

3 ATERROS EXPERIMENTAIS

3.1 Introdução

A falta de um estudo comparativo para atestar a eficiência das técnicas de tratamento de solo mole gerou a construção de dois aterros experimentais, um executado sobre solo de fundação tratado com a técnica CPR *Grouting* e outro sobre solo de fundação com apenas geodrenos para aceleração dos recalques.

Os aterros experimentais foram implementados na área de construção do Condomínio Palms Recreio Residencial, localizado na Avenida Miguel Antônio Fernandes, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro – RJ, conforme Figura 31. Ambos foram construídos com as mesmas dimensão: 2 metros de altura, 12 metros de largura e 12 metros de profundidade (2mx12mx12m), com talude 1:1 (Figura 32).



Figura 31 – Localização do Condomínio Palms Recreio Residencial

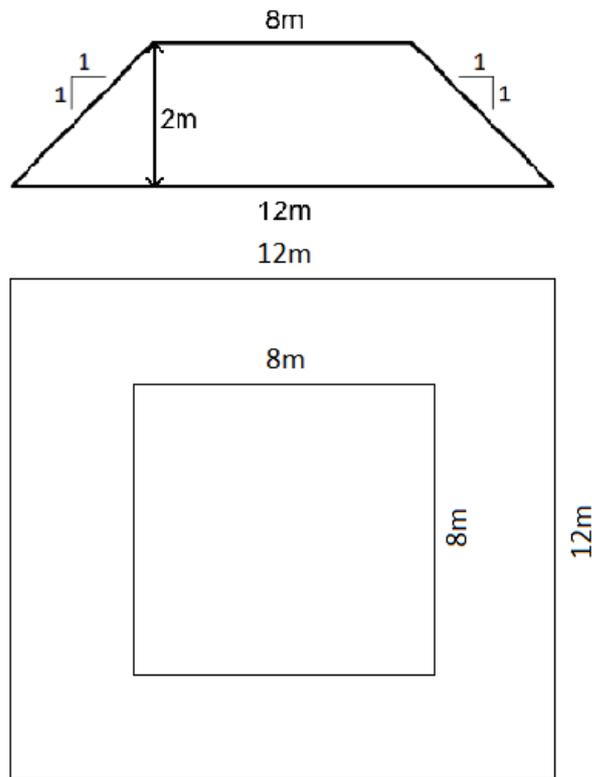


Figura 32 – Dimensão dos aterros experimentais

3.2 Caracterização Geotécnia da Região

O bairro do Recreio dos Bandeirantes localiza-se na região litorânea do oeste da cidade do Rio de Janeiro, sendo este, um dos bairros que constituem a planície da Baixada de Jacarepaguá, que se situa entre os Maciços da Pedra Branca e da Tijuca, apresentados na Figura 33 e Figura 34.

De acordo com Cabral (1979), a Baixada de Jacarepaguá caracteriza-se pela presença de solos aluvionares, arenosos e areno-argilosos, formados essencialmente de granitos e gnaisses, originados da decomposição dos materiais carreados dos maciços circundantes, sendo estes os principais sedimentos que compõem as lagoas da região.

Maia et al. (1984) ressaltam que a formação da Baixada de Jacarepaguá se deu em ciclos de erosão e sedimentação, devido a períodos de regressão e transgressão marinha.

sedimentos que constituem a baixada, são os solos argilosos e siltosos que, na localidade, apresentam uma capa de turfa e elevados teores de matéria orgânica. Estes tipos de solos constituem um problema do ponto de vista geotécnico, por apresentarem baixa permeabilidade, baixa resistência, e alta compressibilidade (Cabral,1979).

3.2.1 Perfil Geotécnico do Subsolo

Para identificação dos materiais existentes e caracterização da região em estudo, foi realizada uma ampla campanha de sondagens com objetivo de realizar um mapeamento geológico-geotécnico. Além disso, foram realizados ensaios pressiométricos (PMT), e coletadas amostras para realização de ensaios de adensamento oedométricos, em laboratório.

A Figura 37 apresenta as isoespessuras de argila mole em toda extensão do empreendimento, definidas com base nas sondagens à percussão. A Figura 38 apresenta o perfil geológico geotécnico da área onde os aterros experimentais foram assentados. Pode-se observar a presença de uma camada de argila muito mole com aproximadamente 8,0 m de espessura, e N_{SPT} igual a zero. O nível d'água foi detectado na superfície do terreno. A Figura 35 apresento o detalhamento das ilhas de investigação e a Figura 36 a locação dos ensaios.

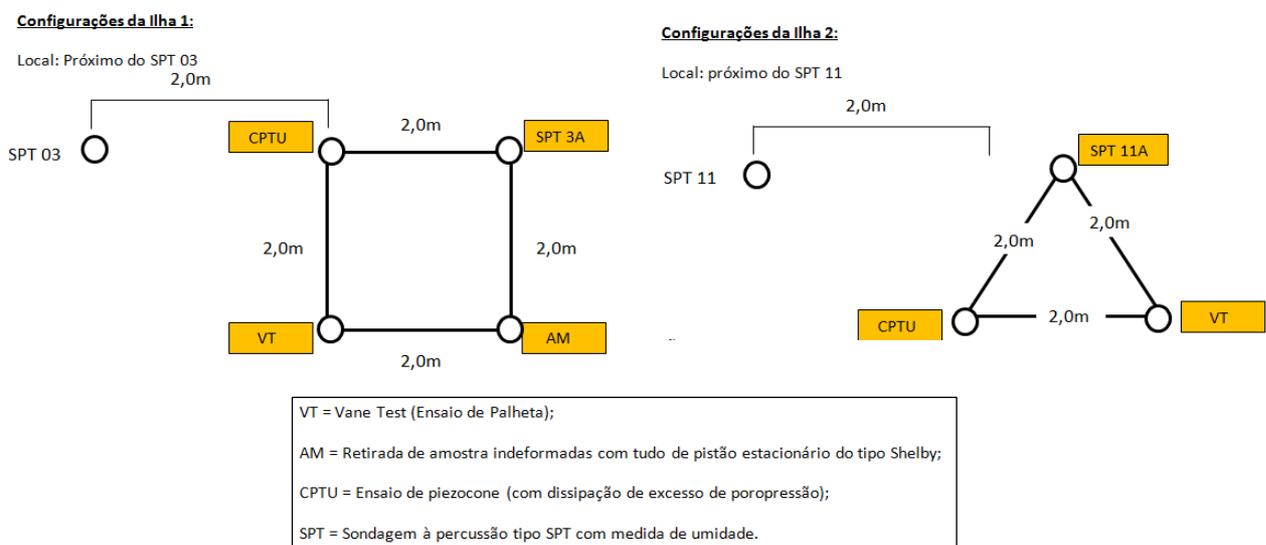


Figura 35 – Detalhamento das ilhas de investigação

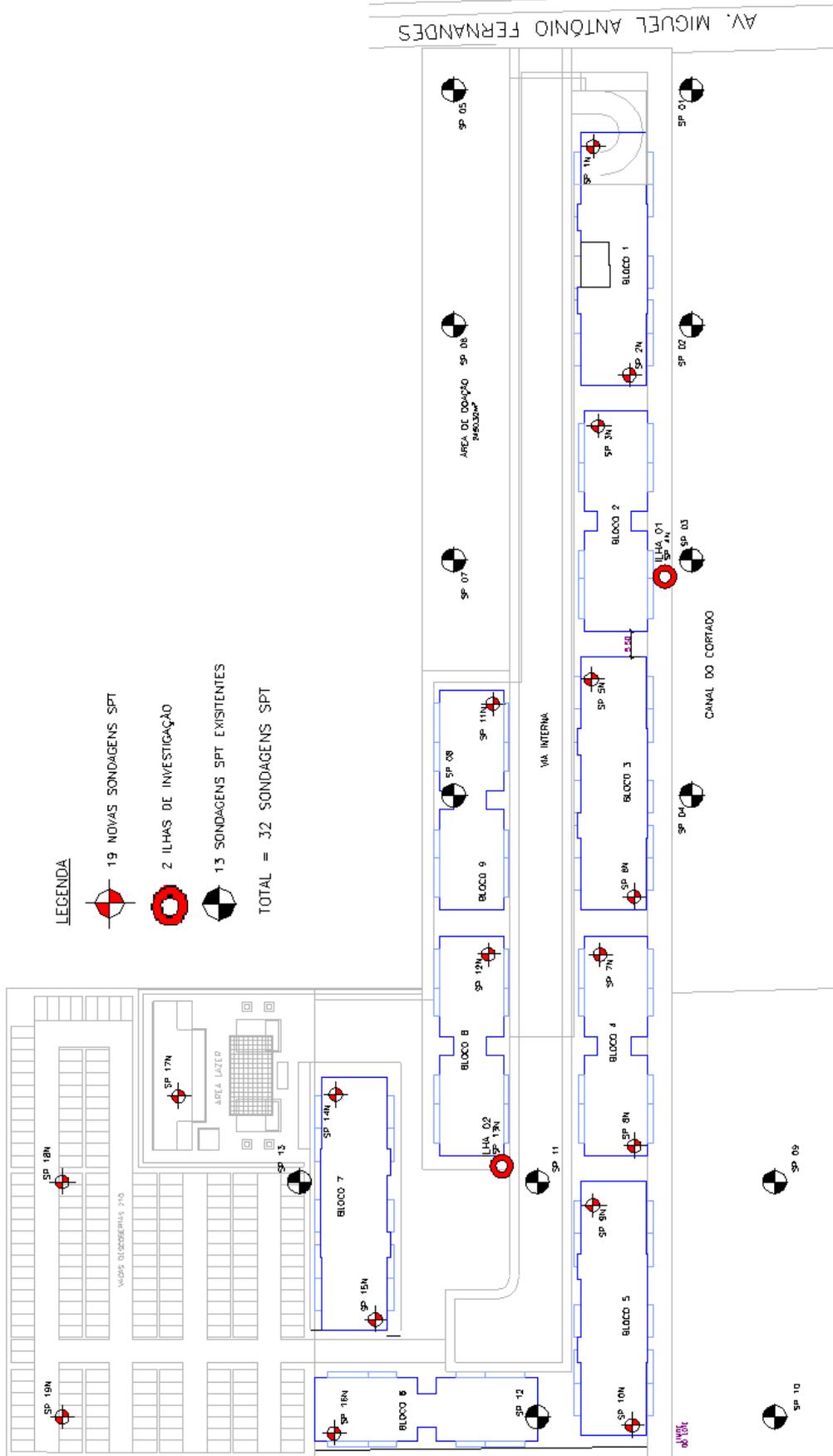


Figura 36 – Localização dos ensaios

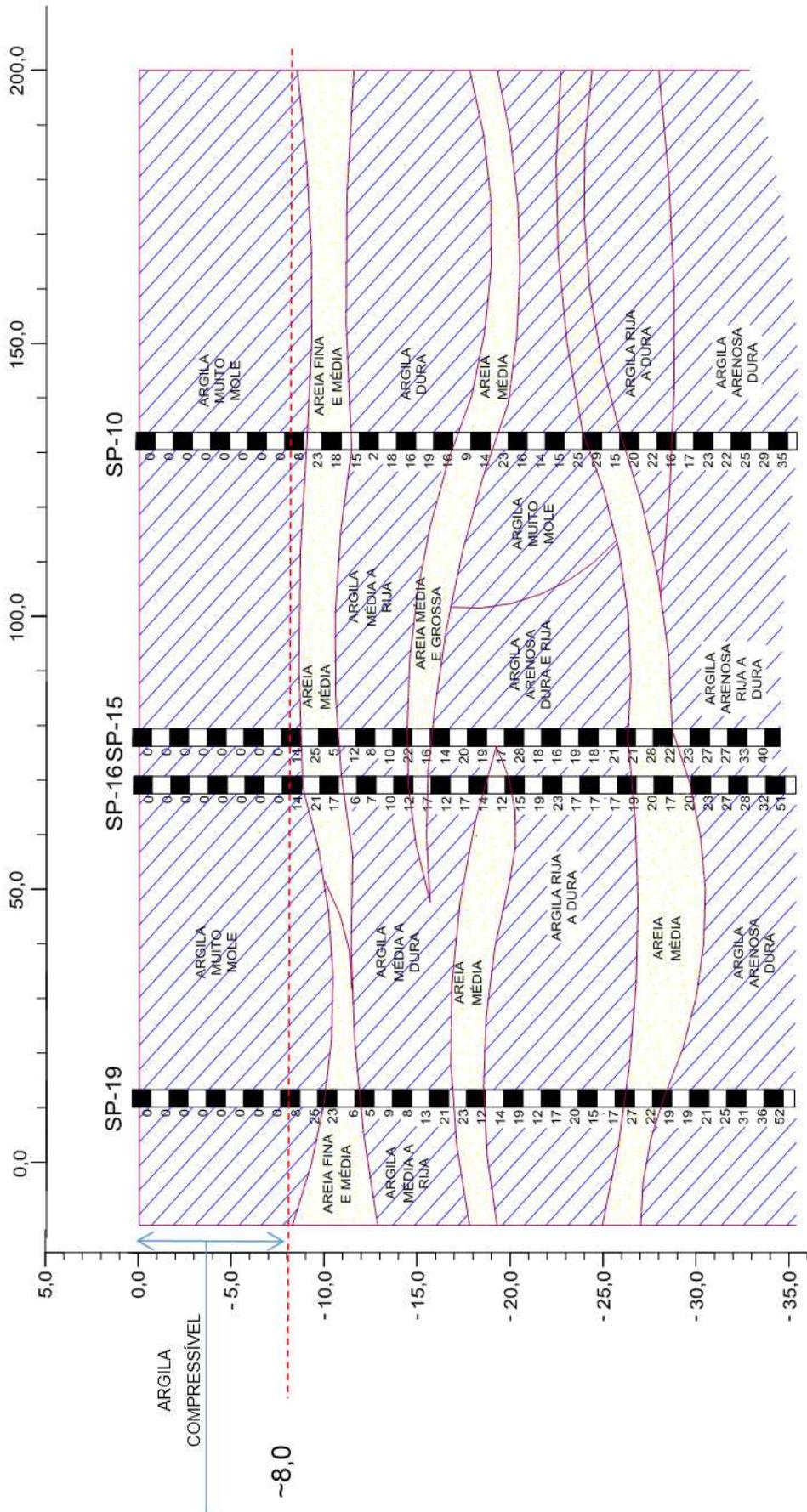


Figura 38 – Perfil geológico geotécnico: área dos aterros experimentais

3.2.2 Parâmetros Geotécnicos da Argila Mole

Para a determinação dos parâmetros geotécnicos da argila mole, foram executados ensaios de adensamento e ensaios pressiométricos, mostrado na Tabela 10. Observa-se que os ensaios pressiométricos foram executados para as condições pré e pós tratamento com CPR *Grouting*, de forma a avaliar o efeito do tratamento nos parâmetros geotécnicos.

Tabela 10 – Características dos ensaios de adensamento e pressiométricos

Tipo de Ensaio	Denominação	Profundidade (m)	Condição
Adensamento	01	1,0 a 1,5	Pré-CPR <i>Grouting</i>
	02	3,0 a 3,5	Pré-CPR <i>Grouting</i>
	03	5,0 a 5,5	Pré-CPR <i>Grouting</i>
	04	7,0 a 7,5	Pré-CPR <i>Grouting</i>
Pressiométrico	PMT-BL1	3,0	Pré-CPR <i>Grouting</i>
		5,0	Pré-CPR <i>Grouting</i>
		8,0	Pré-CPR <i>Grouting</i>
	PMT-BL2	5,0	Pré-CPR <i>Grouting</i>
	PMT-BL3	5,0	Pré-CPR <i>Grouting</i>
		8,0	Pré-CPR <i>Grouting</i>
	PMT-BL1	3,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>
		5,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>
		8,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>
	PMT-BL2	3,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>
		5,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>
	PMT-BL3	5,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>
		8,0	Pós-CPR <i>Grouting</i>

A Tabela 11 a Tabela 14 reúnem os resultados obtidos a partir dos ensaios de adensamento, para diferentes amostras. Pode-se observar o elevado valor de índice de vazios inicial da Amostra 01, coletada a 1,0 a 1,5 m de profundidade.

A Figura 39 a Figura 50 apresentam os gráficos de índice de vazios (e) vs tensão efetiva (σ'_v), coeficiente de adensamento (c_v) vs tensão efetiva (σ'_v) e coeficiente de permeabilidade (k) vs tensão efetiva (σ'_v), obtidos a partir dos ensaios oedométricos.

A Tabela 15 apresenta um resumo dos resultados obtidos dos ensaios pressiométricos do tipo Ménard (PMT), para a condição pré e pós tratamento com CPR *Grouting*. Observa-se que, após o tratamento, a consistência da argila mole passa para média a rija.

