carga de água;

Q = vazão;

C = fator de forma do bulbo de saturação estabelecido pela, razão da altura do

deslocamento da carga de água pelo raio do trado (H/a), variando a cada tipo de solo;
 a = raio do furo do trado igual a 3 cm;
 α = constante que depende das propriedades da porosidade do solo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análises Morfológicas e Texturais

Quanto às características morfológicas; plasticidade, pegajosidade, estrutura e cor, as mesmas podem ser visualizadas na sequência (Tabela 1).

Observando a tabela 1, verifica-se que das oito amostras analisadas todas mostraram-se plásticas e muito pegajosas quando molhadas, possivelmente devido a grande quantidade de argila. A maioria apresentou estrutura subangular e tamanho pequeno variando entre 5 a 10 mm de diâmetro. Com relação à cor, quase todas, em condição seca, foram classificadas como Bruno avermelhado escuro (2,5 Y R 3/4) e, em condição úmida, como Vermelho escuro acinzentado (10 R 3/4).

A maior parte dos resultados obtidos está de acordo com literatura existente. Segundo Santos (2003) a coloração do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico vai desde o vermelho fosco até o bruno avermelhado quando seco, e arroxeado quando umedecido. Devido ao seu material de origem ser o basalto, o mesmo apresenta grande quantidade de ferro hidratado, fato que lhe proporciona uma coloração bastante escura. Outro aspecto importante é que suas características morfológicas apresentam poucas variações, fazendo com que os diversos horizontes se apresentem pouco individualizados e difusos.

A coloração do NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico, conforme Santos (2003), assemelha-se ao do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, no entanto, as principais características que diferem esse tipo de solo do primeiro, é sua estrutura subangular bem desenvolvida, presença de horizonte B textural (argiloso), cerosidade no horizonte B, e plasticidade e pegajosidade no horizonte B,

quando esse estiver molhado. No entanto, verificou-se que, em ambas as amostras, a estrutura foi subangular, mostrando que isso não é uma regra geral.

Tabela 1: Resultados das análises morfológicas

Local	Teste	Estr	Cor		Plast	Peg
			Seca	Úmida		
A1	1	SP	2,5 Y R 3/4	10 R 3/4	PL	MP
A1	2	SP	2,5 Y R 3/4	10 R 3/4	PL	MP
A1	3	SP	2,5 Y R 3/4	10 R 3/4	PL	MP
A1	4	SP	2,5 Y R 3/4	10 R 3/4	PL	MP
A2	1	SM	10 R 2,5/2	2,5 Y R 3/4	PL	MP
A2	2	SP	2,5 Y R 3/4	2,5 Y R 2,5/4	PL	MP
A2	3	SP	2,5 Y R 2,5/4	10 R 2,5/2	PL	MP
A2	4	SP	2,5 Y R 3/4	10 R 3/4	PL	MP

A1 = área florestada; A2 = área agrícola; SP = subangular pequeno; SM = subangular médio; 2,5 Y R 3/4 = bruno avermelhado escuro; 2,5 Y R 2,5/4 = bruno avermelhado escuro; 10 R 2,5/2 = vermelho muito escuro; 10 R 3/4 = vermelho escuro acinzentado; Estr = estrutura; Plast = plasticidade; PL = plástico; Peg = pegajosidade; MP = muito pegajoso.

Os dados de análise morfológica são de extrema importância, pois dão uma idéia do quanto um solo pode direcionar, reter ou até mesmo dificultar a percolação da água no mesmo, dado o grau de estrutura, plasticidade e pegajosidade. A esse respeito, Knapp (1978 apud COELHO NETTO, 2005) argumenta que “o arranjo espacial dos materiais do solo influencia no direcionamento e no tempo da infiltração da água”.

No entanto, esses dados devem ser analisados com cautela, pois uma alta plasticidade ou pegajosidade, nem sempre implica em uma baixa condutividade hidráulica, por exemplo.

Quanto aos dados de análise textural, os mesmos podem ser evidenciados na tabela 2.

Os resultados mostram que, em todas as amostras, houve uma maior concentração de argila, como já era esperado. Porém, essa

maior concentração pôde ser evidenciada nas amostras da área florestada, ressaltando que as duas amostras foram coletadas no horizonte B1. Sabe-se que tal horizonte é considerado um horizonte iluvial, recebendo partículas e colóides dos horizontes situados acima, principalmente de argila, por ser uma partícula muito pequena e facilmente lixiviada.

Tabela 2: Resultados das análises texturais

Local	Amostra	Argila	Silte	Areia
A1	T1	81,95%	11,90%	6,15%
A1	T2	60,20%	32,20%	7,60%
A2	T1	47,35%	45,50%	7,15%
A2	T2	47,35%	39,50%	13,15%

A1 = área florestada; A2 = área agrícola; T1 = primeiro teste; T2 = segundo teste.

