

### 3.

## Descrição do local

### 3.1

#### Histórico

O terreno objeto da presente dissertação está localizado na Barra da Tijuca, zona oeste do Rio de Janeiro, mais especificamente na região mostrada na figura 3.1. A área em estudo foi descrita por Sandroni (2001).

Um aterro arenoso foi lançado entre março e maio de 1996 em uma área de 90.000 m<sup>2</sup> destinada a ser um estacionamento de um parque temático na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ. O terreno local, cuja cota original era +0,40 m (IBGE), consiste de uma camada superficial de turfas e argilas extremamente moles, com espessura entre 2 metros e mais do que 15 metros, sobrejacente a sedimentos arenosos e argilosos mais competentes. O nível d'água coincidia com a superfície do terreno e não foi observado excesso de pressão artesianiana na base da camada extremamente mole.



Figura 3.1 – Localização da área em estudo



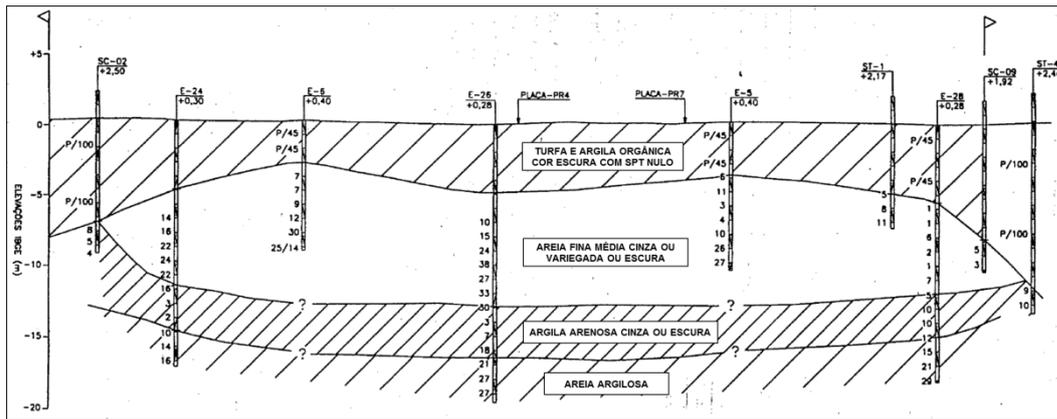


Figura 3.3 – Perfil geotécnico típico

Não se conseguiu na documentação da obra a informação do caimento dado ao pavimento em direção ao sistema de drenagem, mas assume-se que um valor aceitável, considerando as dimensões envolvidas, seja 0,5% (1:50). Logo, com base nesse valor e no projeto de drenagem – do qual se dispunha (Geoprojetos, 1997) –, gerou-se a planialtimetria idealizada do terreno logo após o asfaltamento, situação mostrada na figura 3.4.



Figura 3.4 – Planialtimetria logo após o asfaltamento

### 3.2

#### Situação após o asfaltamento

Ainda citando Sandroni (2001), em novembro de 2000, em visita ao local, constatou-se um desnível abrupto entre os blocos estaqueados (torres e caixa) e o asfalto lançado sobre o aterro. Esses desníveis (que obviamente correspondem aos recalques ocorridos entre dezembro de 1997 e novembro de 2000) foram iguais a 28 cm, tanto na torre 1 quanto na caixa (ver figura 3.2) e a 12 cm na torre 3.

Outras visitas foram feitas ao local posteriormente, e o desnível entre as estruturas estaqueadas e o restante do aterro continuou aumentando, conforme pode-se observar na sequência de fotos da figura 3.5. Em cada uma dessas ocasiões o desnível na caixa foi medido com trena, e os valores são os da tabela 3.1.



Figura 3.5 – Evolução dos recalques no entorno de uma caixa estaqueada

Tabela 3.1 – Desníveis medidos com trena

Data da medição	Desnível (cm)
09 NOV 2000	28
26 MAR 2004	50
04 OUT 2006	55
05 MAR 2013	62

Com maior ou menor intensidade, todo o pátio de estacionamento sofreu recalques após o asfaltamento, e a diferença de magnitude desse recalque em cada ponto provocou acentuadas ondulações no terreno. Para que se pudesse quantificar a extensão das depressões formadas, conseguiu-se uma equipe de topografia para proceder a um levantamento planialtimétrico no local. O resultado desse trabalho pode ser visto na figura 3.6, onde as curvas de nível possuem equidistância vertical de 10 cm.



Figura 3.6 – Situação planialtimétrica do terreno em 2013

Para que se possa ter uma melhor visualização da situação em que se encontra o pátio 18 anos após o lançamento da capa asfáltica, foi feita uma modelagem digital do terreno a partir dos dados do levantamento topográfico, o que pode ser conferido na figura 3.7.

### 3.3

#### **Acompanhamento de recalques no início da obra**

Como o objetivo do presente estudo é analisar a evolução do recalque no pátio de estacionamento ao longo dos 18 anos que separam sua construção dos dias atuais, faz-se necessário o máximo de informações de acompanhamento disponíveis do período de lançamento do aterro. E, preferencialmente, que essas informações sejam tão próximas quanto possível das estruturas estaqueadas existentes, já que elas se prestam como referências expeditas para a medição dos recalques em andamento.

Valendo-se novamente das informações apresentadas por Sandroni (2001), sabe-se que entre 30 e 90 dias após o lançamento do aterro foram instaladas seis placas superficiais para acompanhamento dos recalques, cobrindo uma área do aterro onde a espessura da camada de solo extremamente mole variava entre 3,0 e 4,7 metros, e a espessura de aterro variou entre 2,3 e 2,9 metros. O acompanhamento foi feito por um período um pouco maior do que um ano, terminando em 22 de abril de 1997. A tabela 3.2 apresenta um resumo dessas informações.