Tabela 11 – Ensaios de Adensamento: Amostra 01 (1,0 a 1,5m)

C_v (cm ² /s)	Estágio	σ_v (Kg/cm ²)	σ_v (KPa)	H _i (mm)	H _f (mm)	e	e/e _o	k (cm/s)
	-	-	-	-	-	15,611	1,000	
2,20E-02	1	0,032	3,14	20,00	19,88	15,511	0,994	4,14E-06
4,29E-03	2	0,064	6,27	19,88	19,81	15,449	0,990	5,08E-07
4,67E-03	3	0,125	12,26	19,81	14,69	11,202	0,718	2,67E-05
1,32E-03	4	0,250	24,51	14,69	12,17	9,107	0,583	2,18E-06
1,09E-03	5	0,500	49,02	12,17	10,03	7,329	0,469	9,29E-07
2,64E-03	6	0,999	98,05	10,03	7,25	5,017	0,321	2,03E-06
3,82E-04	7	1,999	196,10	7,25	5,92	3,913	0,251	8,60E-08
2,15E-04	8	3,998	392,20	5,92	4,93	3,095	0,198	2,14E-08
0,00E+00	9	0,999	98,05	4,93	5,02	3,169	0,203	0
0,00E+00	10	0,250	24,51	5,02	5,67	3,709	0,238	0
0,00E+00	11	0,064	6,27	5,67	6,18	4,133	0,265	0

Tabela 12 - Ensaios de Adensamento: Amostra 02 (3 a 3,5m)

c_v (cm ² /s)	Estágio	σ_v (Kg/cm ²)	σ_v (KPa)	H _i (mm)	H _f (mm)	e	e/e _o	k (cm/s)
	-	-	-	-	-	3,713	1,000	
1,15E-02	1	0,032	3,14	20,00	19,64	3,627	0,977	6,67E-06
1,08E-02	2	0,064	6,27	19,64	18,76	3,420	0,921	1,58E-05
5,02E-04	3	0,125	12,26	18,76	17,41	3,104	0,836	6,33E-07
2,12E-03	4	0,250	24,51	17,41	15,10	2,559	0,689	2,59E-06
1,23E-04	5	0,500	49,02	15,10	12,54	1,954	0,526	1,01E-07
1,52E-03	6	0,999	98,05	12,54	11,08	1,610	0,434	4,00E-07
2,65E-04	7	1,999	196,10	11,08	9,73	1,292	0,348	3,68E-08
5,12E-04	8	3,998	392,20	9,73	8,55	1,016	0,274	3,51E-08
0,00E+00	9	0,999	98,05	8,55	8,90	1,098	0,296	0
0,00E+00	10	0,250	24,51	8,90	9,11	1,146	0,309	0
0,00E+00	11	0,064	6,27	9,11	9,53	1,245	0,335	0

Tabela 13 - Ensaio de Adensamento: Amostra 03

cv (cm ² /s)	Estágio	σ_v (Kg/cm ²)	σ_v (KPa)	Hi (mm)	Hf (mm)	e	e/e _o	k (cm/s)
	-	-	-	-	-	3,255	1,000	
3,52E-03	1	0,032	3,14	20,00	19,94	3,243	0,996	3,26E-07
8,30E-03	2	0,064	6,27	19,94	19,92	3,238	0,995	3,13E-07
1,15E-02	3	0,125	12,26	19,92	19,77	3,206	0,985	1,42E-06
9,30E-03	4	0,250	24,51	19,77	19,18	3,081	0,946	2,29E-06
6,48E-03	5	0,500	49,02	19,18	18,74	2,986	0,917	6,13E-07
5,46E-03	6	0,999	98,05	18,74	18,13	2,857	0,878	3,65E-07
1,17E-03	7	1,999	196,10	18,13	16,33	2,475	0,760	1,28E-07
8,39E-04	8	3,998	392,20	16,33	14,85	2,160	0,664	4,18E-08
0,00E+00	9	0,999	98,05	14,85	15,14	2,221	0,682	0
0,00E+00	10	0,250	24,51	15,14	15,54	2,306	0,708	0
0,00E+00	11	0,064	6,27	15,54	15,92	2,387	0,733	0

Tabela 14 - Ensaio de Adensamento: Amostra 04

cv (cm ² /s)	Estágio	σ_v (Kg/cm ²)	σ_v (KPa)	Hi (mm)	Hf (mm)	e	e/e _o	k (cm/s)
	-	-	-	-	-	2,756	1,000	
8,34E-03	1	0,032	3,14	20,00	19,95	2,747	0,997	6,15E-07
1,40E-02	2	0,064	6,27	19,95	19,86	2,729	0,990	2,09E-06
3,41E-03	3	0,125	12,26	19,86	19,42	2,647	0,961	1,26E-06
5,73E-04	4	0,250	24,51	19,42	17,64	2,312	0,839	4,63E-07
2,97E-04	5	0,500	49,02	17,64	15,41	1,894	0,687	1,72E-07
4,14E-04	6	0,999	98,05	15,41	13,35	1,508	0,547	1,28E-07
3,82E-04	7	1,999	196,10	13,35	11,63	1,183	0,429	5,67E-08
4,66E-04	8	3,998	392,20	11,63	10,17	0,910	0,330	3,33E-08
0,00E+00	9	0,999	98,05	10,17	10,48	0,968	0,351	0
0,00E+00	10	0,250	24,51	10,48	10,98	1,061	0,385	0
0,00E+00	11	0,064	6,27	10,98	11,40	1,141	0,414	0

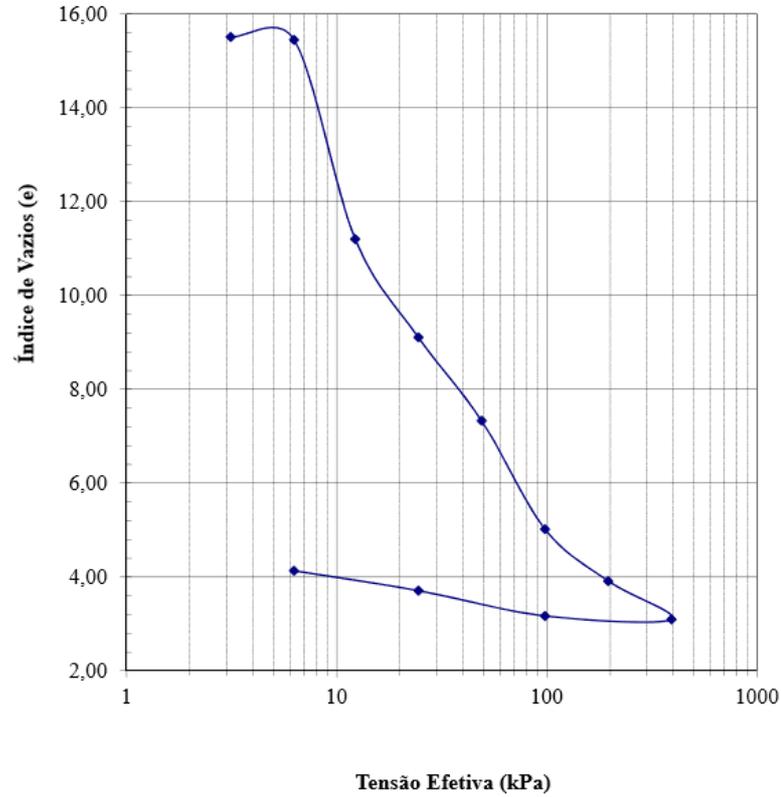


Figura 39 – Índice de Vazios (e) vs Tensão Efetiva (σ'_v): Ensaio 01

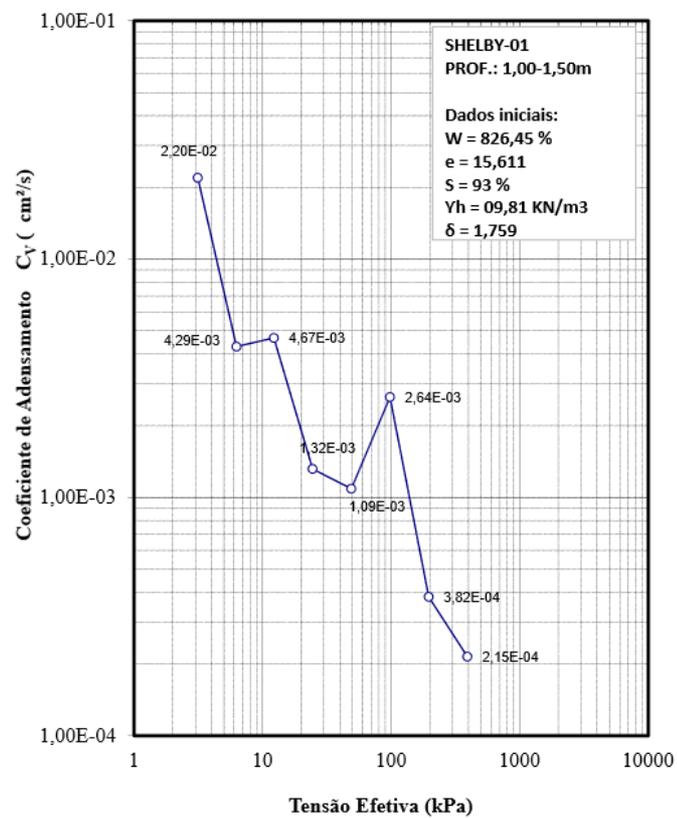


Figura 40 – Coeficiente de Adensamento (c_v) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 01

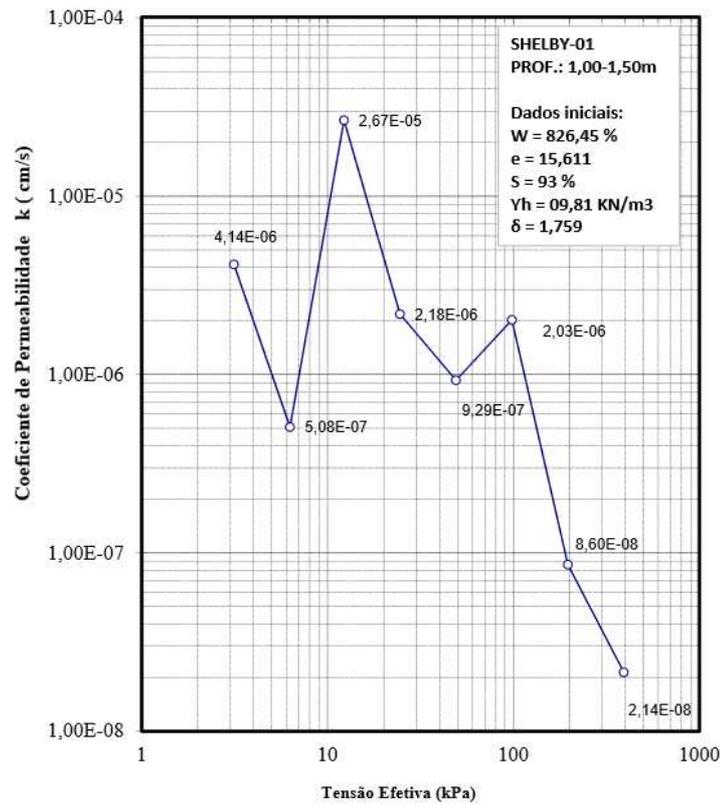


Figura 41 – Coeficiente de Permeabilidade (k) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 01

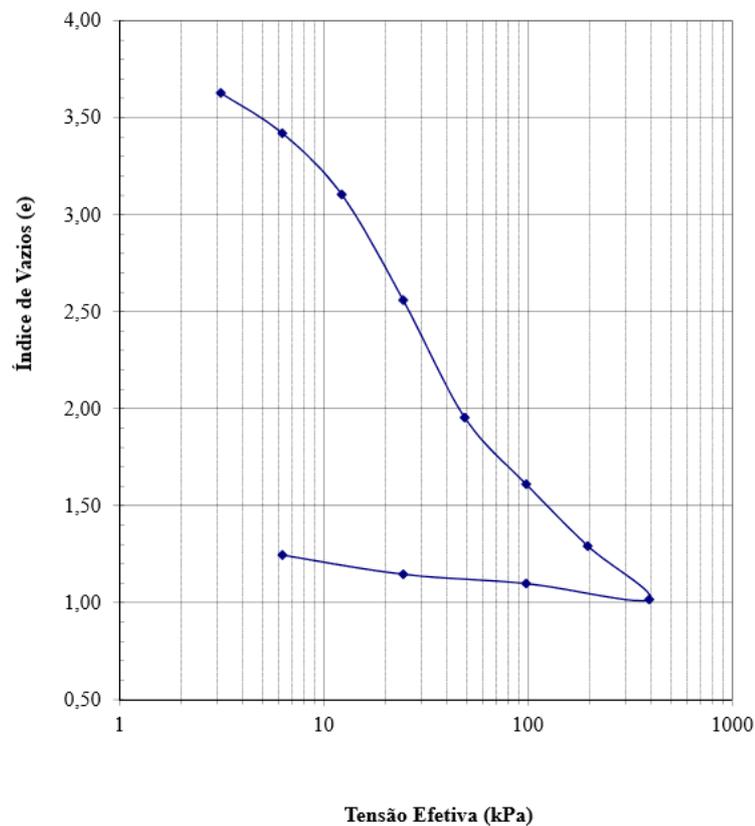


Figura 42 – Índice de Vazios (e) vs Tensão Efetiva (σ'_v): Ensaio 02

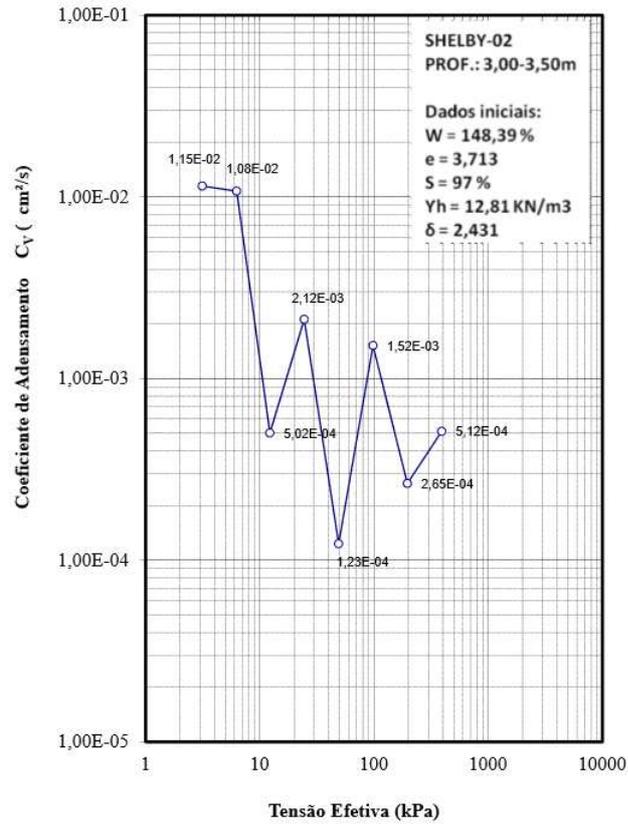


Figura 43 – Coeficiente de Adensamento (c_v) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 02

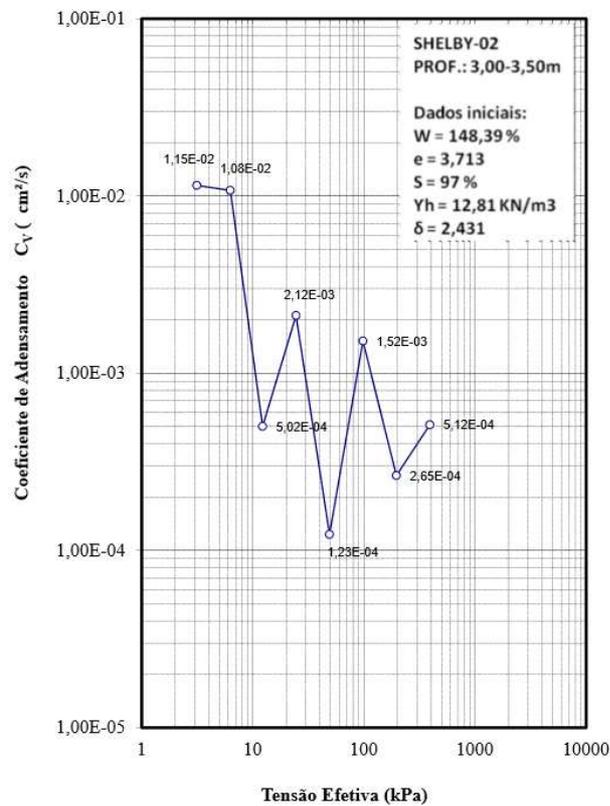


Figura 44 – Coeficiente de Permeabilidade (k) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 02

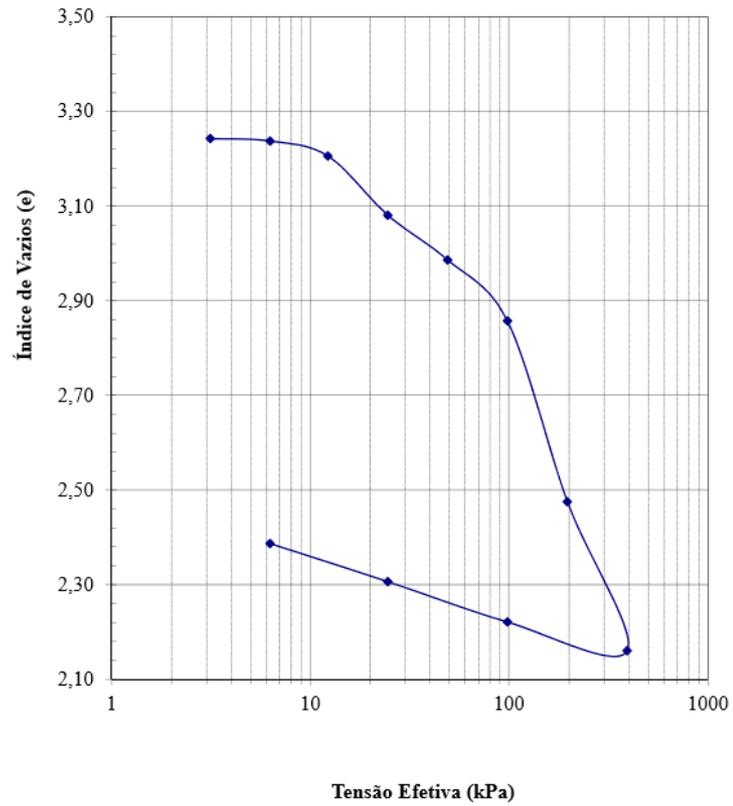


Figura 45 – Índice de Vazios (e) vs Tensão Efetiva (σ'_v): Ensaio 03

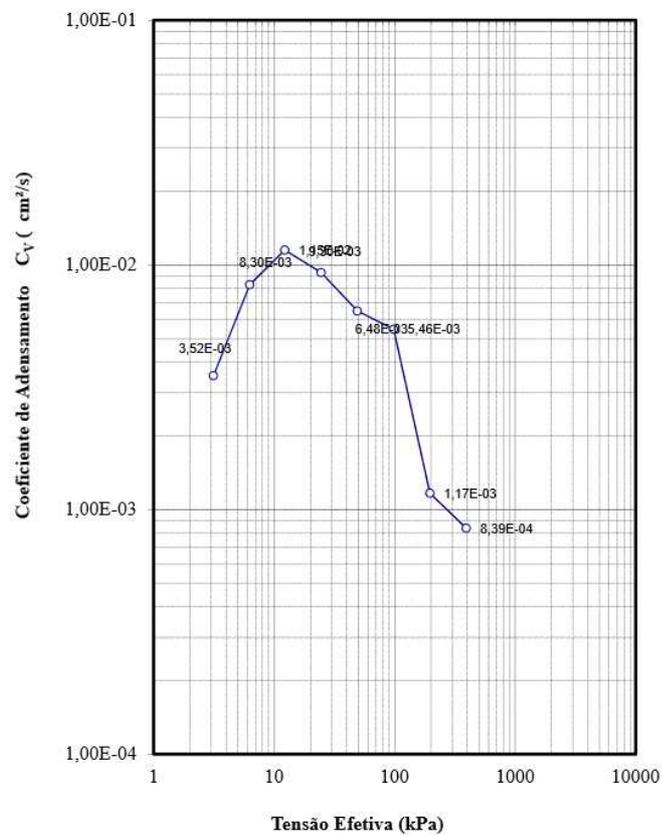


Figura 46 – Coeficiente de Adensamento (c_v) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 03