A respeito das amostras da área agrícola, apesar da argila ter sido encontrada em maior quantidade, nota-se que a concentração de silte aparece de forma bem destacada e que a concentração de argila é menor do que nas amostras da área de floresta.

Feita a análise granulométrica, transportaram-se os resultados analíticos para um digrama triangular, onde as diferentes classes texturais, foram delimitadas segundo as proporções de areia total, silte e argila. O diagrama utilizado foi o proposto pelo Soil Survey Staff do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte, modificado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, no qual foi introduzida mais uma classe textural, denominada argila pesada ou em outras palavras, solo muito argiloso (KIEHL, 1979). Dessa forma, obtiveram-se as seguintes classes texturais (Tabela 3).

Tabela 3: Classes texturais obtidas a partir das amostras coletadas

Local	Amostra	Classes Texturais
A1	T1	Muito argiloso
A1	T2	Muito argiloso
A2	T1	Argila Siltosa
A2	T2	Argiloso

A1 = área florestada; A2 = área agrícola; T1 = primeiro teste; T2 = segundo teste.

No entanto, as demais classes texturais identificadas, principalmente a do primeiro teste (T1), da área agrícola (A2), estão de

acordo com a literatura existente, já que segundo Branco et al. (1998) o perfil de solo do município de Londrina pode ser dividido em três camadas: argila siltosa porosa muito mole à média, vermelho escura; argila siltosa rija vermelho escura; e argila rija à dura.

Analizando o conjunto dos resultados, verificou-se que houve uma regularidade nas análises morfológicas e texturais. Observou-se que a maior parte das amostras apresentou estrutura subangular e pequena e cores muito próximas, tanto em condições secas como em condições úmidas. No entanto, durante as análises texturais, verificou-se uma quantidade significativa de silte nas amostras de solo da área agrícola (A2), o que não impediu tais amostras possuírem uma quantidade maior de argila em detrimento das demais classes texturais, silte e areia e de estarem enquadradas, segundo a literatura existente, nas classes texturais encontradas no município de Londrina. De maneira geral, todas as amostras demonstraram um alto teor de argila.

3.2 Condutividade hidráulica

No que diz respeito aos valores de condutividade hidráulica do solo em condição saturada, obtiveram-se nos testes *in-situ* com o permeâmetro Guelph os seguintes resultados (Tabela 4).

Tabela 4: Valores de Condutividade Hidráulica do Solo em Condição Saturada (Kfs)

Local	Técnica duas alturas de carga	Técnica uma altura de carga
A1-T1	Negativo	$7,7 \times 10^{-3}$ cm/s
A1-T2	Negativo	$4,1 \times 10^{-3}$ cm/s
A1-T3	Negativo	$2,1 \times 10^{-3}$ cm/s
A1-T4	$2,1 \times 10^{-3}$ cm/s	$1,8 \times 10^{-3}$ cm/s
Local (A2)		
A2-T1	$7,3 \times 10^{-4}$ cm/s	$4,35 \times 10^{-4}$ cm/s
A2-T2	$1,1 \times 10^{-3}$ cm/s	$3,2 \times 10^{-4}$ cm/s
A2-T3	$2,3 \times 10^{-4}$ cm/s	$4,7 \times 10^{-4}$ cm/s
A2-T4	$4,3 \times 10^{-4}$ cm/s	$1,4 \times 10^{-4}$ cm/s

A1 = área florestada; A2 = área agrícola; T1 = primeiro teste; T2 = segundo teste; T3 = terceiro teste; T4 = quarto teste.

Analizando a tabela 4, verifica-se que na área de floresta a técnica de duas alturas de carga praticamente não funcionou, pois dos

quatro testes executados, três apresentaram resultados negativos e apenas um apresentou resultado positivo, $2,1 \times 10^{-3}$ cm/s, denotando uma condutividade hidráulica média.

A ocorrência de resultados negativos na técnica de duas alturas de carga pode ser explicada por vários fatores. Segundo Reynolds, Elrick e Clothier (1985) alguns dos motivos podem ser:

- Erros de medição quando não atingido o “regime permanente”;
- Pequena variação espacial em escala das propriedades hidráulicas do solo;
- Erros nas medições de Q1 e Q2, devido à presença de bolhas de ar;
- Ar preso no solo
- Variação espacial devido à perturbação das características do solo, ocasionando condições de medição diferentes.

Um ponto importante a ser ressaltado é a grande ocorrência de bioporos e macroporos em áreas de floresta, dada a grande quantidade de matéria orgânica, insetos e raízes, o que por vezes pode ocasionar perturbações no solo como, por exemplo, pedoturbação, identificado no perfil de solo analisado (Figura 2b), já apresentada anteriormente.