Tabela 3.2 – Leituras de placas de recalque disponíveis

<b>Placa</b>	<b>PR-4</b>	<b>PR-5</b>	<b>PR-6</b>	<b>PR-7</b>	<b>PR-8</b>	<b>PR-9</b>
<b>Espessura de aterro (m)</b>	2,30	2,30	2,40	2,50	2,90	2,10
<b>Espessura de solo mole (m)</b>	4,70	4,50	4,50	4,00	4,50	3,00
<b>Início do lançamento</b>	15/mar/96	01/abr/96	13/mai/96	15/mar/96	01/abr/96	01/mar/96
<b>Início das leituras</b>	29/abr/96	29/abr/96	24/jun/96	29/abr/96	20/mai/96	20/mai/96
<b>Fim das leituras</b>	22/abr/97	22/abr/97	22/mai/97	22/abr/97	22/abr/97	22/abr/97
<b>Total de dias com leitura</b>	358	358	332	358	337	337
<b>Total de dias com acompanhamento</b>	403	386	374	403	386	417

É informado, também, que nos locais das placas PR-6, PR-8 e PR-9 há suspeita de que tenham ocorrido rupturas localizadas, com deslocamento da parte superior da camada de argila (de 1 a 2 metros) durante o lançamento do aterro, tendo sido registradas diversas ocorrências desse tipo, como estufamentos do solo extremamente mole (“mud-waves”) e trincamentos no aterro nas frentes de lançamento.

Em vista disso, as informações de recalque fornecidas pelas placas PR-6, PR-8 e PR-9 (e por consequência os desníveis medidos entre a torre 3 e o aterro) não puderam ser aproveitadas. As informações da placa PR-7 também tiveram que ser descartadas, pois apesar de não ter ocorrido ruptura naquele local, sua distância até os blocos estaqueados mais próximos (torre 1 e caixa) é de aproximadamente 100 metros, e por isso optou-se por não considerar suas informações como sendo representativas para os recalques ocorridos no entorno daqueles blocos.

Logo, as únicas informações de recalque que podem ser aproveitadas no presente trabalho são as fornecidas pelas placas PR-4 e PR-5. Os recalques ali medidos no período aproximado de um ano são apresentados na figura 3.8.

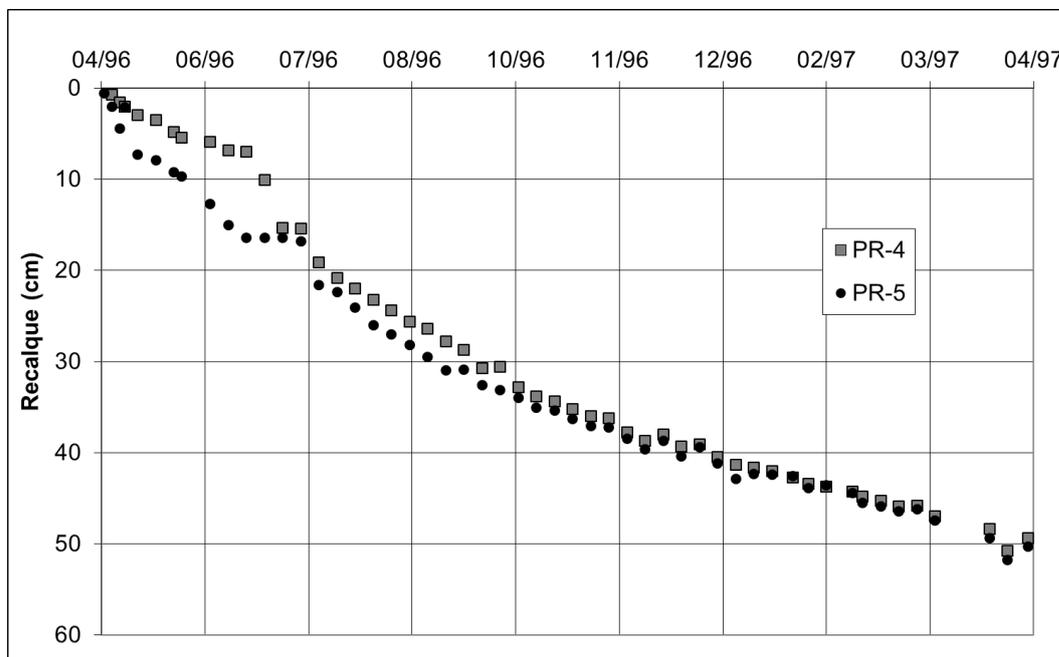


Figura 3.8 – Leituras das placas de recalque

### 3.4

#### Ensaio executado antes da obra

Os ensaios de sondagem com SPT, cujas posições podem ser vistas na figura 3.2, foram executados com medição da umidade natural do material coletado do bico do amostrador. A partir dos valores obtidos, pode-se plotar a curva de distribuição da umidade em função da profundidade (figura 3.9).

Sandroni (2001) expõe, ainda, que ensaios de adensamento convencionais realizados em amostras tipo Shelby com 3” apresentaram os seguintes valores de coeficiente de adensamento: (a) para a parte turfosa mais perto da superfície, com umidades na faixa de 500% a 600%,  $c_v = 1$  a  $6 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/s, independentemente do nível de tensões; (b) para a parte argilosa mais profunda, com umidade na faixa de 200% a 270%,  $c_v = 2$  a  $13 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/s na recompressão e  $c_v = 0,1$  a  $4 \times 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/s na compressão virgem. Esses valores são mostrados na figura 3.10.