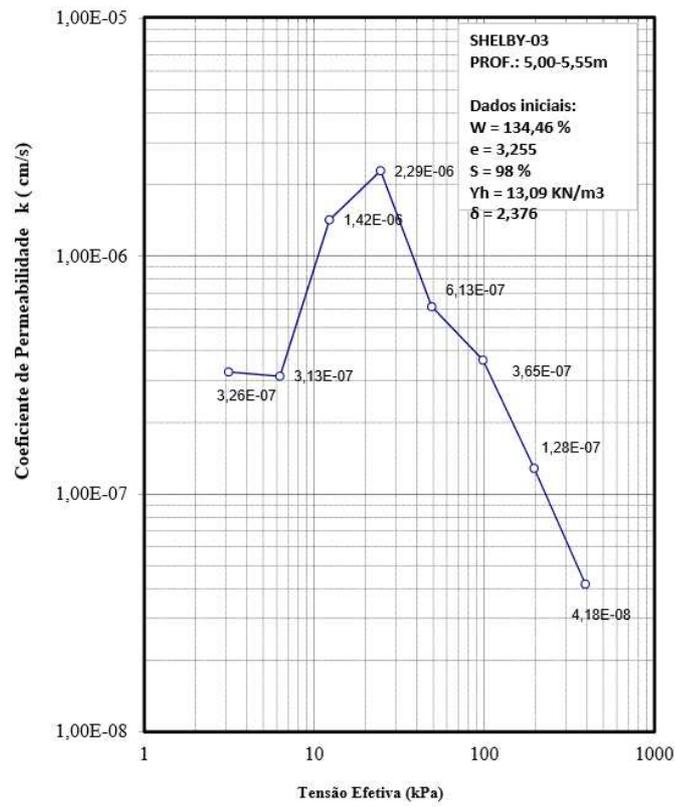


Figura 47 – Coeficiente de Permeabilidade (k) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 03

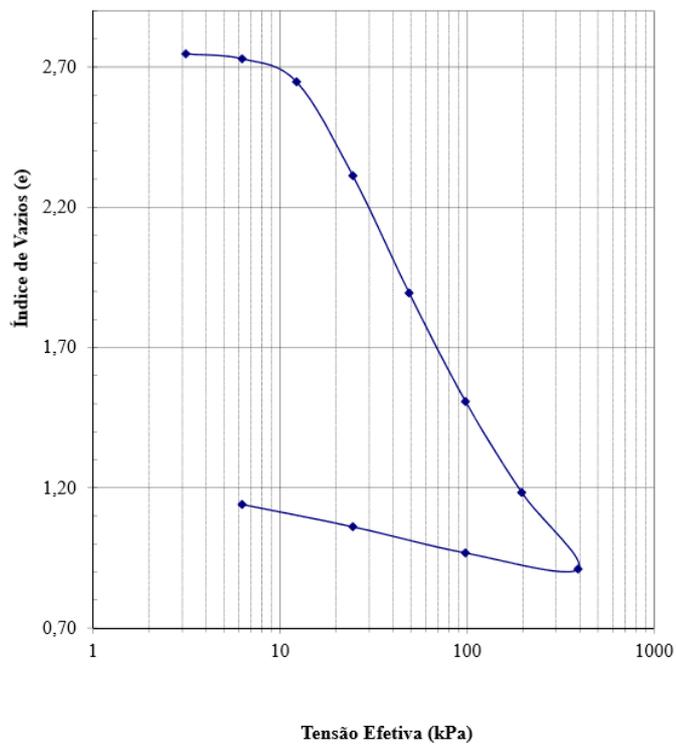


Figura 48 – Índice de Vazios (e) vs Tensão Efetiva (σ'_v): Ensaio 04

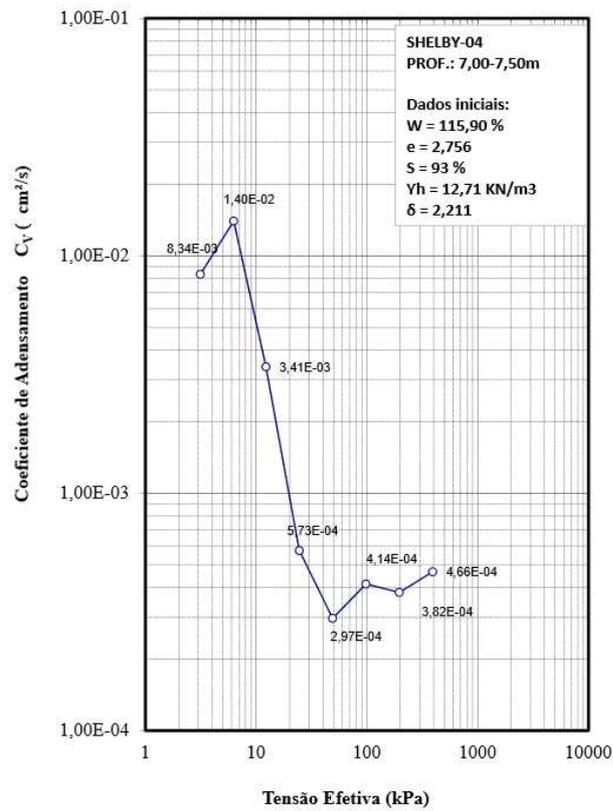


Figura 49 – Coeficiente de Adensamento (c_v) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 04

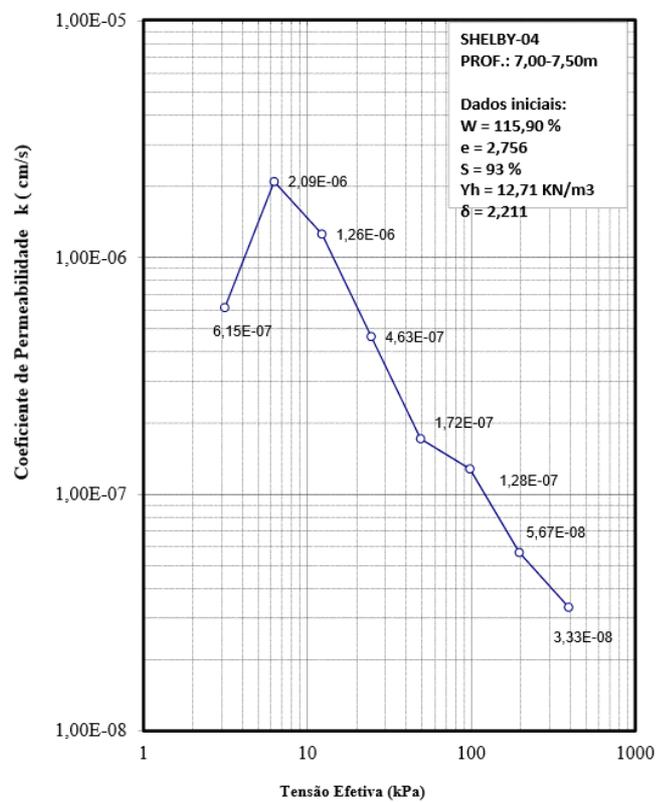


Figura 50 – Coeficiente de Permeabilidade (k) vs Tensão Efetiva σ'_v : Ensaio 04

Tabela 15 – Resumos dos ensaios pressiométricos da obra Palms Recreio Residencial

data	Ensaio	Prof. (m)	Condição	E_m (kPa)	P_L (kPa)	P_L^* (kPa)	Consistência (Briaud, 1992)
02/mai	PMT-BL1	3	Pré-CPR	152,00	130	94	mole
		5		399,00	72	16	mole
		8		1.633,00	274	188	mole
05/mai	PMT-BL2	5	Pré-CPR	529	124	68	mole
03/jun	PMT-BL3	5	Pré-CPR	399,00	87	56	mole
		8		1.726,00	248	162	mole
20/mai	PMT-BL1	3	Pós-CPR	2.628,00	433	397	média
		5		3.432,00	453	397	média
		8		3.308,00	457	372	média
11/jun	PMT-BL2	3	Pós-CPR	5.731,00	645	608	rija
		5		5.799,00	741	686	rija
07/jul	PMT-BL3	5	Pós-CPR	2.939,00	432	376	média
		8		3.496,00	438	353	média

3.3 Estimativa de recalque sem tratamento do solo mole - Projeto

A Figura 51 ilustra o modelo geotécnico utilizado para a região, sendo a camada de solo mole dividida em 4 camadas. A Tabela 16 apresenta os parâmetros das camadas de argila, estabelecidos com base nos ensaios de laboratório, na ocasião do projeto. Para o aterro, foi adotado peso específico igual a 20 kN/m³.

A Tabela 17 apresenta os recalques previstos em cada camada de solo mole antes do tratamento com CPR *Grouting* e instalação dos drenos verticais, estimados de acordo com os parâmetros definidos no projeto. A estimativa dos recalques foi realizada pela teoria de adensamento de Terzaghi, considerando solos pré-adensados ($OCR > 1$). O recalque final obtido, sem tratamento, seria da ordem de 1,65 m. Considerando o valor de c_v igual a $3,455 \times 10^{-3}$ m²/dia, o tempo para que se atinja 90% do adensamento seria de aproximadamente 10,7 anos.

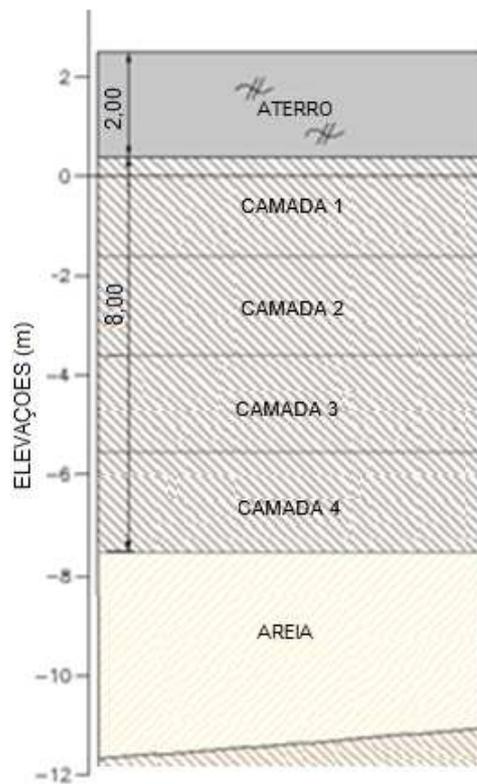


Figura 51 – Perfil geotécnico da região

Tabela 16 - Parâmetros definidos no projeto: Argila mole

	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4
Espessura de argila (m)	2,00	2,00	2,00	2,00
γ_{nat} (kN/m ³)	9,81	12,81	13,09	12,71
e_o	15,6	3,7	3,26	2,76
C_c	7,72	0,69	0,69	1,15
C_s	0,70	0,09	0,09	0,13
c_v (m ² /dia)	$2,59 \times 10^{-3}$	$1,73 \times 10^{-3}$	$6,91 \times 10^{-3}$	$2,59 \times 10^{-3}$
OCR	6,00	2,63	1,43	1,15

Tabela 17 - Estimativa dos Recalques

	Recalque Primário (m)
Camada 1	0,841
Camada 2	0,205
Camada 3	0,214
Camada 4	0,387
Recalque Total	1,647

3.4 Estimativa de recalque com tratamento do solo mole com CPR *Grouting* - Projeto

O tratamento do solo com a técnica de consolidação profunda radial implica em uma redução significativa dos recalques previstos para a condição sem tratamento. Para a determinação do fator de redução de recalque imposto pelo tratamento do solo de fundação com CPR *Grouting*, para cálculos de projeto, foi utilizada a solução analítica proposta por Balaam e Booker (1981), no tratamento com colunas.

Para a aplicação dessa metodologia, são necessários os seguintes dados de entrada:

- 1- Fator de redução de recalque, β , de projeto.
- 2- Parâmetros elásticos do solo e da coluna (módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson).
- 3- Diâmetro da coluna de GeogROUT.

Para determinação do diâmetro das colunas e do espaçamento entre elas, utilizou-se a premissa de cálculo em que deseja-se uma redução do recalque na ordem de 90%. Para tanto, adotou-se um fator de redução de recalque (β) de projeto igual a 10. Considerando este valor, espera-se que o recalque máximo após o tratamento com CPR *Grouting* seja igual a 0,165 m. A Tabela 18 apresenta os valores de entrada para o cálculo do diâmetro e do espaçamento entre as colunas para uma redução do recalque na ordem de 90%. A Figura 52 e Figura 53 apresentam os resultados obtidos pelos cálculos. Abaixo são apresentadas as equações utilizadas para os cálculos:

$$a_c = \frac{Ac}{A} = c \frac{d^2}{s^2} \quad (19)$$

$$c = \frac{\pi}{4}, \text{ para malha quadrada} \quad (20)$$

$$c = \frac{\pi}{2\sqrt{3}}, \text{ para malha triangular} \quad (21)$$

$$\beta = 1 + a_c (n - 1) \quad (22)$$

$$n = \frac{E_{oed,c} - 2(\lambda_c - \lambda_s)F}{E_{oed,s}} \quad (23)$$

$$F = \frac{(1 - a_c)(\lambda_c - \lambda_s)}{2[a_c(\lambda_s + G_s - \lambda_s - G_c) + \lambda_c + G_c + G_s]} \quad (24)$$

$$\lambda_c = E_{oed,c} - 2G_c; \quad (25)$$

$$\lambda_s = E_{oed,s} - 2G_s; \quad (26)$$

onde: a_c = razão de substituição; A_c =área de coluna; A = área de solo ao redor; $E_{oed,c}$ =Módulo de Elasticidade da coluna; $E_{oed,s}$ =Módulo de Elasticidade do solo; G_c = Módulo Cisalhante da Coluna; G_s = Módulo Cisalhante do Solo; λ_c = Constante de Lamé da coluna; λ_s = Constante de Lamé do solo.

Tabela 18. Dados de entrada para cálculo do diâmetro e espaçamento da coluna

Dados de Entrada:	Coluna	Solo
Módulo de Young [kPa]	245.000	2.000
Coefficiente de Poisson [ν]	0,35	0,33
Beta de projeto β	10,0	

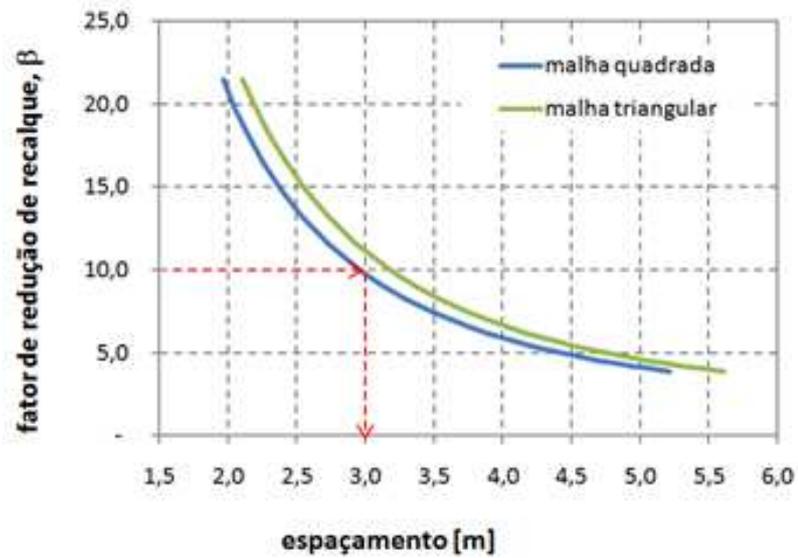


Figura 52 – Espaçamento entre as colunas

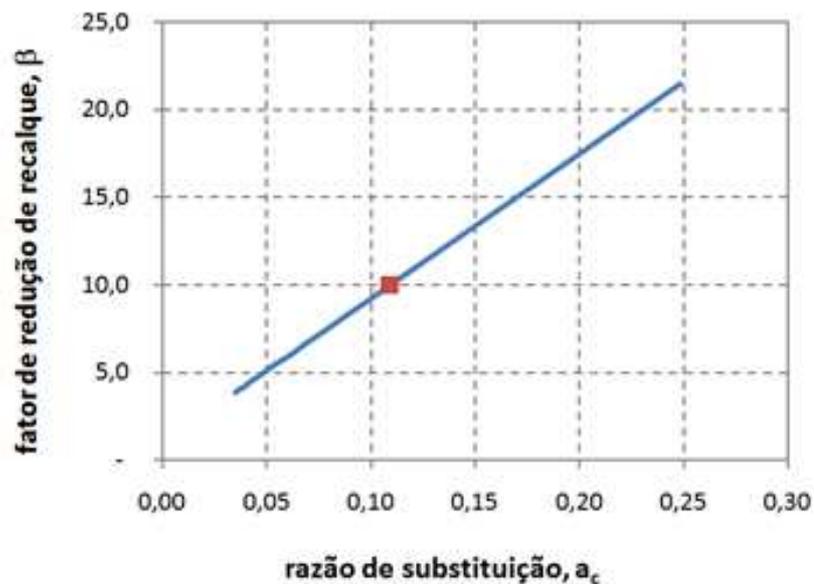


Figura 53 – Diâmetro da colunas

3.5 Execução dos Aterros Experimentais

Os serviços dos aterros testes iniciaram no dia 14 de agosto de 2014, com a marcação das áreas. No dia 18 de agosto de 2014, foi finalizada a cravação dos geodrenos em ambas as áreas dos aterros experimentais. No dia 19 de agosto de 2014, foi removido, tanto o aterro de conquista quanto o geotêxtil colocado sobre o terreno natural na época da conquista, na área do aterro sem tratamento. O aterro de conquista removido possuía 1,30 m de espessura. Após a remoção, foi lançado

um pequeno colchão de aterro granular sob o solo natural. No dia 03 de setembro de 2014, foi realizado o tratamento da área escolhida com *CPR Grouting*, executando as colunas de compressão com bombeamento da argamassa no interior do solo. No dia 20 de agosto de 2014, iniciou-se a instalação dos instrumentos para monitorar o desenvolvimento dos deslocamentos verticais, horizontais e poropressão no aterro sem tratamento. No aterro com *CPR Grouting*, a instalação começou em 03 de setembro de 2014.

Como apresentado na Figura 54, na região escolhida para construção dos aterros experimentais, os geodrenos foram instalados com malha quadrangular com espaçamento 1,5 m x 1,5 m e no aterro com tratamento utilizando a técnica *CPR Grouting*, as colunas de compressão foram instaladas com uma malha quadrada com espaçamento entre as colunas de 3 m x 3 m, sendo o seu diâmetro igual a 1,20m. Para este caso, admite-se que o mecanismo de drenagem ocorra preferencialmente radial até profundidade limite de instalação dos geodrenos.

