

Avaliação da Permeabilidade de um Perfil de Planossolo com Base em Ensaios de Rebaixamento In Situ

Cezar Augusto Burkert Bastos

Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, Brasil, cezarbastos@furg.br

Diego de Freitas Fagundes

Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, Brasil, dffagundes@gmail.com

RESUMO: O comportamento hídrico dos terrenos tem grande relevância nos estudos ambientais, em particular na avaliação do impacto provocado por obras de Engenharia. As estruturas de drenagem e o próprio aterro estradal de obras rodoviárias alteram o regime das águas superficiais e as características de percolação nos terrenos contíguos. O trabalho em questão apresenta resultados obtidos na avaliação da permeabilidade *in situ* de um perfil de planossolo formado sobre depósitos holocênicos de planície lagunar na costa sul do Brasil. O perfil de solo estudado localiza-se à margem direita da obra de duplicação da BR116 (sentido Turuçu – Pelotas), nas proximidades do município de Pelotas/RS. O objetivo do estudo foi obter parâmetros de permeabilidade para análise da percolação em futura escavação para obra de drenagem e prever os impactos desta escavação sobre o regime hídrico de um terreno alagadiço (charco) vizinho onde habita uma espécie de peixe (rivulídeos) em risco ambiental. Foram realizados ensaios de rebaixamento em furos de sondagem a trado nas profundidades de 0,5, 1, 2, 3 e 4 m. O ensaio em questão é considerado um ensaio de carga a nível variável, realizado em furo de sondagem. De cada uma das profundidades de ensaio também foram coletadas amostras deformadas para ensaios de caracterização (granulometria e limites de Atterberg) e classificação geotécnica. Os resultados dos ensaios de rebaixamento mostraram um coeficiente de permeabilidade decrescente com a profundidade até 2 m (de $2,4 \cdot 10^{-5}$ a $4,1 \cdot 10^{-6}$ cm/s) voltando a aumentar em maior profundidade (até $4,4 \cdot 10^{-5}$ cm/s). O resultado é condizente com concentração de argila em subsuperfície, resultante da pedogênese dos planossolos. Os dados de granulometria confirmam o gradiente textural, indicando enriquecimento subsuperficial de argila e significativo aumento no teor de areia em maior profundidade. Os resultados foram considerados satisfatórios e subsidiarão uma modelagem numérica do fluxo resultante da escavação a ser executada e, por consequência, a indicação da melhor solução para minimizar impactos da obra no regime hídrico do charco.

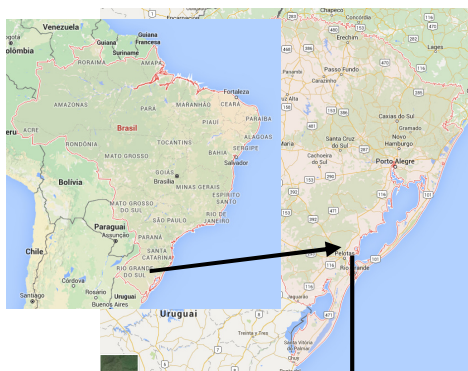
PALAVRAS-CHAVE: Permeabilidade, Ensaio de Rebaixamento em Tubo Aberto, Planossolos.

1 INTRODUÇÃO

O comportamento hídrico dos terrenos tem grande relevância nos estudos ambientais, em particular na avaliação do impacto provocado por obras de Engenharia. Em obras rodoviárias, as estruturas de drenagem e o próprio aterro da rodovia alteram o regime das águas superficiais e as características de percolação nos terrenos

contíguos.

No extremo sul do Brasil, entre os municípios de Pelotas e Turuçu, no estado do Rio Grande do Sul, realiza-se a obra de duplicação da rodovia BR116, onde junto ao km 510+500 é prevista a construção de uma galeria de drenagem que seccionará a pista existente e a nova pista em construção (Figura 1).



Imagens ©2016 CNES / Astrium, DigitalGlobe, Dados do mapa ©2016 Google

Figura 1. Localização da área de estudo (Google Maps, 2016)

Distante cerca de 70 m da escavação necessária para a construção da galeria existe um terreno alagadiço (charco) com extensão de 230 m onde habitam peixes rivulídeos. Os rivulídeos, ou peixes anuais (Figura 2), são caracterizados pelo porte pequeno e por viverem em ambientes aquáticos rasos do tipo charcos temporários. Os peixes depositam ovos no substrato dos charcos, onde permanecem inativos durante a fase de seca e voltam a se desenvolver depois de inundações. O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) aprovou, no dia 20 de junho de 2013, o Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Peixes Rivulídeos Ameaçados de Extinção. Um dos objetivos do plano é proteger os habitats remanescentes destes

animais, impedindo que sejam suprimidos, impactados ou manejados incorretamente (DNIT, 2013).