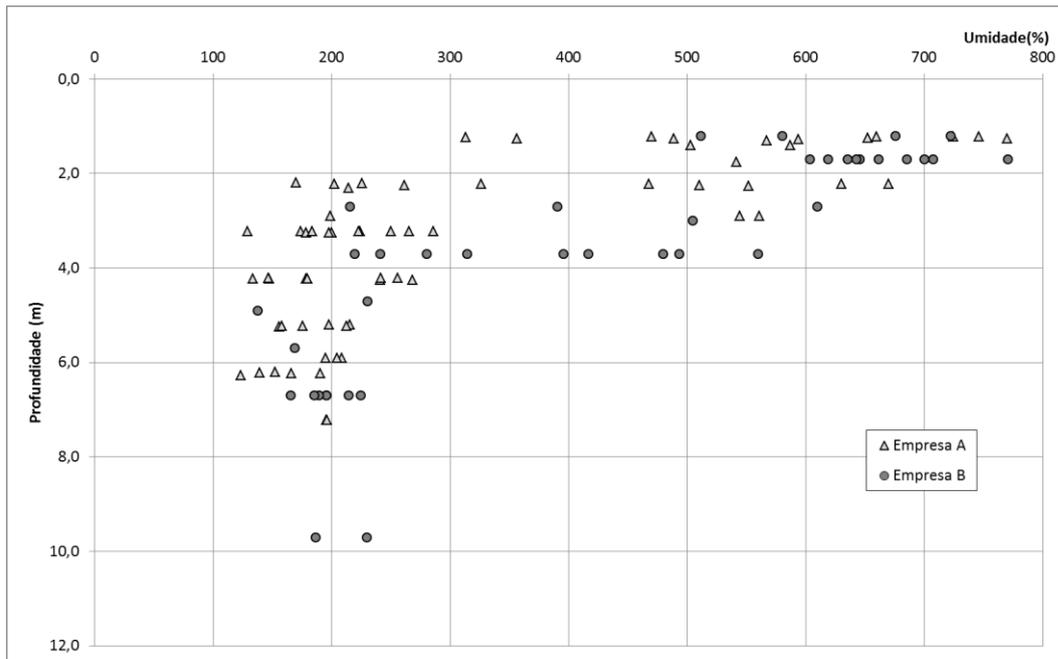


Figura 3.9 – Perfil de umidades obtidas de sondagens

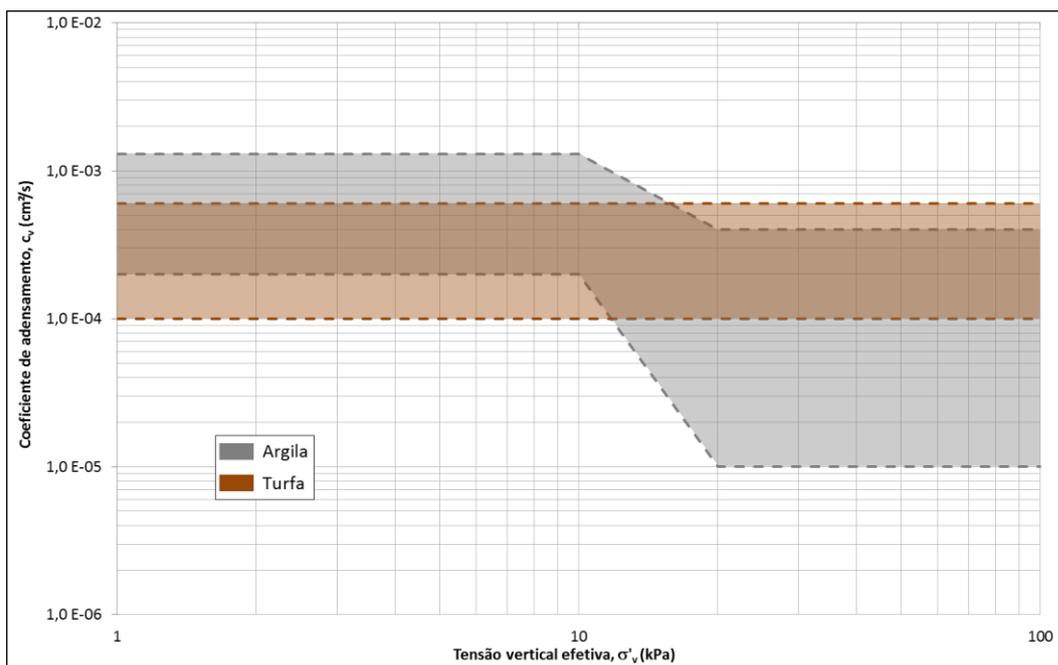


Figura 3.10 – Variação dos coeficientes de adensamento

Da documentação da obra disponível (Geoprojetos, 1997), foram obtidas informações sobre ensaios de laboratório do ano de 1995, realizados em três amostras indeformadas, cujas posições são mostradas na figura 3.2 como ES-1, ES-2 e ES-3 (indicadas por círculos vermelhos). Os resultados seguem na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Resumo dos ensaios de laboratório

Furo	ES-01			ES-02			ES-03		
	1,40	2,90	5,90	1,75	2,90	5,90	1,40	2,90	5,90
<b>Prof. (m)</b>	1,40	2,90	5,90	1,75	2,90	5,90	1,40	2,90	5,90
<b>Umidade (%)</b>	587	199	209	541	544	205	503	561	195
<b>G<sub>s</sub></b>	1,93	2,22	2,22	1,93	1,93	2,22	1,93	1,93	2,22
<b>γ<sub>nat</sub> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	10,7	12,5	12,7	10,6	10,5	12,1	10,5	10,7	12,4
<b>e<sub>0</sub></b>	11,3	4,4	4,6	10,4	10,5	4,5	9,7	10,8	4,3
<b>LL (%)</b>	659	205	242	645	659	165	641	620	147
<b>LP (%)</b>	267	57	72	181	263	62	210	261	61
<b>IP (%)</b>	392	148	170	464	396	103	431	359	86
<b>σ'<sub>p</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	7,4	6,6	12,0	3,7	4,9	12,1	8,0	6,2	16,2
<b>C<sub>c</sub> / 1+e<sub>0</sub></b>	0,48	0,49	0,54	0,47	0,43	0,51	0,65	0,49	0,58