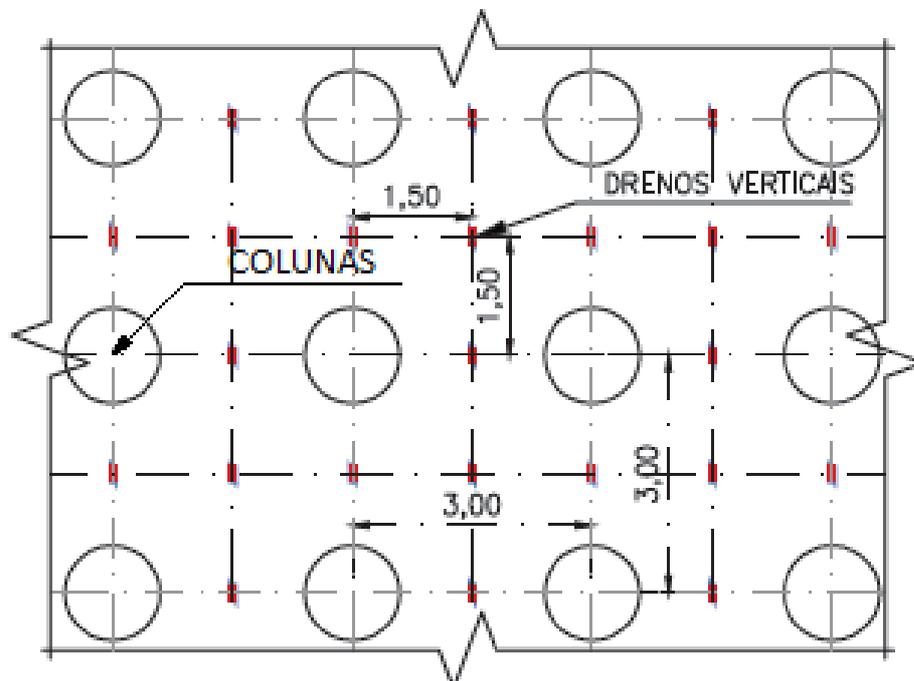


Figura 54 – Detalhe da malha de geodrenos e de colunas

4 INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO

A instrumentação de campo tem como objetivo monitorar o comportamento do solo ao longo de tempo, de modo a verificar se as premissas adotadas em projeto são representativas. Segundo Almeida e Marques (2010), os objetivos da instrumentação geotécnica são: (a) verificar as premissas de projeto; (b) auxiliar o planejamento da obra, principalmente no que concerne à sua segurança nas fases de carregamentos e descarregamentos; e (c) garantir a integridade de obras vizinhas.

O monitoramento com instrumentação de campo pode ser realizado após a construção, no decorrer ou anteriormente à obra. É importante que este acompanhamento seja feito por um profissional de Geotecnia, para que a segurança da obra seja avaliada, bem como os parâmetros adotados em projeto. Caso haja alguma divergência, as análises das informações obtidas pelos instrumentos possibilitam a adoção de medidas corretivas em tempo hábil.

Para o monitoramento dos aterros experimentais, foram utilizados os seguintes instrumentos:

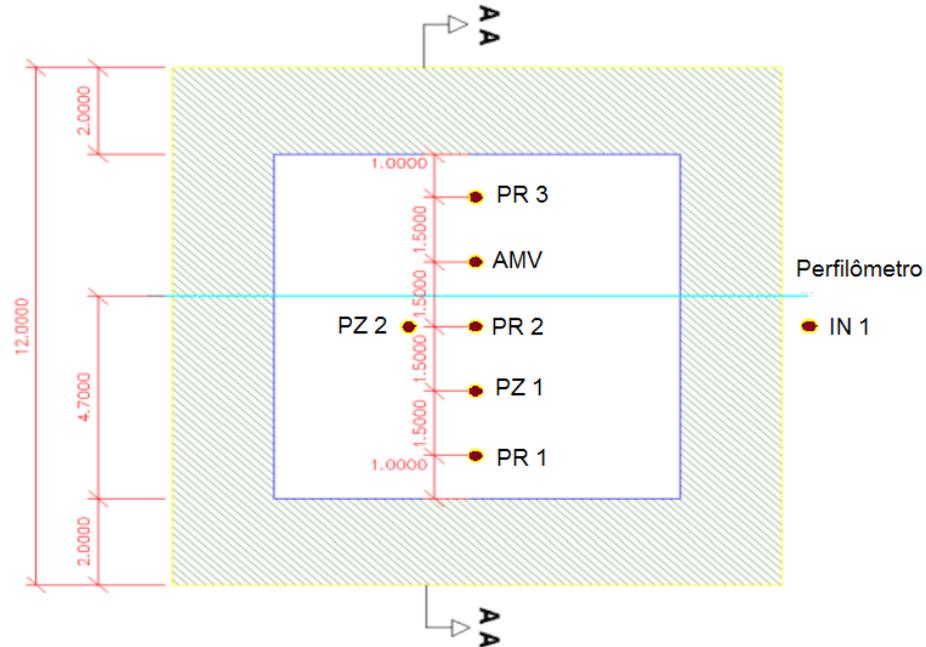
- Piezômetros, para monitoramento das poropressões;
- Placas de recalque, aranhas magnéticas e perfilômetros, para monitoramento dos recalques;
- Inclinômetros, para monitoramento dos deslocamentos horizontais.

A Figura 55 e a Figura 56 apresentam as plantas de locação dos instrumentos do aterro sem tratamento, e do aterro com CPR *Grouting*, respectivamente. Observa-se que, em cada um dos aterros experimentais, foram instalados 1 piezômetro, 1 inclinômetro, 1 perfilômetro, 3 placas de recalque e 1 aranha magnética vertical.

Os itens subsequentes apresentam uma breve descrição dos instrumentos instalados nos aterros experimentais, juntamente com os resultados da instrumentação.

PLANTA BAIXA

Escala : 1:1



CORTE A A

Escala : 1:1

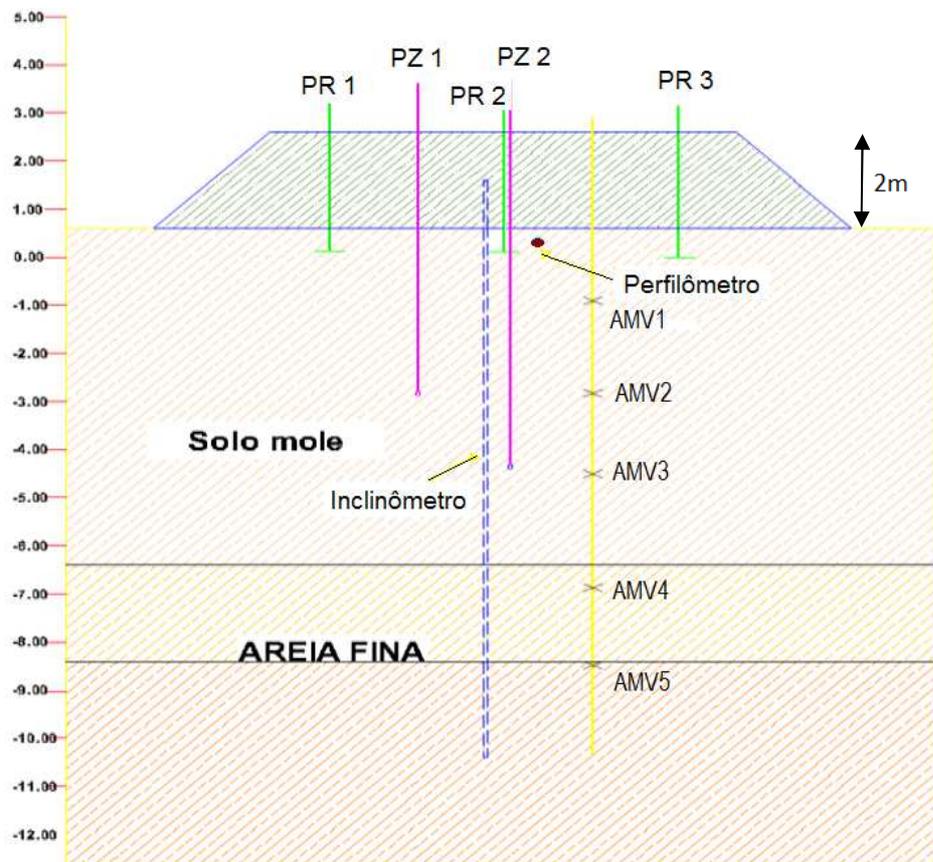
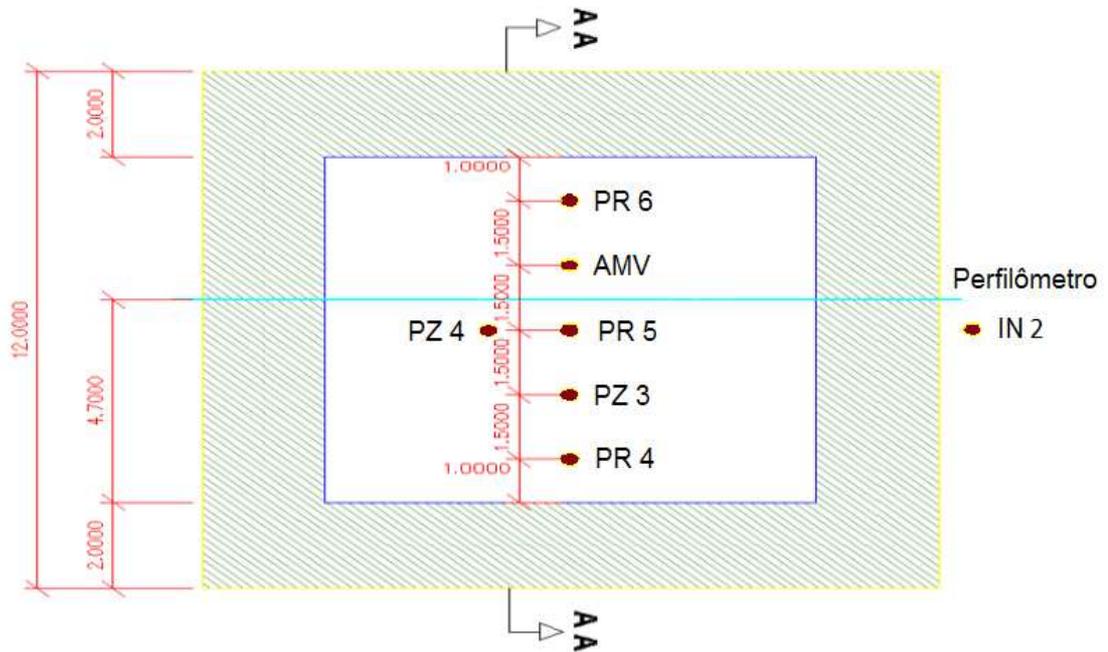


Figura 55 – Localização da instrumentação do aterro experimental sem tratamento

PLANTA BAIXA

Escala : 1:1



CORTE A A

Escala : 1:1

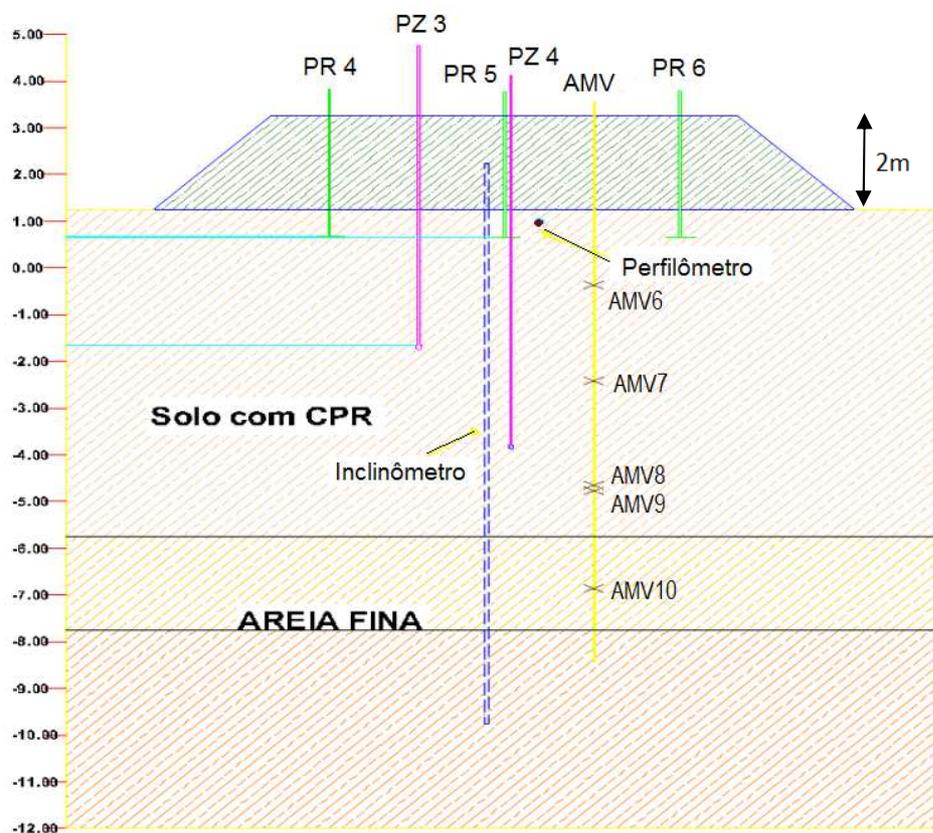


Figura 56 – Locação da instrumentação do aterro experimental com CPR *Grouting*

4.1 Piezômetros

O piezômetro tem como objetivo medir a poropressão no solo em diversas profundidades. Há diversos tipos de piezômetros (Dunnicliff, 1988), sendo escolhido o piezômetro elétrico de corda vibrante para este estudo, por ter uma resposta rápida a variações de poropressão em solos de baixa permeabilidade. Ultimamente, esse tipo de piezômetro tem sido bastante utilizado por ser um instrumento preciso e sensível. Além disso, os resultados fornecidos podem ser lidos com uma unidade portátil de leitura, integrada a um sistema automático de aquisição de dados.

A medição da pressão de água pelos piezômetros elétricos de corda vibrante é feita através da deformação do diafragma localizado no interior do equipamento. A leitura obtida pelo piezômetro fornece a carga total no ponto de instalação (Figura 57).

Para instalação do equipamento, realiza-se, primeiramente, um pré-furo e em seguida coloca-se uma camisa metálica com as duas extremidades abertas no interior do furo, permitindo que se ocorra o fluxo de água entre o tubo e o solo, até que se estabeleça um nível de água constante no interior do tubo. Após este procedimento, o piezômetro é cravado manualmente no solo, através de uma haste metálica, até a profundidade de monitoramento. A Figura 58 apresenta alguns detalhes da instrumentação com piezômetros. É importante ressaltar que, no caso de aterros com CPR *Grouting*, os piezômetros devem ser instalados entre os drenos verticais e as colunas de CPR *Grouting*.

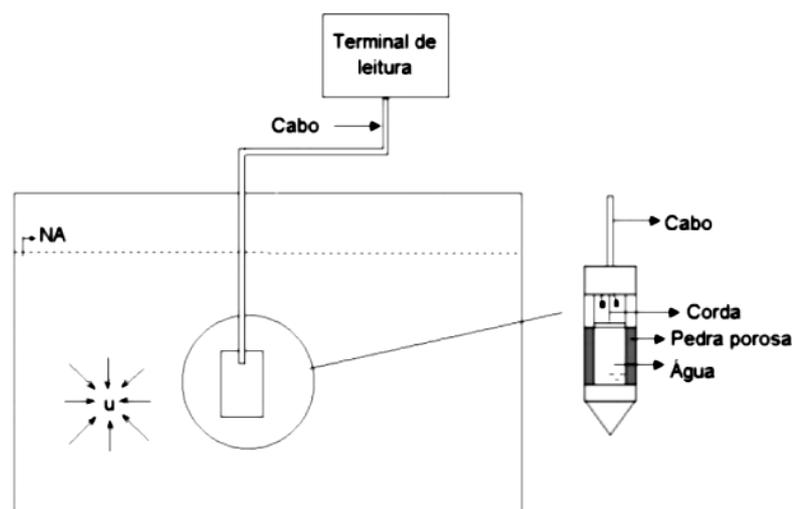


Figura 57 – Piezômetro Elétrico de Corda Vibrante (Teixeira, 2011)

A Figura 60 a Figura 63 apresentam os dados fornecidos pelos piezômetros instalados nos dois aterros experimentais. Conforme apresentado na locação da instrumentação do aterro sem tratamento, corte AA (Figura 55), no aterro sem tratamento, foram utilizados dois piezômetros, o PZ1, na cota -2,40 m, e o PZ2, na cota -4,10 m. O nível d'água se encontrava na cota -0,70 m. No aterro com CPR *Grouting*, também foram instalados dois piezômetros, (Figura 56): o PZ3 na cota -1,12 m e o PZ4 na cota -3,80 m. Neste aterro, o nível d'água se encontrava na cota +0,70 m.

No aterro sem tratamento, os piezômetros foram monitorados no período de 20 de agosto de 2014 a 15 de janeiro de 2015. A construção do aterro foi iniciada no dia 13 de setembro (dia x) e finalizada em 15 de setembro (dia x). De acordo com os resultados apresentados na Figura 60 e Figura 61, em 122 dias de monitoramento o PZ1 obteve a máxima poropressão no período de construção do aterro, no valor de 26,94 kPa, o PZ2, em 148 dias de monitoramento, também obteve a máxima poropressão no período de construção de aterro, com valor de 43,77 kPa.

Durante o monitoramento, em ambos piezômetros, a poropressão foi diminuindo ao longo do tempo tendendo a se aproximar da pressão hidrostática, PZ1 com valor de 17 kPa e PZ2 com valor de 34 kPa, porém ao final do monitoramento houve um acréscimo de poropressão, provavelmente por um grande lançamento de material, proveniente da escavação da obra onde foram locados os aterros experimentais, nesta mesma data. O montante de terra media em torno de 7 m de altura e foi lançado muito próximo ao aterro experimental sem tratamento, como pode ser visto na Figura 59.

No aterro com CPR *Grouting*, o PZ3 foi monitorado no período de 8 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015, e o PZ4 foi monitorado no período de 15 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015. A elevação ou construção do aterro foi iniciada no dia 16 de setembro e finalizada no dia 19 de setembro. De acordo com a Figura 62, em 129 dias de monitoramento, o PZ3 obteve a maior poropressão registrada no período de construção do aterro, no valor de 27,29 kPa. A de curva de poropressão foi diminuindo ao longo do monitoramento, ficando ligeiramente abaixo do valor da pressão hidrostática de 18,20 kPa. Os resultados apresentados na Figura 63 mostram que, em 122 dias de monitoramento, o PZ4 obteve a maior poropressão registrada no período de construção do aterro, no valor de 57,32 kPa.

Durante o monitoramento a de curva de proporcionalidade foi diminuindo ao longo do tempo, porém ficou acima da pressão hidrostática de 45 kPa.