Figura 2. Rivulídeos ou peixes anuais encontrados na obra da rodovia (DNIT, 2013)

Visando o cumprimento do referido plano, dentro das metas de gestão ambiental da obra da rodovia, foi necessário avaliar o impacto das escavações da galeria no regime hídrico do terreno alagadiço. Para tal, foi fundamental a caracterização do perfil geotécnico e do perfil de permeabilidade do terreno.

Este trabalho apresenta os procedimentos e resultados obtidos na caracterização geotécnica e determinação do perfil de permeabilidade por meio de ensaios de rebaixamento a tubo aberto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área do estudo

O estudo foi realizado no terreno marginal esquerdo da rodovia BR116 (sentido Pelotas-Turuçu), no km 510+500 (Figura 1), local onde será realizada a escavação da galeria de drenagem na direção transversal ao eixo da rodovia.

No local, em um quadrilátero de 5 x 5 m, foram marcados 5 pontos equidistantes ao mínimo de 3 m para sondagens a trado e coleta de solos dos diferentes horizontes para caracterização geotécnica, servindo os furos para os ensaios de rebaixamento a tubo aberto. As profundidades dos furos foram de 0,5, 1, 2, 3 e 4 m (Figura 3).

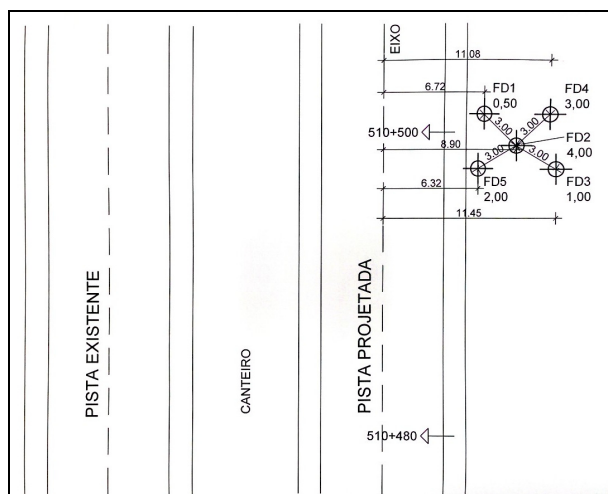


Figura 3. Croqui da área experimental com os pontos de coleta de amostras e ensaios

A geologia e a pedologia do terreno do local têm grande importância na interpretação da caracterização geotécnica e do perfil de permeabilidade. Segundo recorte do Mapa Geológico da Folha Pelotas/Mostardas – SH.22-Y-D/Z-C (IBGE, 2003) ilustrado na Figura 4, a área de estudo tem como substrato geológico a unidade TQPg, caracterizada por arenitos arcoseanos fracamente consolidados constituindo depósitos de leques aluviais. O solo formado deste substrato pertence à classe dos Planossolos Eutróficos com textura média/argilosa (unidade PLe3 na Figura 5), ou *Subdystric Paraquic Ochric Planosol* pela Soil Taxonomy, inseridos na unidade geomorfológica Planície Lagunar Alta (Cunha e Silveira, 1996).



Figura 4. Geologia da área de estudo (modificado de IBGE, 2003)

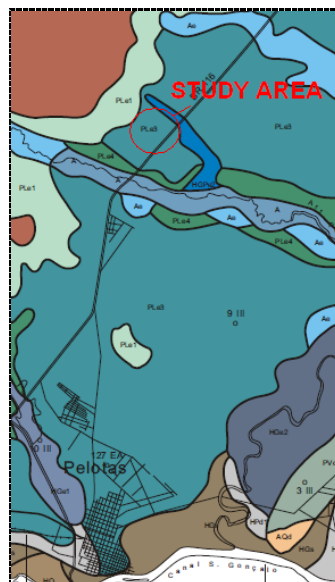


Figura 5. Pedologia da área de estudo (modificado de Cunha e Silveira, 1996)

Cunha e Silveira (1996) descrevem este planossolo como um solo profundo, com drenagem imperfeita. O horizonte superficial A apresenta de 30-80 cm de espessura, textura média com 6-10% de argila, estrutura pobre (maciça), acidez forte, cor bruno a acinzentado escuro. O perfil apresenta uma transição textural abrupta e plana para o horizonte subsuperficial B, com textura argilosa (25-40% de argila), estrutura fraca (blocos angulares ou prismática), consistência muito firme quando úmida e muito dura quando seca. Os autores indicam neste horizonte a presença de um *clay-pan* que dificulta a penetração de água e também de mosqueados avermelhados e bruno muito amarelados, caracterizando drenagem imperfeita. Logo, os registros pedológicos já indicam drenagem deficiente e retenção de água pelo gradiente textural do perfil (acréscimo no teor de argila) do horizonte A para o B.