Em verticais ao lado dos furos ES-01 e ES-02, foram executados ensaios de palheta de campo (vane borer), sendo os resultados apresentados na figura 3.11:

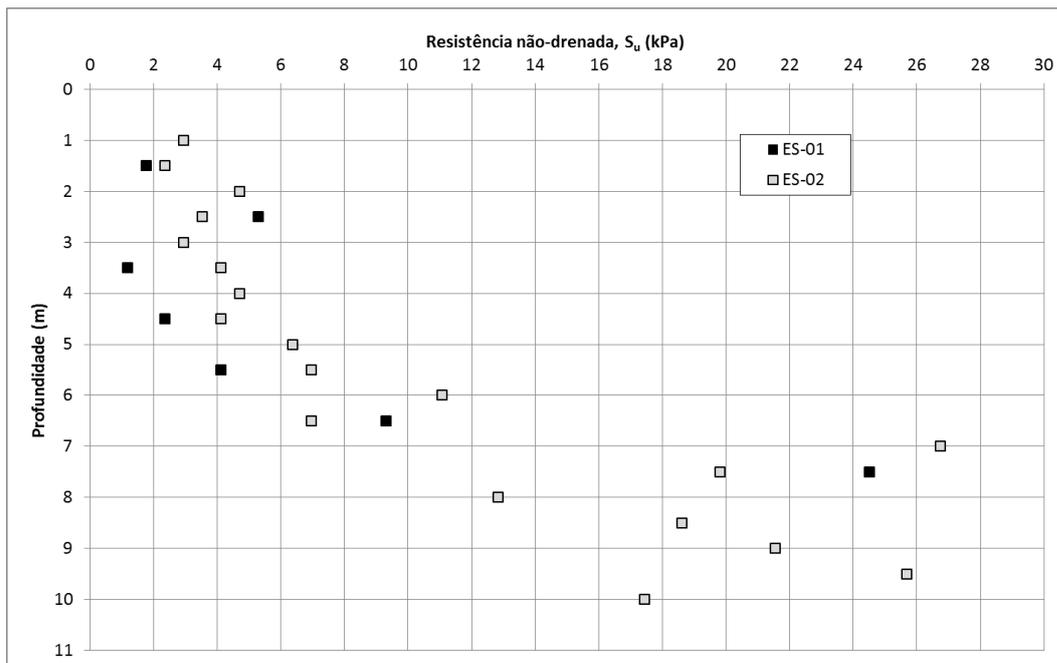


Figura 3.11 – Resistência não drenada obtida por ensaios de palheta

### 3.5

#### Definição dos locais de estudo

Para a presente dissertação, havia o planejamento de serem executados ensaios em campo (como CPTu e ensaio de palhetas), coleta de amostras indeformadas tipo Shelby (para ensaios de laboratório) e instalação de benchmarks e marcos superficiais para o acompanhamento de recalques. A escolha da posição para a campanha de ensaios recaiu, naturalmente, no local onde se possuía o melhor conhecimento da evolução dos recalques desde o início do lançamento do aterro, que era o entorno da torre 1 e caixa. Essa foi a principal área de estudos e será chamada, daqui por diante, de **Local 1**.

Pela facilidade de acesso ao pátio, já que o estacionamento encontrava-se desativado, decidiu-se instalar benchmarks e marcos também em outros dois pontos do terreno, para que os recalques fossem acompanhados a título de comparação. Esses locais serão chamados de **Local 3** (torre 3) e **Local 4** (torre 4). A figura 3.12 mostra uma imagem de satélite indicando a posição de cada um dos locais citados, e a figura 3.13 evidencia a magnitude dos recalques ocorridos após o asfaltamento.