(a) Piezômetro



(b) Inserção do piezômetro no tubo



(c) Aquisição de dados



(d) Leituras

Figura 58 – Detalhes da Instrumentação com Piezômetros

Fonte: Engegraut - Foto do Monitoramento do Aterros



Figura 59 – Vista do depósito da construtora oriundo das escavações do subsolo

Fonte: Engegraut - Foto do Monitoramento do Aterros

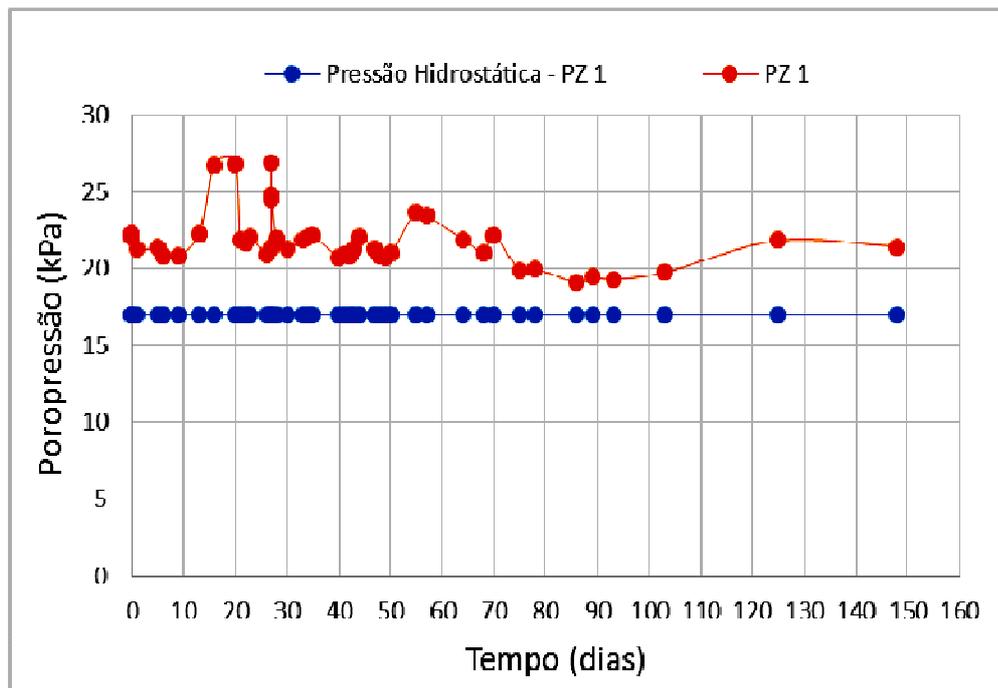


Figura 60 – Resultados fornecidos pelo Piezômetro PZ1: Aterro sem tratamento

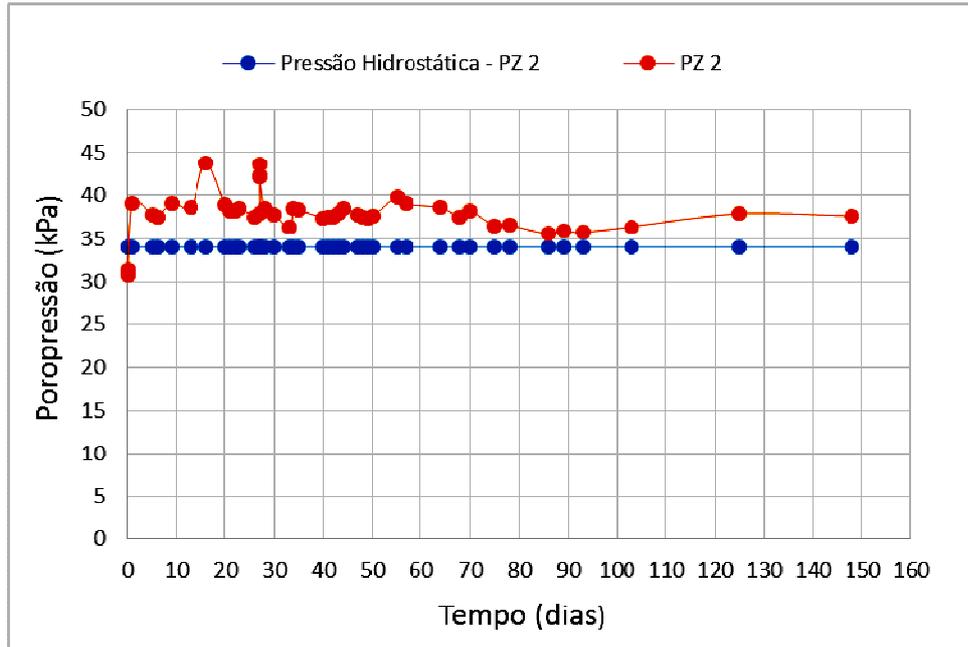


Figura 61 – Resultados fornecidos pelo Piezômetro PZ2: Aterro sem tratamento

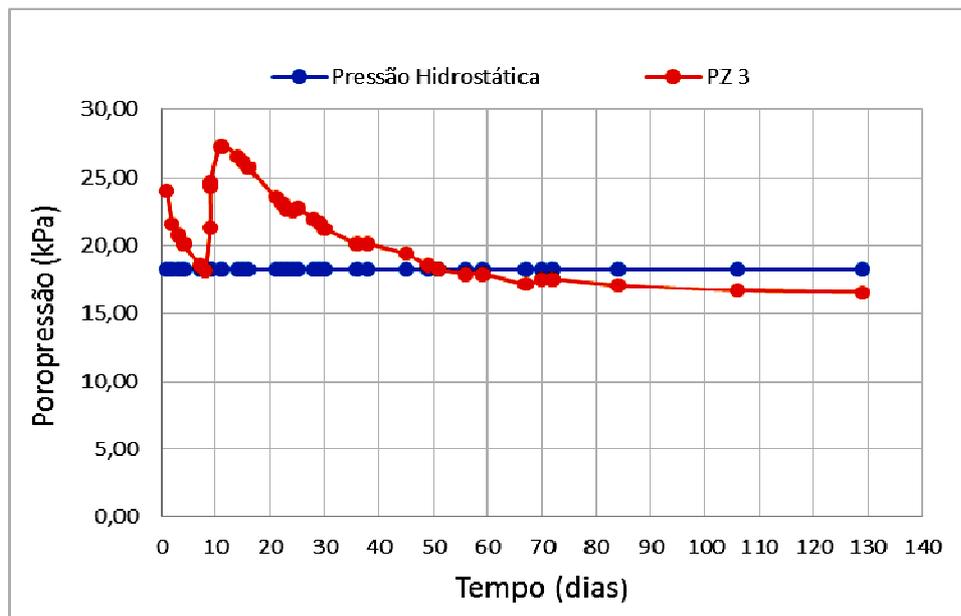


Figura 62 – Resultados fornecidos pelo Piezômetro PZ3: Aterro tratado com CPR Grouting

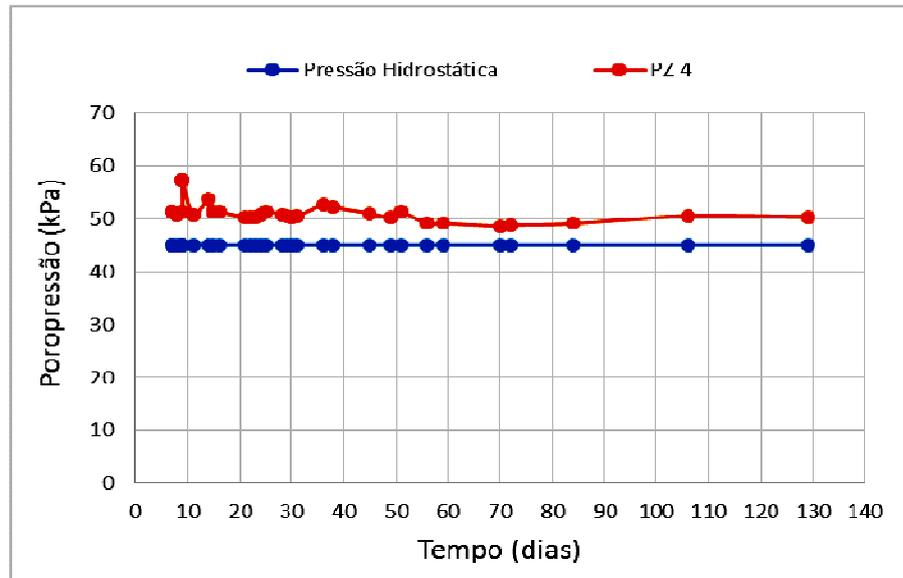


Figura 63 – Resultados fornecidos pelo Piezômetro PZ 4: Aterro tratado com CPR *Grouting*

4.2 Placas de Recalque

A placa de recalque é um dos instrumentos mais utilizados para o monitoramento de aterros sobre solos moles. É um instrumento versátil, de simples execução e fácil instalação, utilizado para medição dos deslocamentos verticais do solo. São compostas por uma placa metálica quadrada solidarizada a uma haste e instaladas na superfície do solo mole.

A base quadrada possui um furo rosqueável no centro e à medida que se faz o alteamento do aterro sobre solo mole, insere-se os tubos, que podem ser de PVC, e as hastes rosqueáveis no interior deles. Os tubos são utilizados para eliminar o atrito entre o solo e a haste da placa de recalque.

O monitoramento das placas é realizado por topografia com o auxílio de um referencial inicial indeslocável. O entorno das placas deve ser sinalizado e protegido, para que os equipamentos de construção do aterro não danifiquem as placas, podendo causar perda dos dados.

Em cada um dos aterros experimentais, foram instaladas três placas de recalque, denominadas: PR-1, PR-2 e PR-3, no aterro sem tratamento, e PR-4, PR-5 e PR-6 no aterro com CPR *Grouting*. A Figura 64 apresenta detalhes da instalação das placas de recalque.



(a) Placa de recalque



(b) Assentamento



(c) Locação

Figura 64 – Detalhes da Instrumentação: Placas de Recalque

Fonte: Engegraut - Foto do Monitoramento do Aterros

Os resultados fornecidos pelas placas de recalque estão apresentados na Figura 65 e na Figura 66. Pode-se observar que as três placas de recalque instaladas no aterro sem tratamento apresentaram resultados semelhantes. Conforme apresentado na locação da instrumentação do aterro sem tratamento, corte AA (Figura 55), a placa de recalque PR-1 situa-se próximo à saia do aterro, no lado esquerdo, a PR-2 está localizada no centro do aterro e a PR-3 próximo à saia do aterro, no lado direito. As placas foram monitoradas no período de 20 de agosto de 2014 a 15 de janeiro de 2015. A construção do aterro foi iniciada no dia 13 de setembro e finalizada no dia 15 de setembro. Em 148 dias de monitoramento, os recalques fornecidos pelas placas de recalque PR-1, PR-2 e PR-3 foram de 49,3 cm, 49,7 cm e 48,5 cm, respectivamente.

No aterro com CPR *Grouting*, conforme apresentado no corte AA da planta de locação da instrumentação (Figura 56), a placa de recalque PR-4 situa-se próximo à saia do aterro, no lado esquerdo, a PR-5 está localizada no centro do aterro e a PR-

6 próximo a saia do aterro, no lado direito. As três placas de recalque instaladas no aterro com CPR *Grouting* também apresentaram resultados semelhantes. As placas foram monitoradas no período de 05 de setembro de 2015 a 15 de janeiro de 2016, e a construção do aterro foi iniciada no dia 16 de setembro e finalizada no dia 19 de setembro. Em 132 dias de monitoramento, foram medidos recalques de 14,6 cm, 15,7 cm e 14,9 cm nas placas PR-4, PR-5 e PR-6, respectivamente.

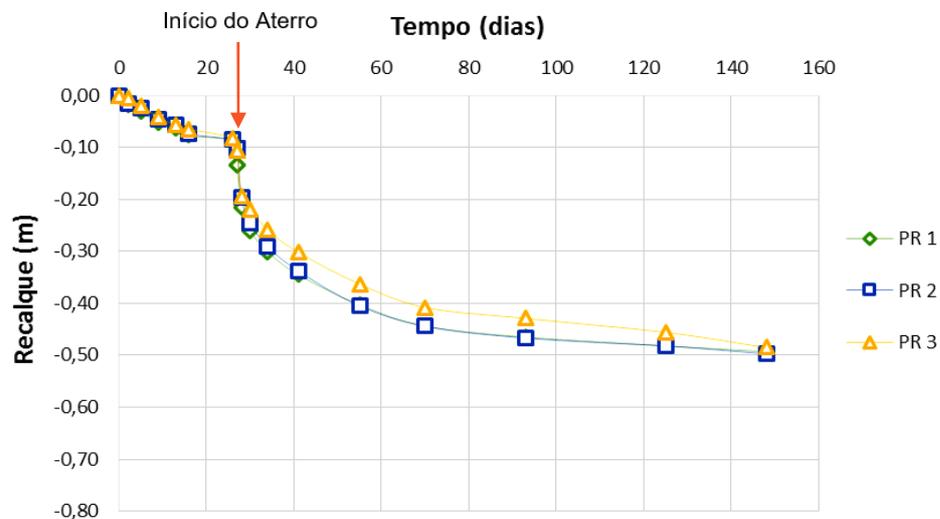


Figura 65 – Resultados fornecidos pelas Placas de Recalque: Aterro sem tratamento

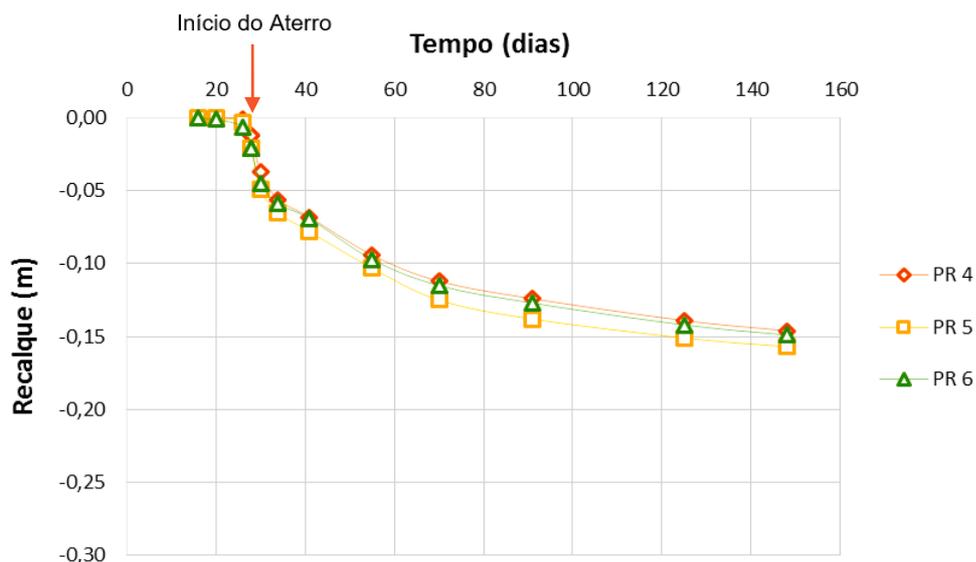


Figura 66 – Resultados fornecidos pelas Placas de Recalque: Aterro com CPR *Grouting*

4.3 Inclínômetro

Os inclinômetros são instrumentos utilizados em campo para medir deslocamentos horizontais ao longo de uma vertical. O inclinômetro é composto por um tubo-guia de PVC, por uma sonda (torpedo) que mede os deslocamentos horizontais e por um equipamento de unidade de leitura digital que computa e armazena os dados obtidos pela sonda (torpedo).

Os tubos possuem 4 ranhuras, diametralmente opostas, na posição 0° , 90° , 180° e 270° , que são utilizadas como guias do torpedo que é introduzido no interior do tubo para efetuar as leituras. Para que não haja necessidade de fazer um outro furo, o tubo pode ser instalado em um furo de sondagem e deve ser engastado em uma camada de solo indeformável.

Além disso, os tubos devem ser instalados de forma que as ranhuras sejam perpendiculares ao pé do aterro, garantindo que os maiores deslocamentos sejam lidos na mesma direção. Os autores recomendam que as leituras sejam feitas também na outra direção, e que, se necessário, deve ser calculada a resultante vetorial das medidas. As leituras do inclinômetro são o ângulo de inclinação do tubo-guia com a vertical, na posição em que a sonda (torpedo) se encontra.

A Figura 67 apresenta a metodologia para a medição dos deslocamentos horizontais nos inclinômetros.

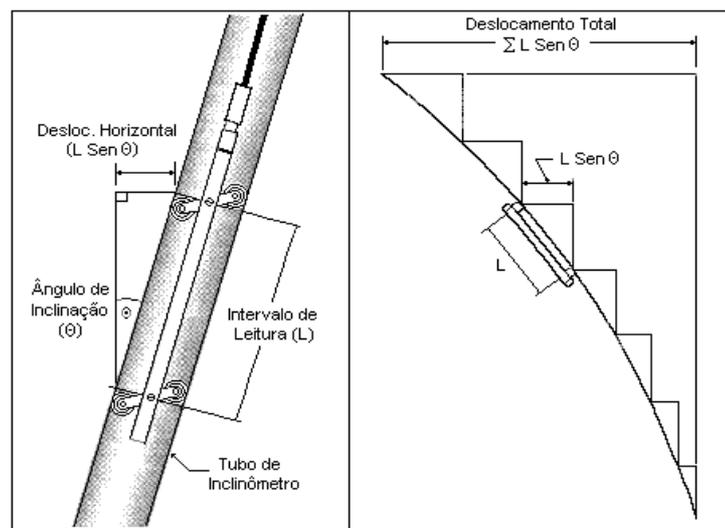


Figura 67 – Obtenção dos deslocamentos horizontais pelo Inclínômetro

Fonte: Geotecnia-UFBA

As leituras são realizadas do fundo do tubo-guia até a superfície do terreno com torpedo a cada 0,5 m. As medições são computadas e armazenadas por equipamento de unidade de leitura digital a cada subida do torpedo. A Figura 68 apresenta detalhes das leituras do inclinômetro.

Na Figura 69 e na Figura 70, são apresentados os resultados dos deslocamentos horizontais obtidos pelos inclinômetros instalados no pé dos aterros experimentais, conforme a locação das instrumentações em planta baixa (Figura 55 e Figura 56). O inclinômetro IN-1 foi instalado no aterro sem tratamento, no pé do aterro, no lado direito, e o inclinômetro IN-2 foi instalado no aterro com tratamento com CPR *Grouting*, no pé do aterro, do lado direito.