2.2 Caracterização geotécnica dos materiais

Para a caracterização geotécnica dos materiais em profundidade foram coletadas amostras a trado no entorno das profundidades de 0,5, 1, 2, 3 e 4 m, em quantidade suficiente para os ensaios de caracterização em laboratório (Figura 6). As amostras devidamente embaladas e identificadas foram conduzidas ao Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande – FURG e submetidas

aos ensaios de caracterização geotécnica segundo as normas brasileiras: NBR 6457/2016 (Amostras de Solos – Preparação para Ensaios de Compactação e Caracterização); NBR 7181/1984 (Solo – Análise Granulométrica); NBR 6459/2016 (Solo – Determinação do Limite de Liquidez); NBR 7180/2016 (Solo – determinação do Limite de Plasticidade). A partir destes resultados foram obtidas as classificações HRB-AASHTO e SUCS.



Figura 6. Obtenção de amostras a trado para caracterização geotécnica dos materiais

2.3 Ensaios de permeabilidade

Para obtenção do coeficiente de permeabilidade dos materiais nas referidas profundidades, foi utilizado o ensaio de rebaixamento a tubo aberto. Os ensaios de rebaixamento a tubo aberto realizados seguiram as indicações da publicação da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental) – Ensaios de Permeabilidade em Solos – orientação para sua execução no campo – 4ª edição (ABGE, 2013).

O ensaio em questão é considerado um ensaio de carga a nível variável, realizado em furo de sondagem. No ensaio o nível d'água no interior do tubo é alterado pela adição de água até a posição considerada inicial de ensaio. A tendência do nível d'água retornar a posição original é monitorada ao longo do tempo. Em outras palavras, um tubo de PVC é inserido até a profundidade de ensaio, introduzido água até o nível inicial e posteriormente mede-se a velocidade de rebaixamento do nível de água. A Figura 7 mostra o esquema do ensaio.

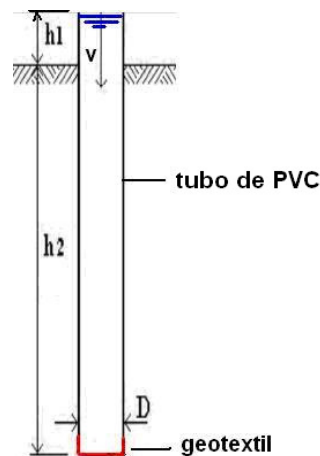


Figura 7. Esquema do ensaio de permeabilidade

Como se permite uma suficiente percolação prévia à realização das medições considera-se no entorno da ponta do furo o fluxo saturado. Por outro lado, como a ponta do tubo inserido coincide com o fundo do furo aberto a trado, adotou-se como hipótese que a água infiltra no terreno segundo superfícies esféricas concêntricas (Figura 8). Neste caso, o coeficiente permeabilidade (k) do terreno pode ser estimado pela expressão 1.

$$k = \left[\frac{D}{8 \cdot (h1 + h2)} \right] \cdot \left[\frac{\Delta h}{\Delta t} \right] \quad (1)$$

onde: D = diâmetro interno do tubo (Figura 7); $h1 + h2$ = altura da coluna de água até a base do tubo (Figura 7); $\Delta h/\Delta t$ = velocidade de rebaixamento medida.

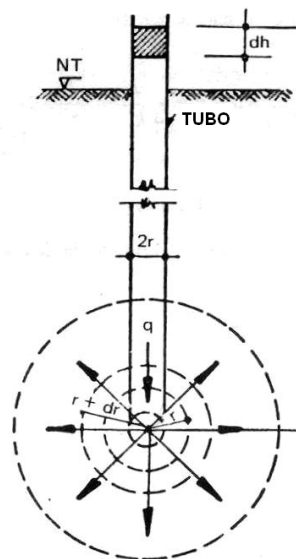


Figura 8. Hipótese de fluxo por superfícies concêntricas

A Figura 9 ilustra a seqüência de operações na montagem e realização dos ensaios.