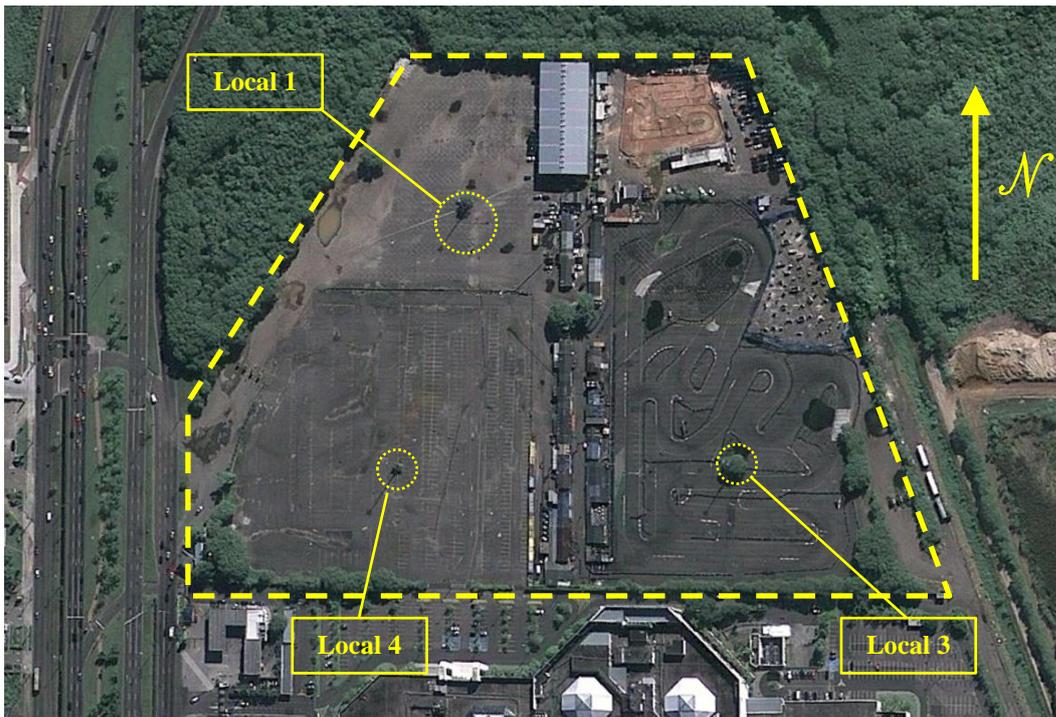


Figura 3.12 – Definição dos locais de estudo



Figura 3.13 – Desnível entre estruturas estaqueadas e o aterro após o asfaltamento

### 3.6

#### Estudos desenvolvidos em terrenos vizinhos

Tendo em vista a pequena quantidade de ensaios disponíveis no solo virgem da área em estudo e, ainda, a pouca informação sobre as condições de execução desses ensaios, fez-se valer de ensaios de campo e laboratório executados em terrenos vizinhos para que os mesmos servissem como comparação para os parâmetros apresentados nos itens anteriores. A figura 3.14 apresenta esses locais e as respectivas pesquisas lá realizadas.

A tabela 3.4 exibe as informações oriundas de ensaios de laboratório (caracterização e adensamento oedométrico) retiradas de Martins (2000), Baroni (2010) e Baldez (2013).



Figura 3.14 – Localização dos ensaios disponíveis em terrenos vizinhos

Tabela 3.4 – Resultados de ensaios de laboratório obtidos de ensaios em terrenos vizinhos

<b>Dados Martins (2000)</b>						
<b>Furo</b>	<b>Prof. (m)</b>	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$	<b>CR</b>	$\sigma'_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_{vmed}$ (NA)
205	2,35	10,4	11,75	0,41	< 3,0	3,25E-06
	4,35	11,3	7,17	0,42	9,0	1,39E-04
	8,35	11,9	5,78	0,38	6,6	7,28E-05
	12,35	12,8	3,87	0,53	25,5	4,91E-04
207	2,35	10,1	13,2	0,56	7,5	6,98E-06
	4,90	12,4	5,58	0,36	7,5	7,34E-03
	7,35	11,8	6,98	0,59	33,0	1,27E-04

<b>Dados Baroni (2010) - Gleba F</b>									
<b>Prof. (m)</b>	$w_{med}$ (%)	<b>IP (%)</b>	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$	$G_s$	<b>CR</b>	$\sigma'_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_{vmed}$ (NA) (cm <sup>2</sup> /s)
1,45	442,9	174,0	10,0	8,14	1,715	0,46	24,0	2,7	1,98E-03
2,25	670,7	308,7	10,2	12,37	1,813	0,45	4,2	2,5	1,82E-06
3,45	514,2	95,1	10,6	12,24	2,337	0,41	3,2	3,7	2,92E-06
4,45	234,6	121,8	11,7	6,07	2,523	0,35	3,8	5,0	7,85E-04
5,45	242,6	152,9	11,9	6,10	2,503	0,42	8,0	7,0	6,79E-05
6,45	191,9	122,0	12,2	4,76	2,455	0,44	6,2	9,2	8,24E-05
7,45	200,4	120,7	11,6	5,47	2,552	0,46	12,0	11,3	7,59E-05
8,45	191,2	124,9	12,0	5,08	2,545	0,54	17,0	13,2	5,08E-05
10,45	192,5	177,2	11,8	4,71	2,337	0,31	9,2	17,3	-
12,45	167,1	131,3	12,7	4,03	2,430	0,44	27,0	22,1	5,17E-05
14,45	189,6	95,6	11,9	4,85	2,450	0,53	43,0	27,0	1,28E-04

<b>Dados Baldez (2013)</b>									
<b>Furo</b>	<b>Prof. (m)</b>	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_s$	$e_0$	$w_{med}$ (%)	<b>IP (%)</b>	$\sigma'_p$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_{vo}$ (kN/m <sup>2</sup> )	<b>CR</b>
V5	0,58	10,5	1,890	11,77	503,1	521,0	15,0	0,3	0,46
	1,58	11,7	2,400	12,82	255,6	328,0	7,0	1,5	0,51
	2,58	12,4	2,550	6,87	188,2	65,0	7,0	3,6	0,35
	3,58	11,1	2,060	11,48	494,4	472,0	9,0	5,3	0,41
V6	0,58	10,7	1,880	9,61	513,4	655,0	9,0	0,3	0,49
	1,58	12,0	2,380	11,06	228,0	454,0	7,0	1,5	0,46
	3,58	10,6	2,310	10,07	418,2	370,0	6,0	5,3	0,45

Das investigações de campo realizadas estão disponíveis ensaios de palheta, piezocone (uma vertical com 6 ensaios de dissipação) e sonda piezométrica (8 ensaios de dissipação) de Baroni (2010), duas verticais de piezocone (com um ensaio de dissipação) executadas na obra da Transcarioca (2013) e duas verticais de piezocone (com 1 ensaio de dissipação) e duas verticais de umidade retirada de

sondagens executadas na obra da Rótula da Barra (Rótula, 2000). As figuras 3.15 a 3.20 apresentam esses ensaios, que serão analisados em detalhes no capítulo 7.