No aterro sem tratamento, o inclinômetro IN-1 foi monitorado no período de 05 de setembro de 2014 a 19 de janeiro de 2015, sendo a construção do aterro iniciada no dia 13 de setembro e finalizada em 15 de setembro. Ressalta-se que, no final da instrumentação, houve um grande lançamento de aterro muito próximo ao aterro experimental sem tratamento, proveniente de escavação dentro do terreno da construtora, com quase 7 m de altura, como apresentado na Figura 59. A proximidade deste aterro de escavações sensibilizou as leituras subsequentes efetuadas no inclinômetro instalado no aterro experimental, como pode ser visto na Figura 69.

Em 136 dias de monitoramento, os dados obtidos mostram que, na direção A, o inclinômetro forneceu um deslocamento horizontal positivo de 12,30 cm a 3,5 m abaixo da cota de assentamento do aterro, e um deslocamento horizontal negativo de 11,37 cm na superfície do terreno de fundação, decorrente do aterro lançado próximo ao aterro experimental. Na direção B, o inclinômetro forneceu um deslocamento horizontal negativo de 6,05 cm a 3,0 m abaixo da cota de assentamento do aterro, e devido ao aterro lançado próximo ao aterro experimental, forneceu um deslocamento horizontal positivo de 5,77 cm.

No aterro com CPR *Grouting*, o inclinômetro foi monitorado no período de 12 de setembro de 2014 a 23 de dezembro de 2014, sendo a construção do aterro iniciada no dia 16 de setembro e finalizada em 19 de setembro. Em 102 dias de monitoramento, as leituras mostram que, na direção A, o inclinômetro forneceu um deslocamento horizontal positivo de 1,84 cm na superfície do terreno de fundação do aterro experimental, e na direção B o inclinômetro forneceu um deslocamento horizontal negativo de 0,23 cm a 4,5 m abaixo da cota de assentamento do aterro.



(a) Ranhura do tubo-guia



(b) Sonda (torpedo)



(c) Estabilização da sonda para leitura



(d) Aquisição de dados

Figura 68 – Detalhes da Instrumentação: Inclínômetro

Fonte: Engegraut - Foto do Monitoramento do Aterros

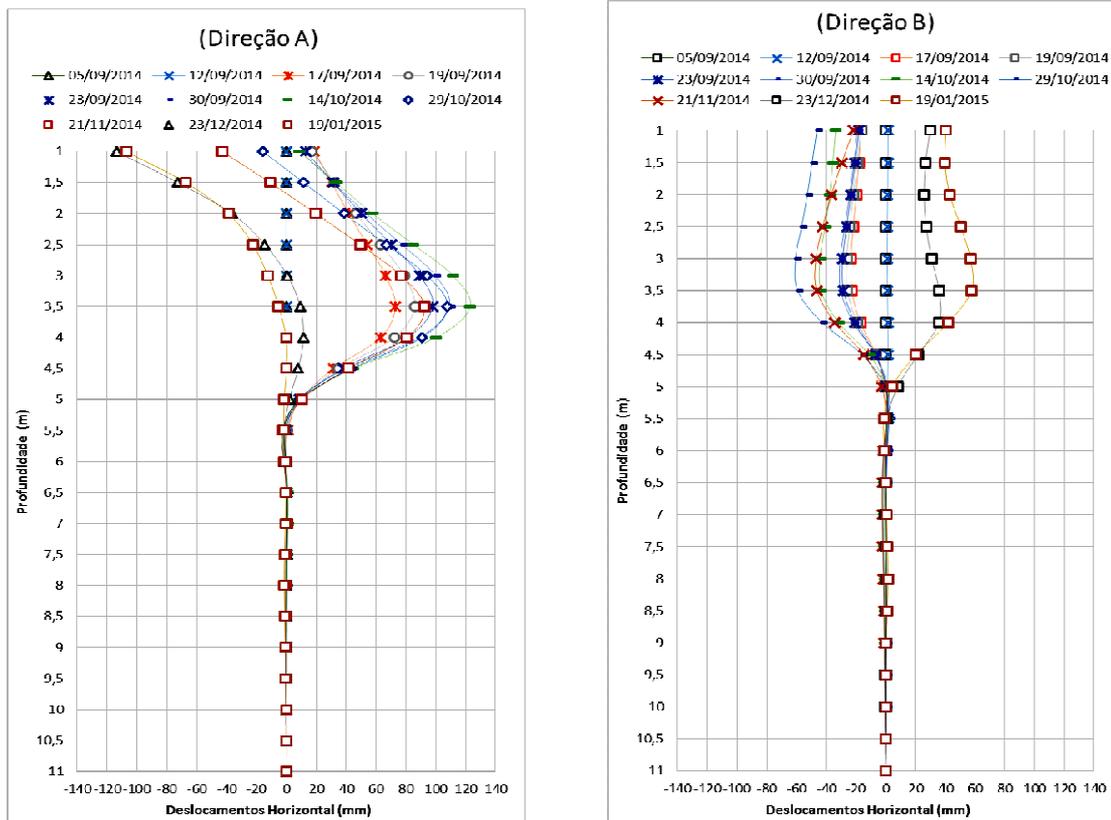


Figura 69 – Resultados fornecidos pelo Inclínômetro IN 1: Aterro sem tratamento

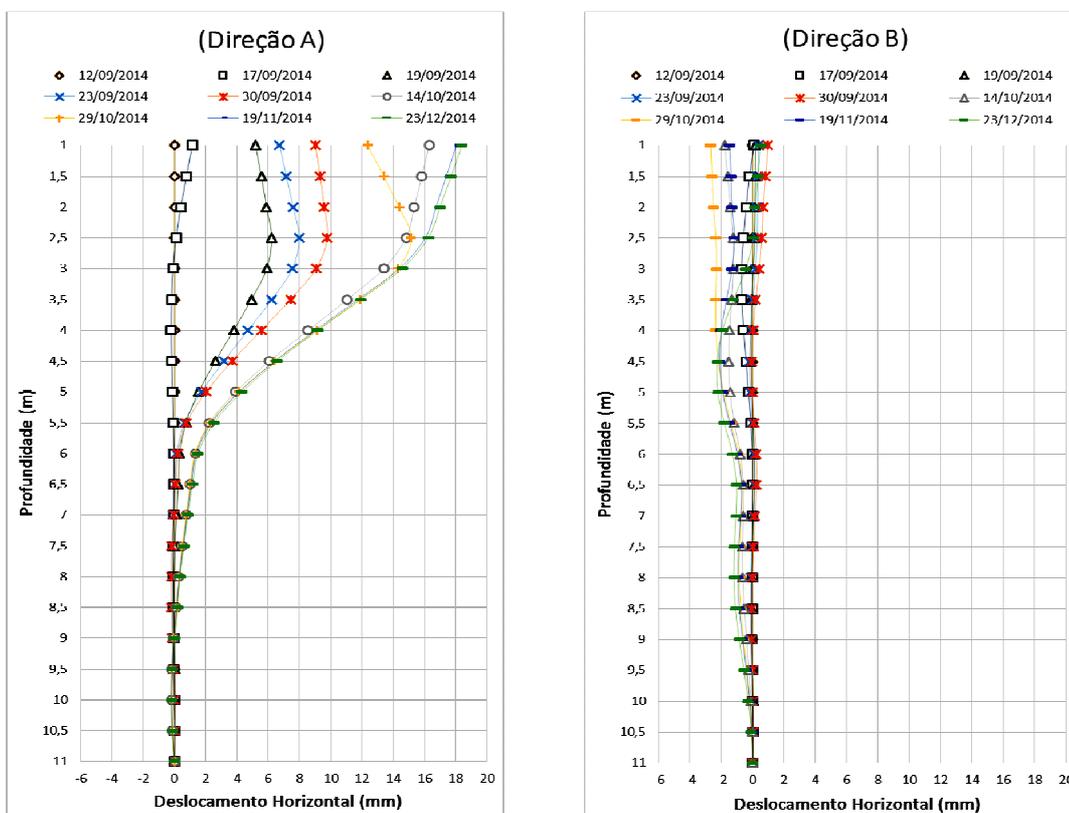


Figura 70 – Resultados fornecidos pelo Inclínômetro IN 2: Aterro tratado com CPR Grouting

4.4 Extensômetro Magnético ou Aranha Magnética

Os extensômetros magnéticos são instrumentos utilizados para medir os deslocamentos verticais ao longo da profundidade. Como são instalados em diversos pontos de uma vertical, possibilitam a obtenção de recalques específicos em diferentes camadas.

Primeiramente, é instalado um tubo guia de PVC, podendo ser inserido em um furo de sondagem anteriormente executado, para não precisar fazer um novo furo. Em seguida, anéis magnéticos com garras (extensômetros magnéticos) são introduzidos entre o tubo e o furo. Inicialmente, as garras ficam fechadas e amarradas para que os anéis consigam se deslocar até a profundidade de projeto. Neste momento, as garras são desamarradas, abertas e fixadas ao solo, sendo por este motivo, chamado também de aranha magnética.

A Figura 71 e a Figura 72 mostram, respectivamente, o detalhe do posicionamento das aranhas magnéticas e uma aranha magnética ao lado da sonda de medição.

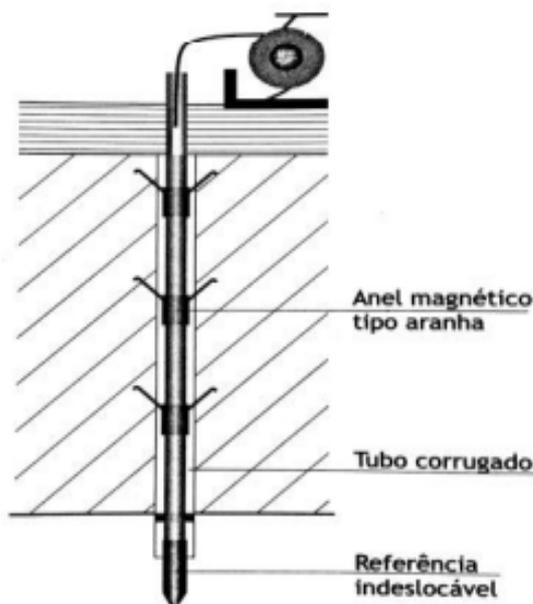


Figura 71 – Detalhe do posicionamento das Aranhas Magnéticas

Fonte: ALMEIDA e MARQUES (2010)

A medição é realizada através de uma sonda introduzida no interior do tubo-guia, que ao passar pelo extensômetro, emite um aviso sonoro e imediatamente se

faz a leitura do ponto onde a aranha magnética se encontra. A Figura 73 apresenta alguns detalhes da instrumentação com a aranha magnética.



Figura 72 – Anel magnético com garras (Aranha magnética) e da Sonda de Medição

Fonte: Site da GEOVOXEL



(a) Tubo-guia e aranha magnética



(b) Leitura

Figura 73 – Detalhes da Instrumentação: Aranha Magnética

Fonte: Engegraut - Foto do Monitoramento do Aterros

Em cada um dos aterros experimentais foram instalados 5 pontos com extensômetros magnéticos ao longo da camada de solo mole. Os resultados fornecidos pelos extensômetros magnéticos estão apresentados na Figura 74 e na Figura 75, para o aterro com e sem CPR *Grouting*, respectivamente.

No aterro sem tratamento, os extensômetros foram monitorados no período de 10 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015, e a construção do aterro foi iniciada no dia 13 de setembro e finalizada em 15 de setembro. Na Figura 55, está apresentada a locação da instrumentação do aterro sem tratamento. As cotas de instalação estão listadas na Tabela 19. Vale ressaltar que o aterro foi assentado na cota +0,6 m, e apresenta 2,0 m de altura. A espessura da camada de argila mole é de 7,0 m.

Tabela 19. Cotas de Instalação das aranhas magnéticas – aterro sem tratamento

Aranha Magnética	Cota (m)
AMV1	-0,9
AMV2	-2,8
AMV3	-4,5
AMV4	-6,8
AMV5	-8,5

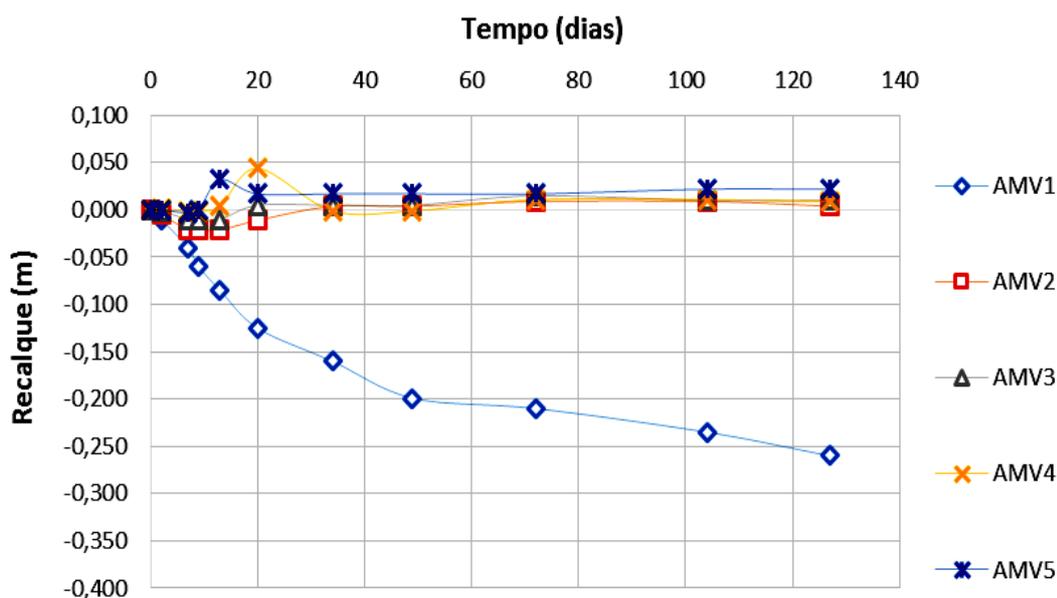


Figura 74 – Resultados fornecidos pelas Aranhas Magnéticas: Aterro sem tratamento

Os resultados apresentados na Figura 74, mostram que, em 127 dias de monitoramento, somente a AMV1 forneceu deslocamentos verticais significativos, da ordem de 26 cm.

No aterro com CPR *Grouting*, os extensômetros foram monitorados no período de 12 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015, e a construção do aterro ocorreu no período de 16 de setembro a 19 de setembro. A Tabela 20 reúne as cotas de instalação das aranhas magnéticas instaladas no aterro com CPR *Grouting*, e a Figura 56 apresenta a locação dos instrumentos. Ressalta-se que o aterro foi assentado na cota +1,25 m e espessura da camada de argila mole é de 7,0 m.

Os resultados apresentados na Figura 75 indicam que, em 127 dias de monitoramento, somente a AMV6 forneceu deslocamentos verticais significativos, da ordem de 5,5 cm.

Tabela 20. Cotas de Instalação das aranhas magnéticas – Aterro com CPR *Grouting*

Aranha Magnética	Cota (m)
AMV6	-0,6
AMV7	-2,4
AMV8	-4,7
AMV9	-4,8
AMV10	-6,8

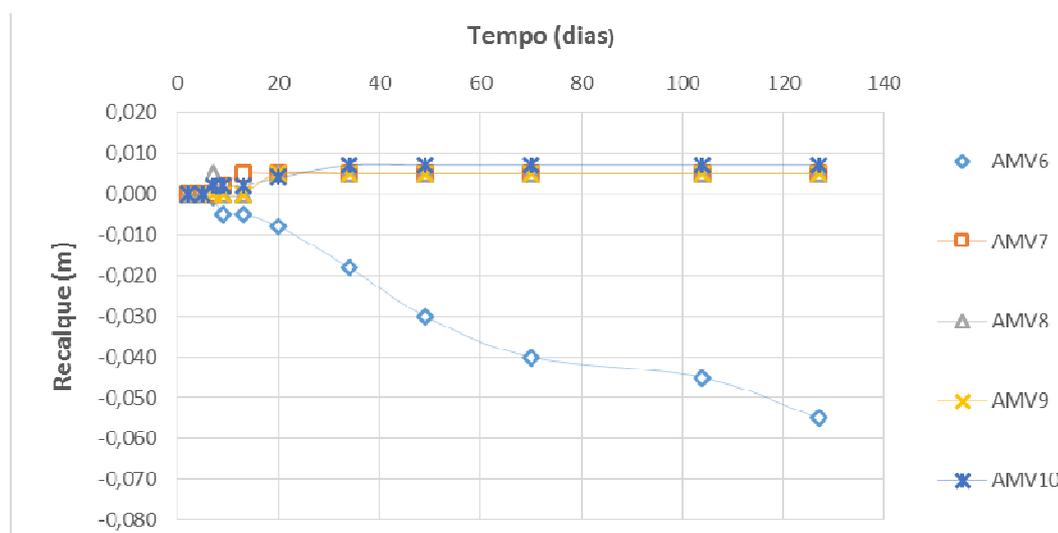


Figura 75 – Resultados fornecidos pelas Aranhas Magnéticas: Aterro tratado com CPR *Grouting*

4.5 Perfilômetro

Os perfilômetros são instrumentos de campo utilizados para monitorar os deslocamentos verticais ao longo da base de um aterro. Antes de iniciar o alteamento do aterro, primeiramente instala-se um tubo-guia, geralmente de PVC, onde é introduzindo um torpedo para realizar as medições dos deslocamentos verticais do tubo.

Segundo Almeida e Marques (2010), as vantagens dos perfilômetros em relação às placas de recalque são a medida contínua dos recalques ao longo de toda base do aterro, e o fato de que o instrumento fica enterrado, não atrapalha a movimentação do maquinário e a construção do aterro. A Figura 76 a Figura 77 apresentam os detalhes da instrumentação.