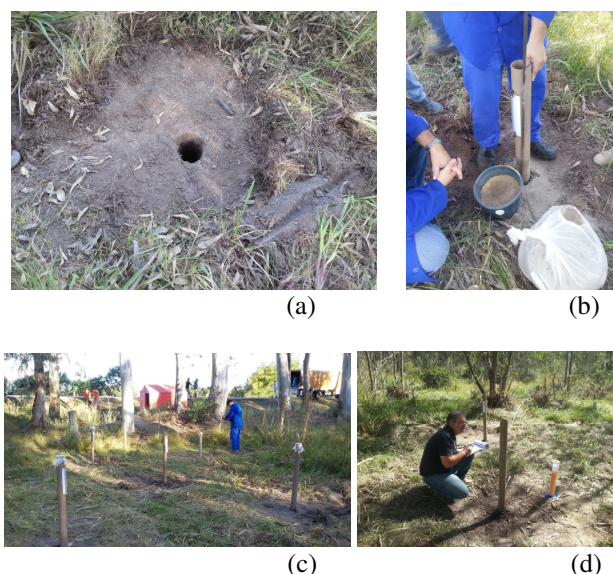


Figura 9. Seqüência de operações no ensaio de rebaixamento por tudo aberto. (a) abertura do furo; (b) instalação do tubo; (c) tubos instalados nas diferentes profundidades; (d) realização das medições.

3 RESULTADOS

Os resultados da análise granulométrica e limites de Atterberg e a classificação dos solos são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização

Amostra prof (m)	Pedreg (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	IP (%)
0 - 0,5	5	52	23	20	27	10
0,5 - 1,0	15	30	30	25	33	13
1,0 - 2,0	-	56	15	29	40	24
2,0 - 3,0	-	52	23	25	38	24
3,0 - 4,0	15	57	10	18	26	14

Tabela 2. Classificação geotécnica

Amostra prof (m)	Classificação geotécnica (HRB-AASHTO)	Classificação geotécnica (SUCS)
0 - 0,5	A4(4)	CL
0,5 - 1,0	A6(6)	CL
1,0 - 2,0	A6(8)	CL
2,0 - 3,0	A6(8)	CL
3,0 - 4,0	A2-6(1)	SC

A2-6 – areias argilosas; A4 – solos silteosos; A6 – solos argilosos
CL – argilas de baixa compressibilidade; SC – areias argilosas

As curvas granulométricas dos solos nas diferentes profundidades são apresentadas na Figura 10.

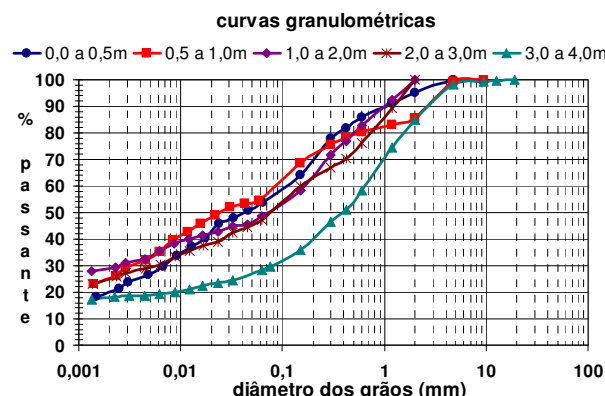


Figura 10. Curvas granulométricas dos solos nas diferentes profundidades

Os resultados da caracterização geotécnica indicam que o perfil de solo apresenta acréscimo em argila em subsuperfície, resultante do processo pedogenético de lessivagem, atingindo maior teor de argila (29%) e índice de plasticidade (24%) no intervalo de 1,0 a 2,0 metros. Lessivagem é o processo pedogenético caracterizado pela transferência vertical de argila coloidal do horizonte superficial ao subsuperficial, resultando no gradiente textural característico dos planossolos.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os coeficientes de permeabilidade dos solos nas diferentes profundidades de ensaio. A Figura 11 ilustra os valores de coeficiente de permeabilidade ao longo da profundidade. Observa-se que a permeabilidade do terreno diminui no horizonte subsuperficial mais argiloso (com 25% a 29% de argila), com valores de k entre 4.10^{-6} e 5.10^{-6} cm/s, e tende a apresentar valor mais elevado a 4,0 m de profundidade ($k = 4,37.10^{-5}$ cm/s), onde o perfil do terreno torna-se mais arenoso (72% de pedregulho + areia).

Os resultados de permeabilidade com a profundidade explicam a drenagem deficiente atribuída aos planossolos.