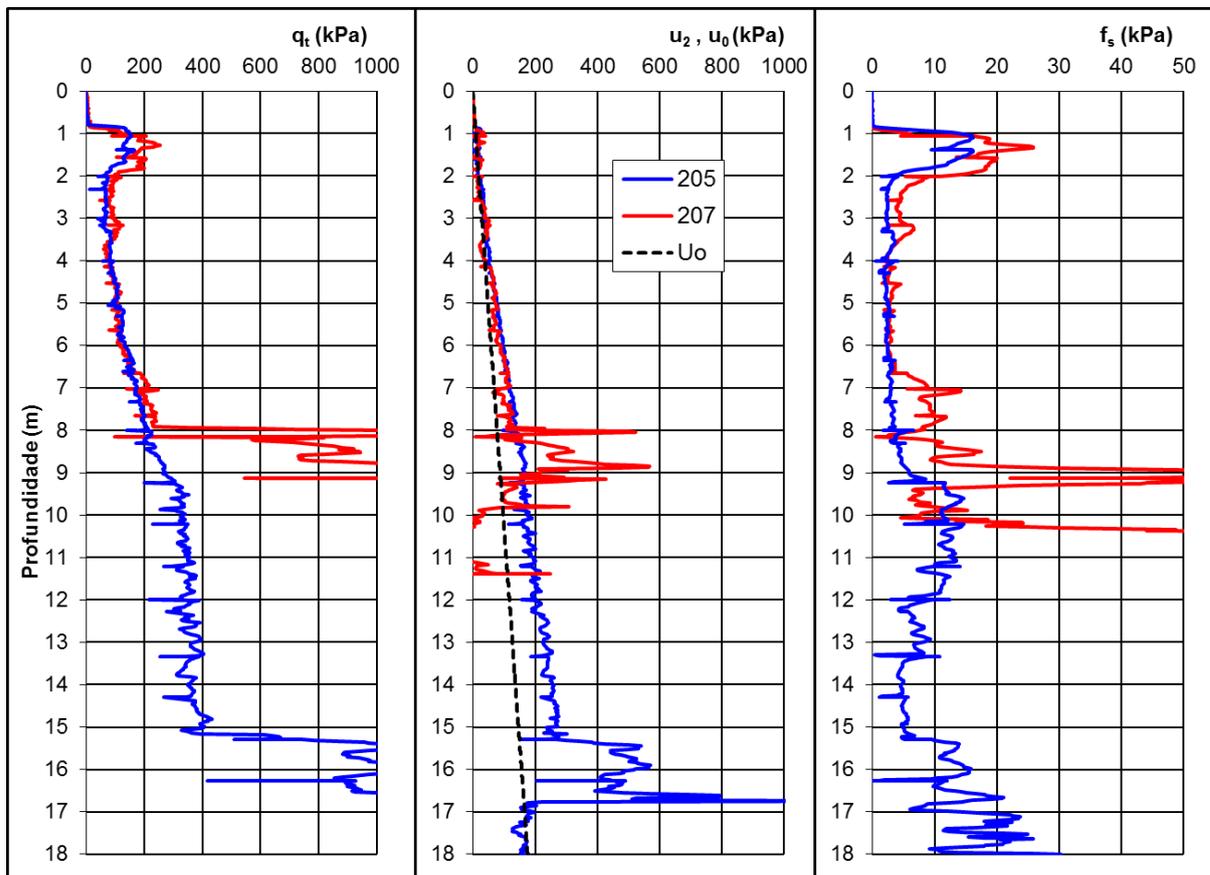


Figura 3.15 – Ensaio de piezocone obtidos na obra da Rótula (2000)

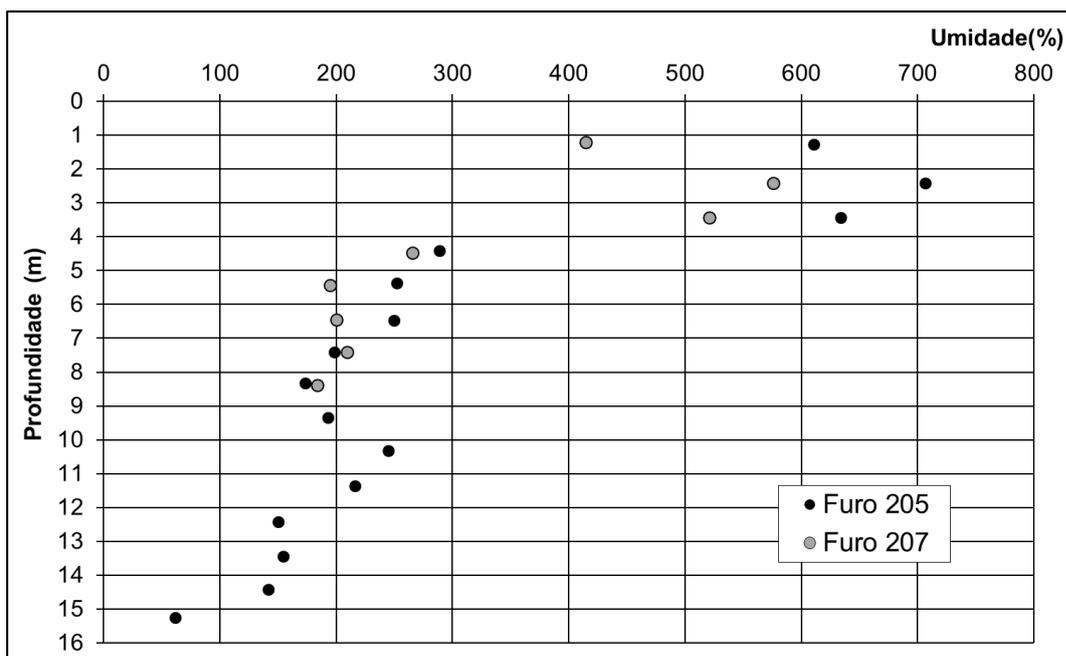


Figura 3.16 – Perfil de umidades obtidos na obra da Rótula (2000)