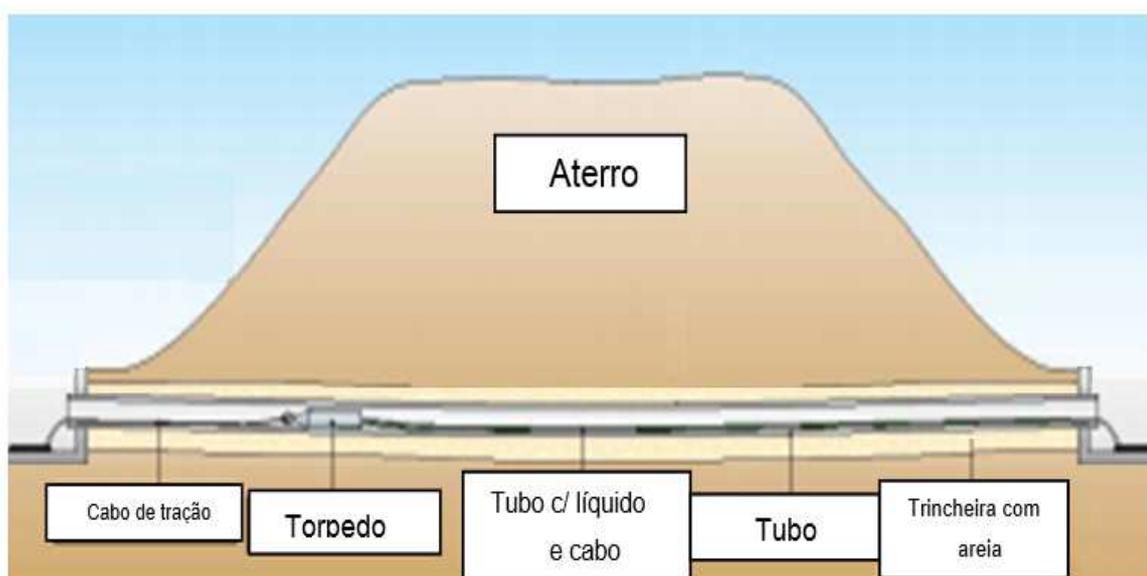
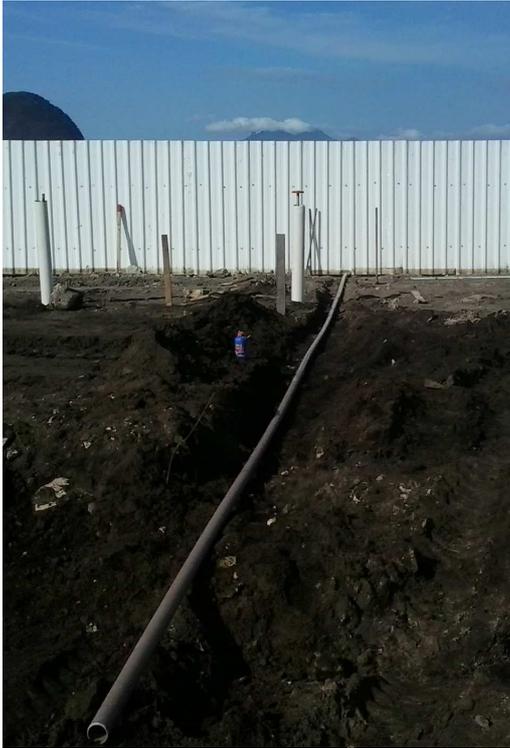


Figura 76 – Detalhamento do Perfilômetro



a) Tubo-guia



(b) Trincheira com areia



c) Torpedo



d) Leitura

Figura 77 – Detalhes da Instrumentação: Perfilômetro

Fonte: Engegraut - Foto do Monitoramento do Aterros

As plantas de locação apresentam o posicionamento dos perfilômetros, que foram instalados na cota de assentamento cada aterro (Figura 55 e Figura 56). Os resultados fornecidos pelos perfilômetros estão apresentados na Figura 78 e Figura 79.

No aterro sem tratamento, o perfilômetro foi monitorado no período de 22 de agosto de 2014 a 21 de novembro de 2014, sendo a construção do aterro realizada no período de 13 de setembro a 15 de setembro. Conforme citado anteriormente, por conta de um grande lançamento de aterro muito próximo ao aterro sem tratamento, foi impossibilitado o acesso o para coleta de dados do perfilômetro e o monitoramento foi concluído em 91 dias.

Os resultados apresentados na Figura 78 mostram, como esperado, que o maior deslocamento vertical ocorreu no centro do aterro, sendo o valor máximo de 46,3 cm.

No aterro com CPR *Grouting*, o perfilômetro foi monitorado no período de 15 de setembro de 2014 a 23 de dezembro de 2014, e o período de construção do aterro foi de 16 de setembro a 19 de setembro. Em 99 dias de monitoramento, o perfilômetro forneceu um deslocamento vertical máximo de 16,8 cm, próximo à saia direita (Figura 79).

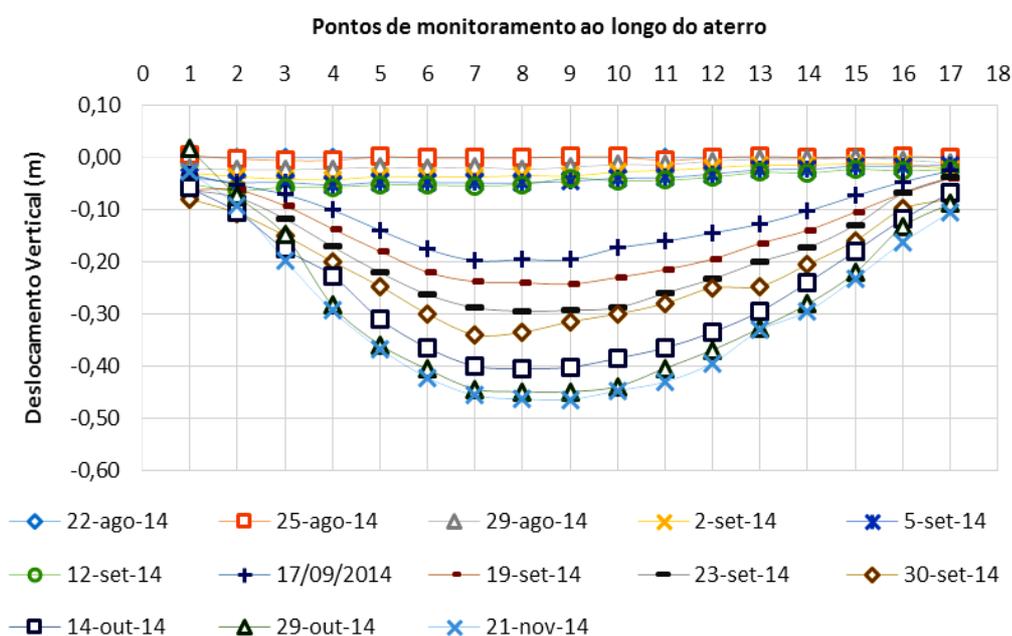


Figura 78 – Resultados fornecidos pelo Perfilômetro: Aterro sem tratamento

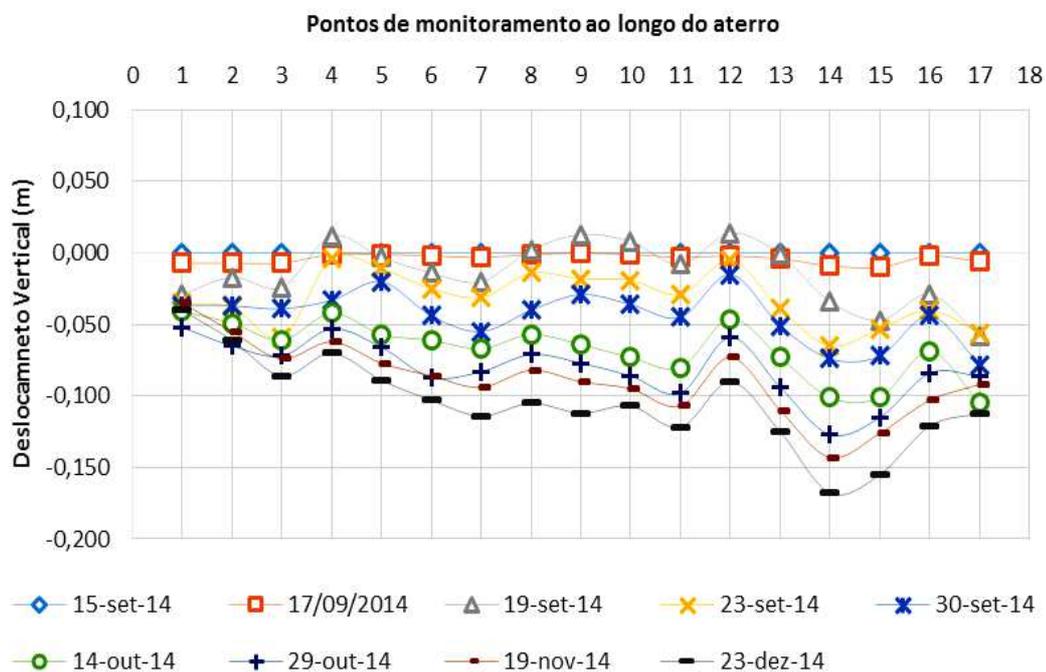


Figura 79 – Resultados fornecidos pelo Perfilômetro: Aterro com CPR Grouting

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente capítulo discute os resultados da instrumentação de campo, comparando o comportamento dos aterros experimentais sem tratamento e com tratamento com Consolidação Profunda Radial *Grouting* (CPR *Grouting*).

A partir da comparação entre as poropressões, e os deslocamentos verticais e horizontais, é discutida, também, a eficiência do tratamento com CPR *Grouting*.

Um breve histórico da execução dos aterros foi apresentado no Capítulo 3.

5.1 Deslocamentos Verticais

No presente estudo, os deslocamentos verticais foram monitorados por três instrumentos de medição diferentes: placas de recalques, perfilômetros e extensômetros magnéticos. O confronto entre as leituras dos diferentes instrumentos permite uma análise mais precisa do comportamento do solo.

5.1.1 Placas de Recalque

O monitoramento das placas de recalques do aterro sem tratamento iniciou em 20 de agosto e finalizou em 15 de janeiro de 2015. Na última leitura realizada, com 148 dias de monitoramento, o deslocamento máximo registrado pela PR1 foi de 49,3 cm, pela PR2 foi de 49,7 cm e pela PR3 foi de 48,5 cm. A diferença entre os resultados registrados pelas placas foi de, no máximo, 1,2 cm, apresentando uma uniformidade das informações.

A elevação ou construção do aterro foi iniciada no dia 13 de setembro, 24 dias após o início do monitoramento e finalizada no dia 15 de setembro. Conforme apresentado na Figura 80, pode ser observado que há recalque antes da construção dos aterros experimentais, provavelmente pelo carga do aterro de conquista da obra. As curvas de recalque vs tempo mudaram de comportamento, onde pode ser observado uma aceleração dos recalques com aumento na magnitude dos recalques em função do tempo.

Os resultados também mostram que as três curvas de recalque apresentam tendência à estabilização. Essa tendência foi comprovada pelo método de Asaoka (Figura 81), que estima os recalques finais a partir dos dados da instrumentação de campo. Pelo método de Asaoka, o recalque final previsto para as placas PR1, PR2 e PR3 foi de 51,2 cm, 52,2 cm e 50,3 cm, respectivamente. Os recalques finais mostraram-se próximos, com valor médio igual a 51,2 cm. A Tabela 21 reúne os recalques finais previstos pelo método de Asaoka, a partir dos resultados das seis placas de recalque.

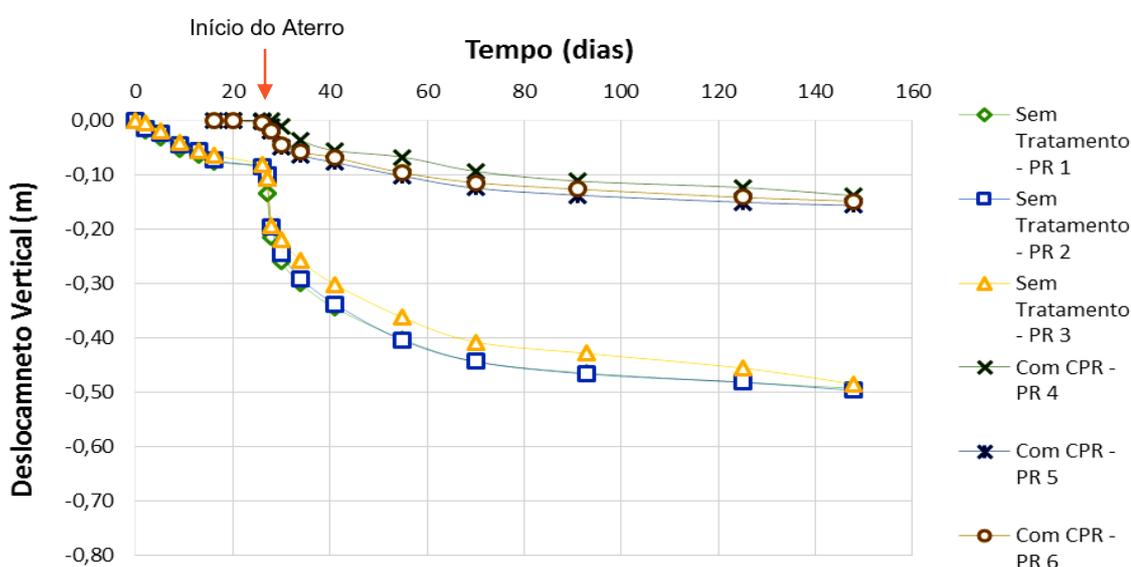


Figura 80 – Resultados fornecidos pelas Placas de Recalque

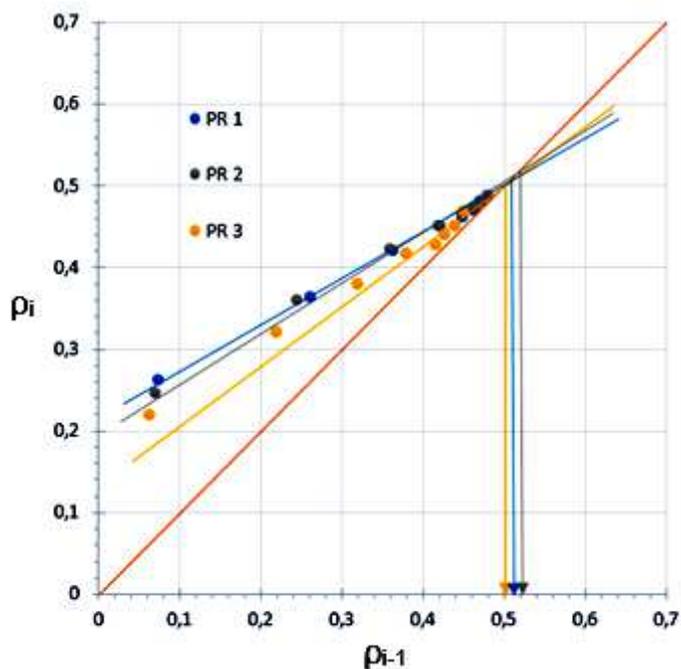


Figura 81 – Método de Asaoka: Aterro sem tratamento

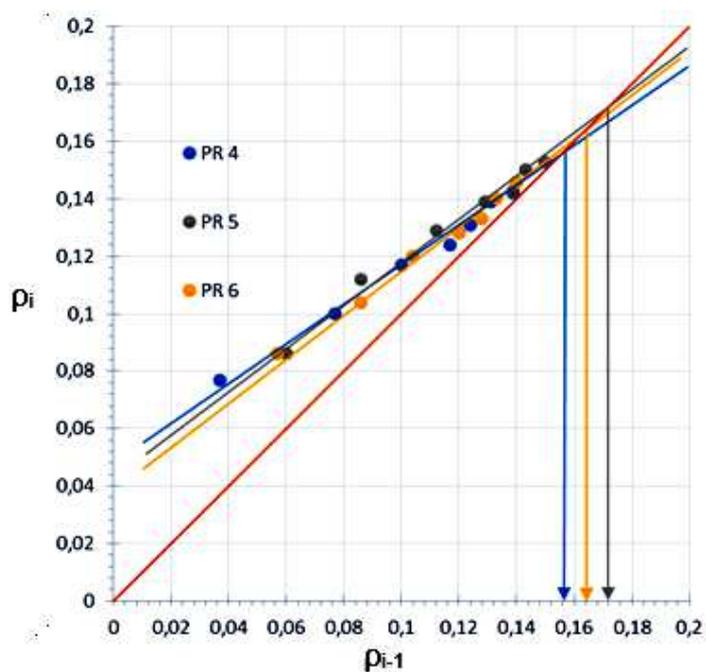


Figura 82 – Método de Asaoka: Aterro com CPR *Grouting*

No aterro com CPR *Grouting*, o monitoramento das placas de recalques iniciou em 05 de setembro e finalizou no dia 15 de janeiro de 2015, totalizando 132 dias de monitoramento. Na última leitura realizada, o deslocamento vertical máximo

registrado pela PR4 foi de 14,6 cm, pela PR5 foi de 15,7 cm e pela PR6 foi de 14,9 cm. A maior diferença entre os resultados foi de 1,1 cm, indicando uniformidade nos resultados obtidos pelas placas. A execução do aterro foi iniciada no dia 16 de setembro, 11 dias após início do monitoramento e finalizada no dia 19 de setembro. Após a finalização do aterro, observa-se uma mudança de comportamento nas curvas de recalque vs tempo (Figura 80), em virtude de uma aceleração dos recalques. As curvas do aterro com CPR *Grouting* mostram que os recalques estão praticamente estabilizados, o que foi comprovado pelo método de Asaoka (Figura 82). A Tabela 21 reúne os recalques finais previstos pelo método de Asaoka, que são iguais a 15,6 cm, 17,2 cm e 16,4 cm, para as placas PR4, PR5 e PR6, respectivamente. Mais uma vez, os resultados das diferentes placas mostraram uniformidade, com valor médio igual a 16,4 cm.

A partir dos valores médios de recalque previstos pelo método de Asaoka, é possível determinar a eficiência (ε) do tratamento, a partir da expressão:

$$\varepsilon = \frac{\rho_s - \rho_{CPR}}{\rho_s} \quad (27)$$

Onde: ρ_s = recalque sem tratamento;

ρ_{CPR} = recalque com tratamento com CPR *Grouting*.

A Tabela 21 apresenta a eficiência do tratamento, que representou uma redução de recalques de 68 %.

Tabela 21. Recalques finais previstos pelo método de Asaoka

Aterro	Placa	Recalque final (cm)	Recalque final médio (cm)	Eficiência ε (%)
Sem tratamento	PR1	51,2	51,2	68
	PR2	52,2		
	PR3	50,3		
Com tratamento	PR4	15,6	16,4	
	PR5	17,2		
	PR6	16,4		

5.1.2 Perfilômetros

O monitoramento do perfilômetro instalado no aterro sem tratamento ocorreu no período de 22 de agosto de 2014 a 21 de novembro de 2014. Na última leitura realizada, o valor máximo do recalque foi de 46,3 cm no ponto de monitoramento próximo ao centro do aterro, com valores mínimos de recalque próximo aos pontos de monitoramento situados no “pé” do aterro, como mostra a Figura 83.

No aterro com CPR *Grouting*, o monitoramento ocorreu entre 15 de setembro de 2014 e 23 de dezembro de 2014. O valor de deslocamento vertical máximo foi de 16,8 cm, na última leitura realizada, próximo ao “pé” ao aterro, do seu lado direito, como indica a Figura 83. Este fato pode ser explicado por estar mais próximo da área sem tratamento.

É interessante observar que as formas das curvas obtidas nos aterros com tratamento e sem tratamento são distintas. Enquanto o aterro sem tratamento apresenta um recalque máximo no centro e mínimo nos bordos, no aterro com tratamento, os recalques oscilaram ao longo da base do aterro.