A técnica de uma altura de carga, no entanto, mostrou-se mais satisfatória nessa área, apresentando resultados positivos e bem regulares na escala de 10^{-3} cm/s. Segundo a classificação de Terzagui e Peck (1967); Mello e Teixeira (1967) as condutividades hidráulicas determinadas através das duas técnicas na área florestada podem ser classificadas como média (Tabela 5).

Com relação à área agrícola, analisando a tabela 4, percebe-se que em ambas as técnicas os resultados apresentaram-se de forma mais regular. Na técnica de duas alturas de carga, dos quatro testes realizados, três resultados enquadraram-se na escala de 10^{-4} cm/s (T1, T3 e T4) e um em 10^{-3} cm/s (T2). Já na técnica de uma altura de carga, todos os resultados enquadraram-se na escala de 10^{-4} cm/s. A condutividade hidráulica nessa área, segundo a tabela 5, pode ser classificada como baixa.

Analisando a tabela 4, ficou nítido que houve uma discrepância entre as duas áreas de

estudo, no que diz respeito à técnica de duas alturas de carga, pois a área florestada (A1), apresentou três resultados negativos e apenas um positivo igual a $2,1 \times 10^{-3}$ cm/s, concordando com os resultados obtidos através da técnica de uma altura de carga para a mesma área de estudo (A1). Dessa maneira, a condutividade hidráulica pôde ser classificada como média, segundo a tabela 5. Um ponto importante a ser colocado é que para a execução de testes adotando-se a técnica de uma altura de carga, recomenda-se que quanto maior o deslocamento de carga de água, melhor será o resultado obtido.

Tabela 5: Relação dos valores de condutividade hidráulica e tipos de materiais

Coefficiente de Permeabilidade k (cm/s)	Grau de Permeabilidade Terzaghi e Peck (1967)	Tipo de Solo Mello e 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

Fonte: Terzagui e Peck (1967); Mello e Teixeira (1967).

Já na área agrícola (A2), obtiveram-se resultados positivos em ambas as técnicas, todos na escala de 10^{-4} cm/s, exceto para o segundo teste através da técnica de duas alturas de carga. Sendo assim, os resultados de acordo com a classificação da tabela 5, apresentaram uma condutividade hidráulica baixa.

Observando a tabela 4, verifica-se que a condutividade hidráulica da área florestada (A1) pode chegar a valores dez vezes mais altos em relação à área agrícola (A2). Isso se deve, principalmente, pelas características

biogeográficas do local, como presença de serrapilheira no solo, abundância de vegetação, bioporos, entre outros, favorecendo o processo de percolação da água no solo, apresentando consequentemente uma condutividade hidráulica mais alta.

Levando-se em consideração que as análises morfológicas e texturais mostraram-se similares em todas as amostras, a discrepância nos valores de condutividade hidráulica, entre as duas áreas de estudo, no que diz respeito à utilização da técnica de duas alturas de carga, pode ser explicada pelas descontinuidades hidrológicas do solo na área florestada, como por exemplo, macroporos, bioporos e pedoturbações, oriundos do alto grau de matéria orgânica e raízes presentes no local.

Os resultados de condutividade hidráulica obtidos nessa pesquisa foram considerados válidos, pois concordam com resultados de trabalhos já realizados na cidade de Londrina, observados em Santos (2005), Sousa e Celligoi (2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da técnica de duas alturas de carga e de uma altura de carga, mostrou que a técnica de uma altura de carga foi compatível entre as duas áreas de estudo.

Com relação à técnica de duas alturas de carga, tal técnica não mostrou ser compatível na área florestada, pois a maioria dos ensaios apresentou resultados negativos. No entanto, na área agrícola (A2), verificou-se que as duas técnicas são compatíveis.

A caracterização das duas áreas de estudo, bem como do solo em ambas as áreas, foram essenciais para a avaliação dos resultados de condutividade hidráulica, chegando-se à conclusão de que a ocorrência de resultados negativos na área florestada (A1) deveu-se principalmente à ocorrência de macroporos e bioporos no local, pois tanto os procedimentos laboratoriais com as amostras de solo, bem como os procedimentos utilizados *in situ* com o permeâmetro, foram os mesmos em todos os testes.

Os dados apresentados são de extrema importância, pois abrem uma perspectiva de

análise com uma quantidade maior de dados a serem avaliados adotando-se a mesma metodologia, ou seja, utilizando técnicas de uma e duas alturas de carga, associado a uma caracterização da área e do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao geógrafo Hugo Reis Medeiros, pela assistência nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

BOLDUC, S. A; LAROCQUE, M. B; PRICHONNET, G. Groundwater vulnerability in the Noire River watershed (Montérégie, Québec). **Revue des Sciences de l'Eau**, v. 19, n. 2, p.87-99, 2006.