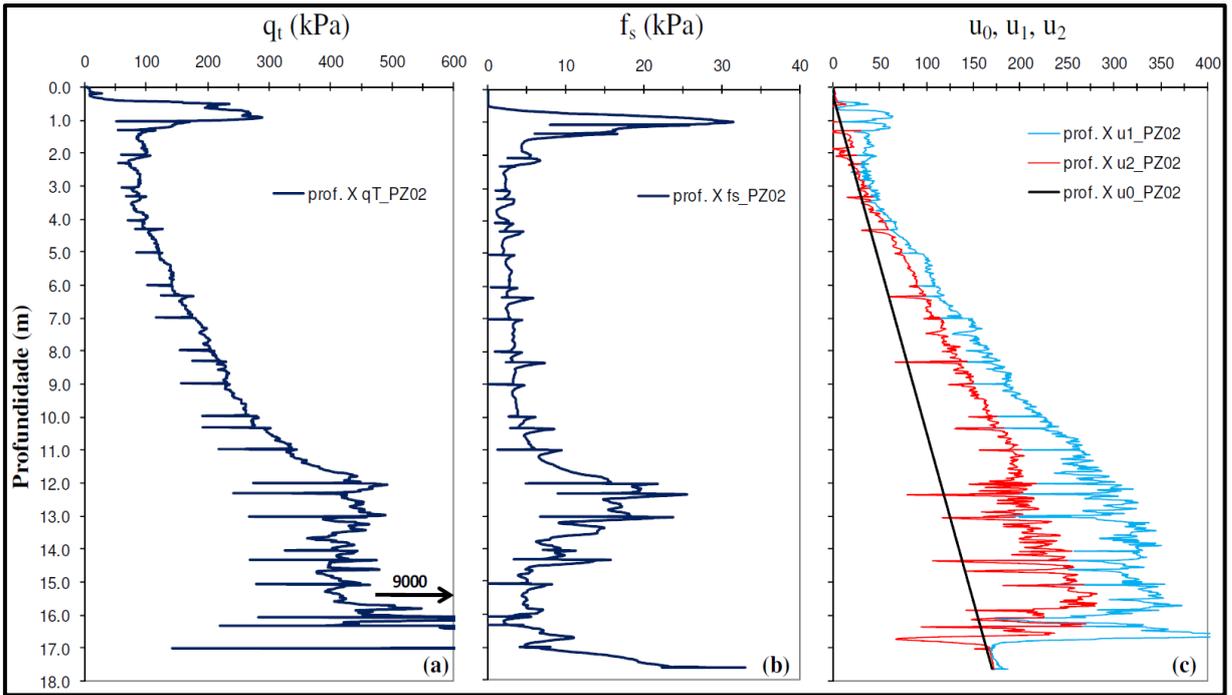


Figura 3.17 – Ensaio de piezocone obtidos por Baroni (2010)

PUC-Rio - Certificação Digital N° 1212881/CA

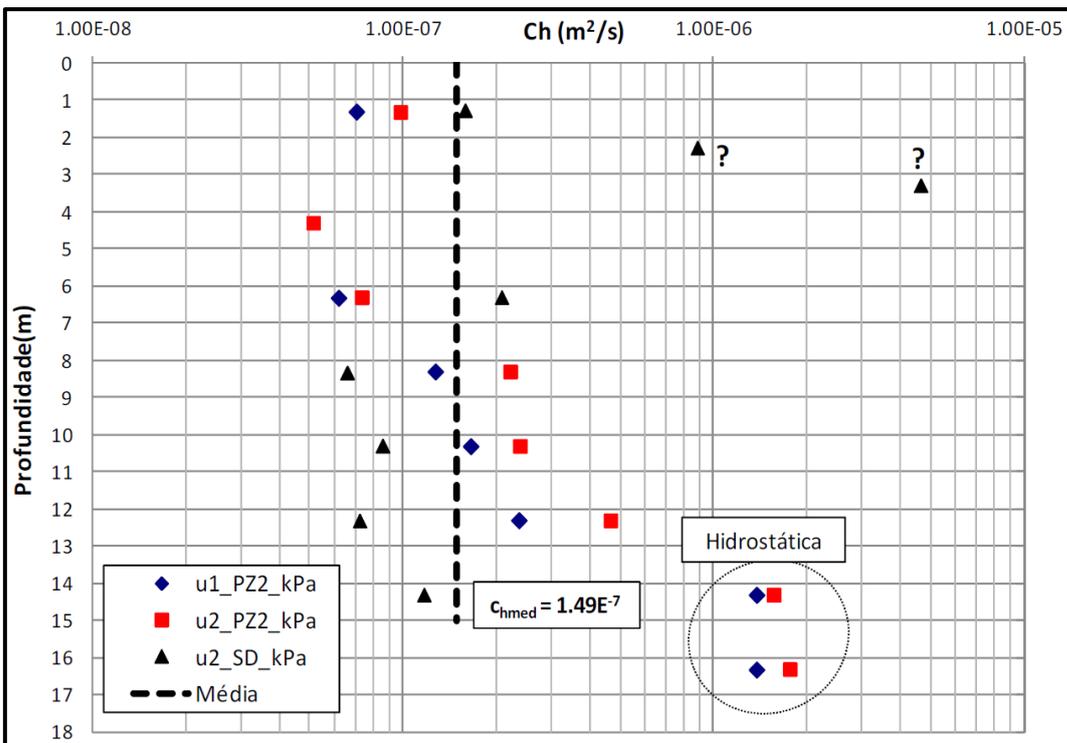


Figura 3.18 – Coeficientes de adensamento obtidos por Baroni (2010)