Tabela 3. Resultados dos ensaios rebaixamento a tudo aberto

Prof. ensaio (m)	D (cm)	h1 + h2 (cm)	$\Delta h / \Delta t$ (cm/s)	k (cm/s)
0,5	7,45	111	0,0029	$2,43 \cdot 10^{-5}$
1,0	6,60	186	0,0053	$2,35 \cdot 10^{-5}$
2,0	6,60	285	0,0017	$4,92 \cdot 10^{-6}$
3,0	6,60	384	0,0019	$4,08 \cdot 10^{-6}$
4,0	6,60	485	0,0257	$4,37 \cdot 10^{-5}$

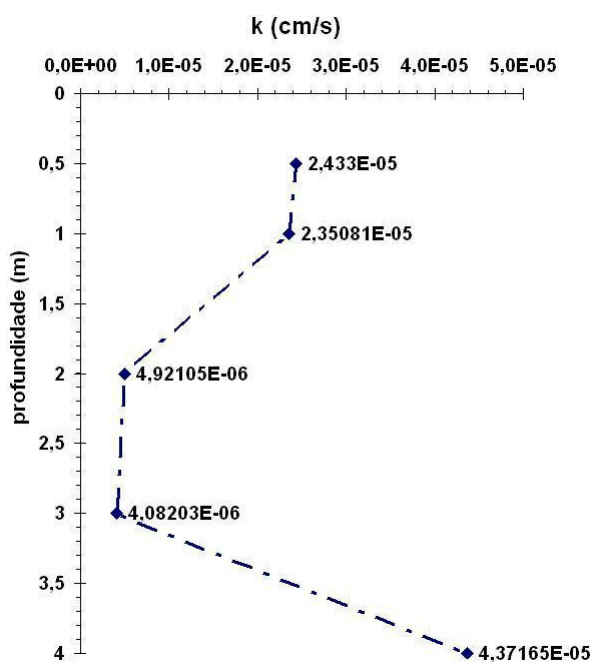


Figura 11. Perfil de permeabilidade

4 CONCLUSÕES

Os ensaios de rebaixamento a tubo aberto realizados mostram que no perfil de solo na área de estudo tem-se valores de coeficiente de permeabilidade condizentes com areias siltosas a areias argilosas, em acordo com a granulometria revelada nos ensaios de caracterização.

A permeabilidade do solo reduz significativamente nas profundidades ensaiadas de 2,0 e 3,0 m e volta a atingir um valor bem mais elevado na profundidade de 4,0 m, resultante do enriquecimento em argila no horizonte subsuperficial. Os resultados são condizentes com a pedogênese dos planossolos e com a consequente drenagem deficiente do perfil.

Os resultados explicam a retenção sazonal de

água pelo horizonte subsuperficial, importante no regime hídrico do charco, habitat dos rivulídeos.

Por fim estes dados subsidiarão uma análise numérica do fluxo resultante da escavação a ser executada e, portanto, a indicação da melhor solução para minimizar impactos da obra no ambiente do entorno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao corpo técnico do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG e às empresas Mac Engenharia e Enecon Engenheiros e Economistas Consultores S.A. pela oportunidade do estudo.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Geologia e Engenharia e Ambiental - ABGE (2013). *Ensaio de permeabilidade em solos: orientações para a sua execução no campo*. ABGE, São Paulo, 75p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) *NBR6457/2016 - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. ABNT, São Paulo/SP, 8p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) *NBR6459/2016 - Solo - Determinação do limite de liquidez*. ABNT, São Paulo/SP, 5p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) *NBR7180/2016 - Solo — Determinação do limite de plasticidade*. ABNT, São Paulo/SP, 3p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016) *NBR7181/1984 - Solo - Análise granulométrica*. ABNT, São Paulo/SP, 13p.
- Cunha, N. G. e Silveira, R. J. C. (1996). *Estudo dos solos do município de Pelotas*. Documentos CPACT 12/96, EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel, Pelotas, 50 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2013). BR-392: Os cuidados do DNIT com os peixes anuais. *Boletim BR-116/392 Gestão Ambiental*, n.19, p. 2-2
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2003). *Mapa geológico das Folhas Pelotas/Mostardas - SH.22-Y-D/Z-C*. IBGE, Florianópolis.
- Google (2016). “BR 116, 510 – Sítio Floresta.” Imagens CNES/Astrium, Digital Globe, <https://www.google.com.br/maps/place/BR-116,+510+-+Sítio+Floresta>