BRANCO, C. J. M da C; MIGUEL, M. G; PINESE, J. P. P; TEIXEIRA, R. S. **Implantação do campo experimental de Engenharia Geotécnica no Campus da UEL**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 11. 1998. Brasília. *Anais...* Brasília/DF: ABPV, v.II, p.1015-1022, 1998.

CABRAL, Jaime. **Movimento das Águas Subterrâneas**. In: FEITOSA, Fernando. A.C; FILHO, João. M (Org). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997, p. 41.

CELLIGOI, A; SOUSA, R. V. B; MEDEIROS, H. R; LAMÔNICA, D; MACHADO, A. de C. **Utilização do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica da zona não-saturada do aquífero freático nas imediações do lixão de Londrina**. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006. *Anais...* Curitiba: ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2006. Cd-rom.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: GUERRA, A.. J. T. CUNHA, S. B (ogr). **Geomorfologia. Uma Atualização de Bases e**

Conceitos – 6º ed – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p.115-120.

CHEN, X; ZHANG, Z; CHEN, X; SHI, P. The impact of land use and land cover changes on soil moisture and hydraulic conductivity along the karst hillslopes of southwest China. **Earth and Environmental Science**. v. 59, n. 4, p.811-820, 2009.

COE, J. A; KINNER, D. A; GODT, J. W. Initiation conditions for debris flows generated by runoff at Chalk Cliffs, central Colorado. **Geomorphology**, v. 96, n. 3, p.270-297, 2008. DNPM. **Geologia do Brasil**. Brasília: 1984. p.331-353.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W. D; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Groundwater Monitoring & Remediation**, v.9, p.184-193, 1989.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, p.27.

ESPINHA MARQUES, J; DUARTE, J. M; CONSTANTINO, A. T; AGUIAR, C; ROCHA, F. T; MARQUES, J. M; SAMPER, J; BORGES, F. S; CARVALHO, J. M; CHAMINÉ, H. I. Avaliação *in situ* da condutividade hidráulica de solos de montanha: um caso de estudo na Serra da Estrela (Centro de Portugal). **Cadernos do Laboratorio Xeoloxico De Laxe**, v.34, p.143-164, 2009.

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

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE LONDRINA - IPPUL. **Levantamento Planialtimétrico da cidade de Londrina – PR**. Londrina: IPPUL, 2001.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relações Solo – Planta**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979, p.112 seq.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2º ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. p.414.

MELLO, V. F. B; TEIXEIRA, A. H. **Mecânica de solos**. São Carlos: Escola de Engenharia, 1967.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná, 2001, p.15. CD-ROM.

PETRI, S; FULFARO, V. J. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 9, 1983. p.235.

REYNOLDS, W. D; ELRICK, D. E; CLOTHIER, B. E. The constant head well permeameter: effects of unsaturated flow. **Soil Science**, v.139, n.2, p.172-180, 1985.

REYNOLDS, W. D; ELRICK, D. E. A method for simultaneous *in situ* preassessment in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationships. **Ground Water Monitoring**, v.6, n.1, p.84-95, 1986.

SANTOS, M M dos. *et al.* **Avaliação da Vulnerabilidade de Aquíferos da Formação Serra Geral: uma proposta metodológica**. In: CARVALHO, Márcia. S. de (org). **Geografia, Meio-Ambiente e Desenvolvimento**. Londrina: A autora, 2003. p.83.

SANTOS, M. M. dos. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. 2005, 130p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro. Rio Claro.

SOUSA, R. V. B; CELLIGOI, A.
Monitoramento hidrogeológico como
ferramenta de avaliação à degradação dos
recursos hídricos: Estudo realizado no aterro
controlado de Londrina – PR. **Geografia
(Londrina)**, v.18, n.1, jan/jun, 2009, p.45 –
63.

TAGIMA, N; TERABE, N. I. **Minibacia do
Riacho Cambé Diagnóstico Físico –
Ambiental e Mapeamento Detalhado de
Solos**. Londrina: Universidade Estadual de
Londrina – Departamento de Geociências,
2005, p.19 seq.

TERZAGUI, K; PECK, R. B. **Soil mechanics
and engineering practice**. New York: John
Wiley and Sons, 1967.

YU, D.S; SHI, X.Z; WEINDORF, D.C.
Relationships Between Permeability and
Erodibility of Cultivated Acrisols and
Cambisols in Subtropical China. **Pedosphere**,
v.16, n.3, p.304-311, 2006.

YARI, A; SHAGHAGHI, M; DARZI, A;
PAHLAVAN, R. The Best Method of Guelph
Analyses for Measuring Loamy Soils
Saturated Hydraulic Conductivity. **Journal of
Applied Sciences**, v.6, n.12, p.2657-2661,
2006.

Data de submissão: 16.09.2010

Data de aceite: 07.04.2011