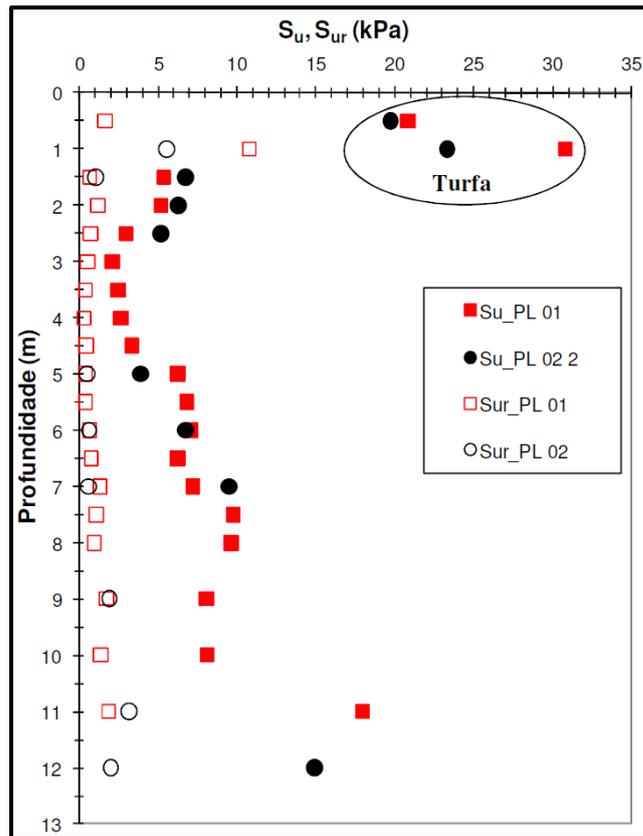


Figura 3.19 – Perfil de Su a partir de ensaios de palheta (Baroni 2010)

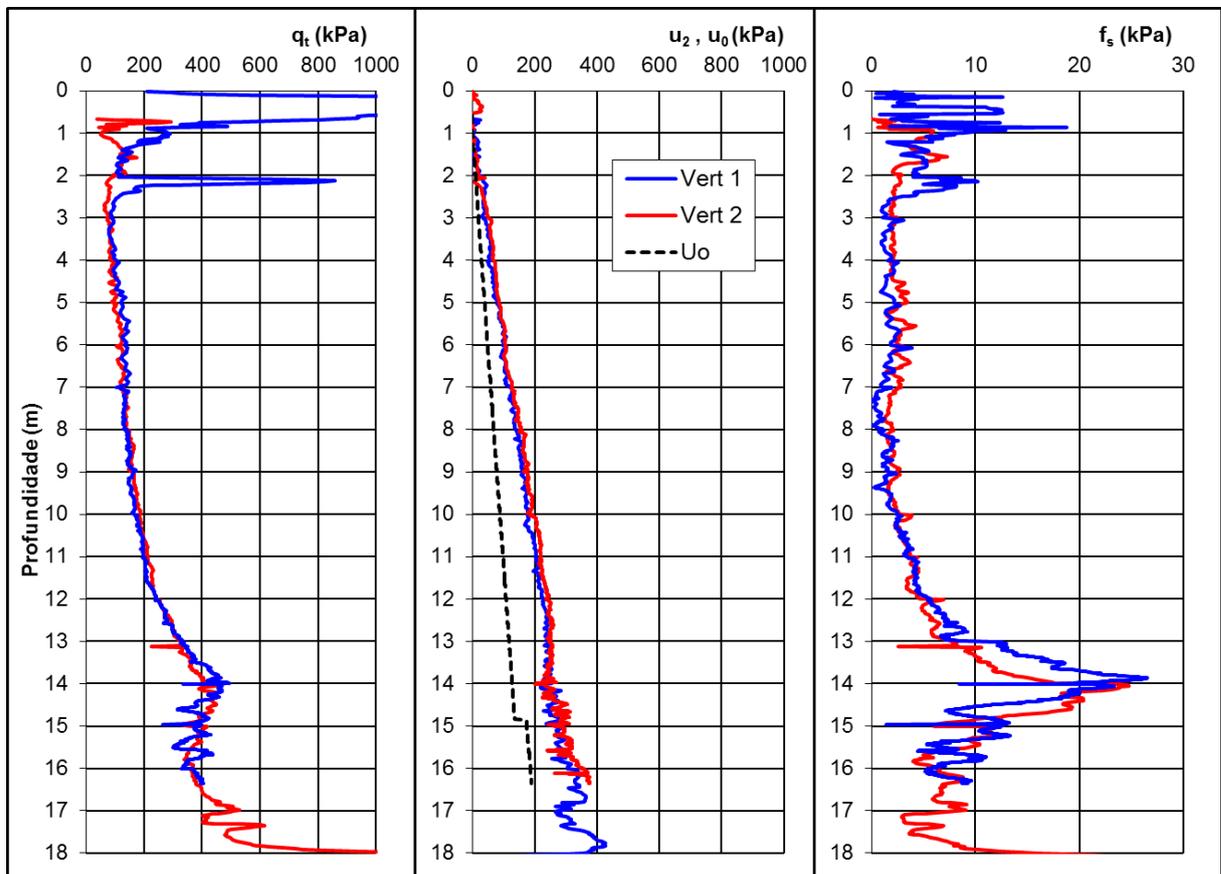


Figura 3.20 – Ensaios de piezocone obtidos na obra da Transcarioca (2013)