A partir das leituras fornecidas pelos perfilômetros, foi determinada, também, a eficiência da técnica de consolidação profunda radial. Foram utilizados os valores máximos de recalque medidos, e aplicada a expressão (27), que forneceu um valor de eficiência de 64 %, que representa a redução da magnitude dos recalques finais.

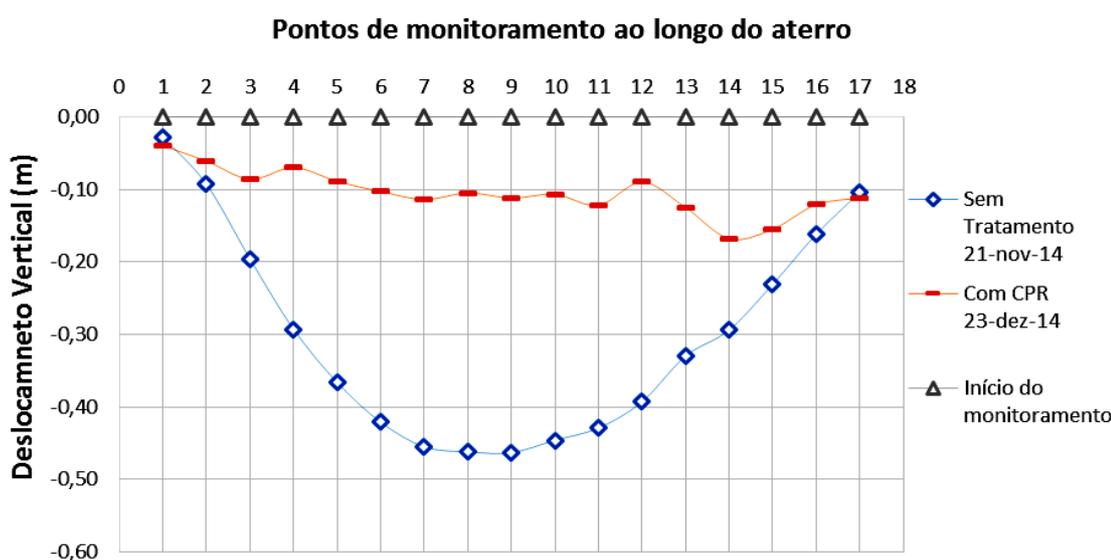


Figura 83 – Resultados fornecidos pelos perfilômetros ao final do monitoramento

Para gerar o perfil de deslocamento vertical pelo perfilômetro, supõem-se que uma das extremidades esteja fixa e, a partir dela, são gerados os recalques a intervalos equidistantes ao longo do perfilômetro. No entanto, de acordo com os dados obtido em campo, ocorreram deslocamentos nas duas extremidades, tendo em vista que toda a instrumentação está assente em área sobre solo em processo de adensamento.

5.1.3 Extensômetros Magnéticos (Aranhas Magnéticas)

Os extensômetros magnéticos foram monitorados no período de 10 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015, para o aterro sem tratamento, e de 12 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015, para o aterro com CPR *Grouting*. A Figura 84 apresenta as curvas fornecidas pela AMV1 e pela AMV6, pois foram as únicas que apresentaram deslocamentos verticais significativos. As demais forneceram deslocamentos verticais próximos a zero.

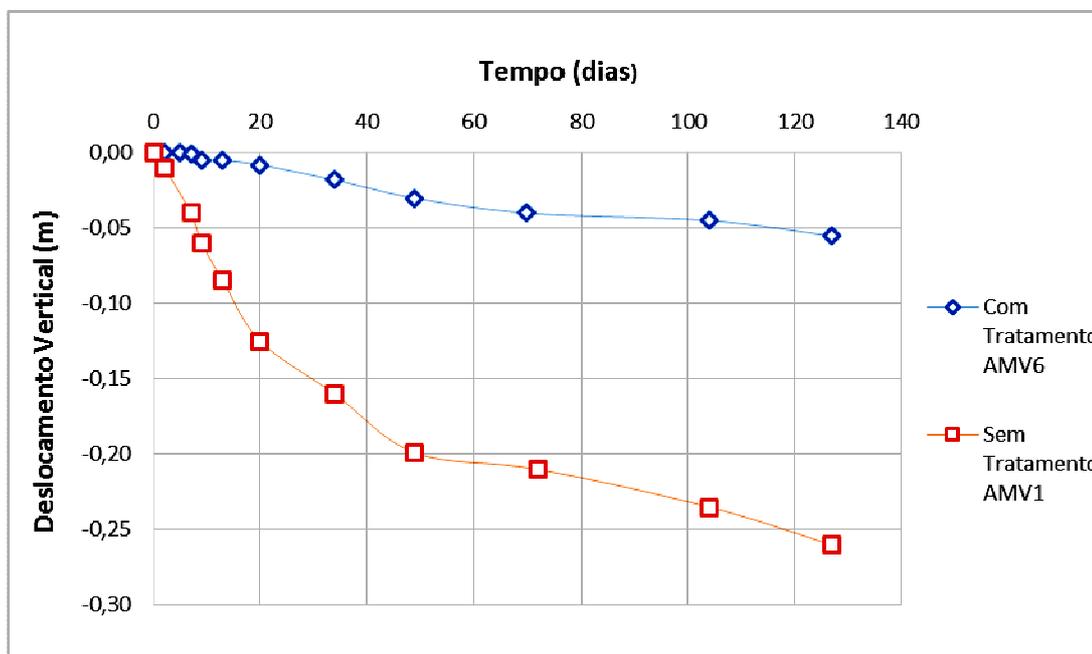


Figura 84 – Resultados fornecidos pelos Extensômetros Magnéticos durante todo o monitoramento

No aterro sem tratamento, a aranha magnética AMV1, instalada na cota -0,9 m, forneceu um deslocamento vertical de 26 cm. No aterro com CPR *Grouting*, a

aranha magnética AMV6, instalada na cota -0,6 m, forneceu 5,5 cm de deslocamento vertical. O aterro sem tratamento foi assentado na cota +0,6 m e no aterro com CPR *Grouting* na cota +1,25 m. Estes resultados mostram que a primeira camada de solo obteve uma redução 78,8% com CPR *Grouting*. A incerteza dos resultados obtidos pelas demais aranhas magnéticas impedem a comparação direta dos resultados e a determinação da eficiência em termos de recalque total.

5.1.4 Comparação entre os resultados de deslocamentos verticais

A Tabela 22 compara os resultados fornecidos pelos diferentes medidores de deslocamentos verticais, na data da última leitura. Observa-se uma compatibilização entre os valores fornecidos pelos perfilômetros e pelas placas de recalque. Não há como comparar os resultados obtidos pelas aranhas magnéticas com os dos demais instrumentos, pois somente as aranhas AMV1 e AMV6, localizadas próximo à cota de assentamento dos aterros, obtiveram resultados confiáveis. Porém, conclui-se que a primeira camada de solo mole, para o aterro sem tratamento, contribui em 53% do recalque total, e para o aterro com tratamento em 33% do recalque total.

Tabela 22. Comparação dos resultados dos instrumentos de medição de recalques

Aterro Experimentais	Placa de Recalque (m)			Recalque final pelo Método de Asaoka (cm)			AMV (cm)	Perfilômetro (cm)
	PR 1	PR 2	PR 3	PR 1	PR 2	PR 3	AMV-1	Posição 9
Aterro sem tratamento	49,3	49,7	48,5	51,2	52,2	50,2	26	46,3
	PR 4	PR 5	PR 6	PR 4	PR 5	PR 6	AMV-6	Posição 14
Aterro com CPR <i>Grouting</i>	14,6	15,7	14,9	15,6	17,2	16,4	5,5	16,8

Cabe ressaltar que os valores de recalque final previstos pelo método de Asaoka para o aterro sem tratamento (em torno de 51,0 cm) mostraram-se significativamente inferiores aos estimados em projeto (1,65 m). A justificativa para essa discrepância pode estar relacionada à qualidade dos parâmetros adotados na ocasião do projeto. Como comentado no Capítulo 3, estes parâmetros foram definidos a partir de ensaios oedométricos, executados com amostras coletadas na região dos aterros.

Diante do exposto, optou-se por avaliar a qualidade das amostras utilizadas nos ensaios oedométricos e reavaliar os parâmetros adotados.

5.1.5 Qualidade das amostras e reavaliação dos parâmetros de projeto

Para a avaliação da qualidade das amostras, foi utilizada a proposta de Lunne *et al.* (1997), onde os autores sugerem a utilização do quociente $\Delta e/e_0$, apresentado no Capítulo 2. A Tabela 23 apresenta as faixas classificatórias das qualidades das amostras propostas por Lunne *et al.* (1997), Coutinho *et. al* (2001) e Oliveira (2002).

A qualidade da amostra 1 não pode ser calculada pois não foi possível obter o valor do índice de vazios correspondente à tensão efetiva de campo, pois a gráfico Índice de Vazios (e) vs Tensão Efetiva (σ'_v) obtido pelo ensaio de adensamento inicia-se com uma tensão efetiva maior do que a tensão efetiva de campo. A qualidade das amostras 2 e 3 foram classificadas como excelente à muito boa, e a amostra 4 foi classificada como regular. Em vista disso, foram realizados novos cálculos para obtenção do recalque final do solo antes do tratamento com CPR *Grouting*. Os parâmetros das amostras 2 e 3 foram considerados representativos e adotados na nova estimativa dos recalques para as profundidades de 2,0 m a 4,0 m, e 4,0 m a 6,0 m, respectivamente. Os parâmetros obtidos para as amostras 1 e 4, representativos das profundidades 0,0 m a 2,0 m, e 6,0 m a 8,0 m, respectivamente, foram reavaliados com base em dados fornecidos na literatura, apresentados no Capítulo 1.

A Tabela 24 apresenta os parâmetros utilizados para na nova estimativa do recalque final. Na Tabela 25 estão estimados os valores de recalque obtidos em cada camada e o valor do recalque final total. Pode se observar que a estimativa de recalque da primeira camada (21 cm) está compatível com o resultado obtido pela aranha magnética (26 cm).

Os resultados indicam valores de recalque final da ordem de 74,6 cm, que se aproxima dos deslocamentos verticais obtidos pela instrumentação geotécnica e pela previsão pelo método de Asaoka. Como apresentado no Capítulo 3, cabe ressaltar que a obra havia recebido uma camada de aterro de conquista com espessura de 1,30 m que foi removido juntamente com o geotêxtil solo antes da construção dos aterros experimentais.

Tabela 23. Qualidade das amostras coletadas na região dos aterros

Amostra	Profundidade de coleta (m)	OCR	e _o	e _o 'v _o	Δe	Δe/e _o	Qualidade das Amostras		
							Lunnet et al. (1997)	Coutinho et. al (2001)	Oliveira (2002)
1	1 - 1,5	6,00	15,61	-	-	-	-	-	-
2	3 - 3,5	2,63	3,64	3,53	0,110	0,030	Excelente - Muito Boa	Excelente - Muito Boa	Excelente - Muito Boa
3	5 - 5,5	1,43	3,26	3,21	0,045	0,014	Excelente - Muito Boa	Excelente - Muito Boa	Excelente - Muito Boa
4	7 - 7,5	1,15	2,76	2,60	0,156	0,057	Regular - Pobre	Regular	Boa - Regular

Tabela 24. Parâmetros adotados para o novo cálculo de recalque final

	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4
Espessura de argila (m)	2,00	2,00	2,00	2,00
γ_{nat} (kN/m ³)	12,81	12,81	13,09	13,09
e _o	5,00	3,70	3,26	2,50
C _c	1,00	0,69	0,69	0,69
C _s	0,09	0,09	0,09	0,09
c _v (m ² /dia)	1,73 x 10 ⁻³	1,73 x 10 ⁻³	6,91 x 10 ⁻³	6,91 x 10 ⁻³
OCR	2,63	2,63	1,43	1,43

Tabela 25. Estimativa dos Recalques

	Recalque Primário (m)
Camada 1	0,214
Camada 2	0,193
Camada 3	0,187
Camada 4	0,150
Recalque Total	0,746

5.2 Deslocamentos Horizontais

A Figura 85 apresenta os deslocamentos horizontais fornecidos pelos inclinômetros instalados nos aterros sem tratamento e com tratamento com CPR *Grouting*. No aterro sem tratamento, o monitoramento ocorreu no período de 05 de setembro de 2014 a 19 de janeiro de 2015. Para o aterro com CPR *Grouting*, os deslocamentos horizontais foram monitorados de 12 de setembro de 2014 a 23 de dezembro de 2014. Pode-se observar que as curvas plotadas da direção A mostram que o maior deslocamento horizontal do aterro sem tratamento foi registrado no dia 14 de outubro de 2014, a 3,5 m de profundidade, com 12,3 cm de magnitude. A partir de 5,5 m de profundidade, os deslocamentos horizontais tendem a zero.

No dia 29 de outubro de 2014, houve um grande lançamento de aterro muito próximo ao aterro experimental sem tratamento, com quase 7,0 m de altura. As leituras subsequentes obtidas pelo inclinômetro do aterro sem tratamento foram afetadas e a curva de deslocamento horizontal mudou de comportamento, e sentido, logo após esse lançamento. Na última leitura, em 19 de janeiro de 2015, o deslocamento horizontal parte com deslocamento máximo de -10,73 cm no último ponto de medição, a 1 m da superfície do aterro, regredindo ao longo da profundidade, chegando a aproximadamente zero a 4,0 m de profundidade.

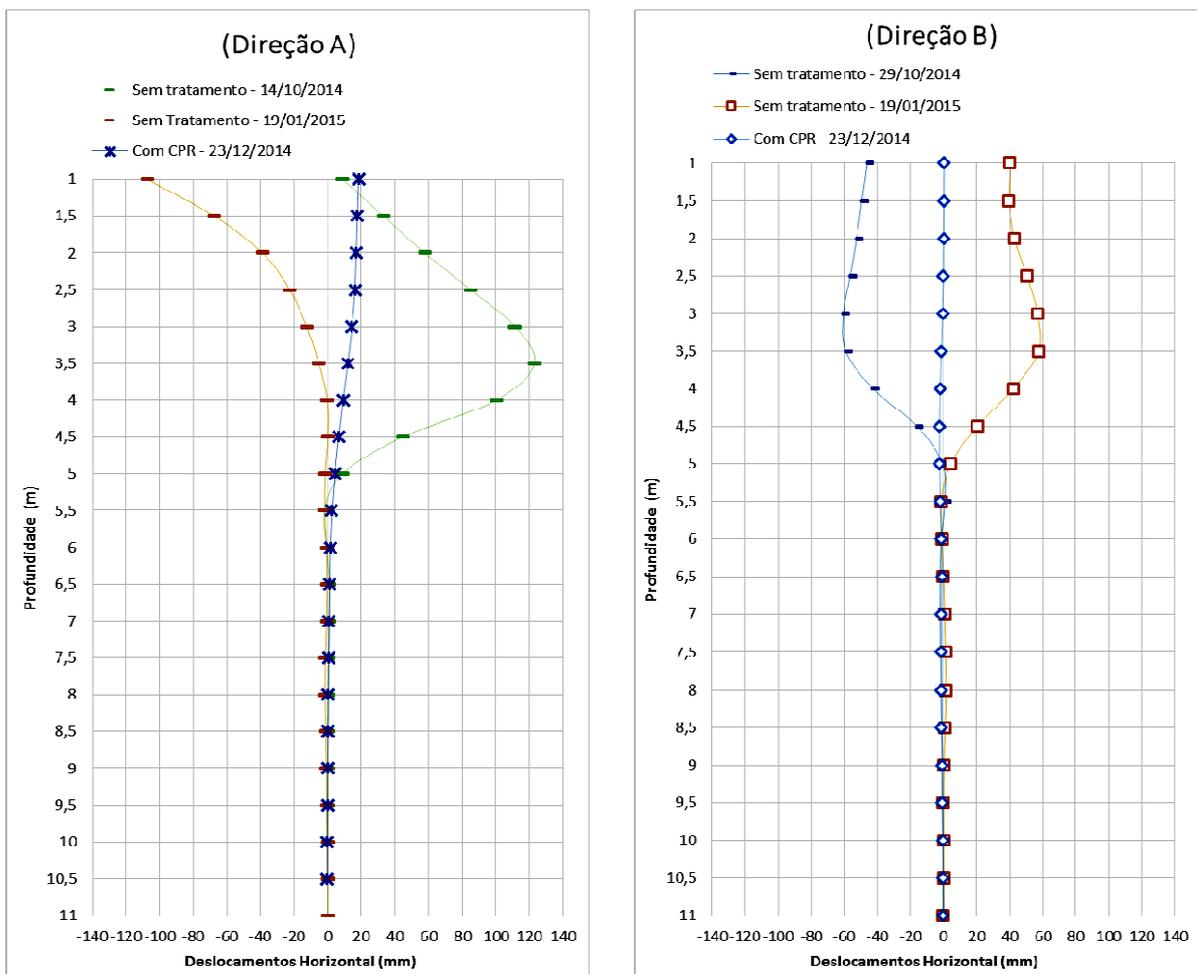


Figura 85 – Resultados fornecidos pelos inclinômetros

Na direção B, o maior deslocamento horizontal do aterro sem tratamento foi registrado no dia 29 de outubro de 2014, e foi da ordem -6,05 cm. A partir desse ponto, o deslocamento regride chegando a aproximadamente zero a 5,0 m abaixo da cota de superfície do aterro. Devido ao grande lançamento de aterro muito próximo ao aterro experimental sem tratamento, a curva de deslocamento horizontal mudou de sentido, atingindo o valor máximo de 5,77 cm a 3,5 m abaixo da cota de superfície do aterro.

No aterro com CPR *Grouting*, na última leitura realizada em 23 de dezembro de 2014, o deslocamento horizontal máximo foi de 1,84 cm, a 1,0 m de profundidade, na direção A. Na direção B, os deslocamentos horizontais medidos foram nulos.

5.2.1 Comparação entre os resultados de deslocamentos horizontais

A Tabela 26 reúne os deslocamentos horizontais medidos pelos inclinômetros, nas diferentes direções. Na data da última leitura, o inclinômetro instalado no aterro sem tratamento forneceu um deslocamento de -10,73 cm, na direção A, devido a um grande acréscimo de tensão provocado por lançamento de aterro muito próximo ao aterro experimental sem tratamento. O aterro com CPR *Grouting* forneceu deslocamento máximo de 1,84 cm.

Na direção B, o último registro foi de 5,77 cm de deslocamento horizontal, no aterro sem tratamento, e de 0,23 cm no aterro tratado com consolidação profunda radial. Os resultados mostram uma redução significativa dos deslocamentos horizontais decorrente do tratamento com CPR *Grouting*. A redução de deslocamentos foi de 83% na direção A, e 96% na direção B.

Tabela 26. Comparação entre os resultados fornecidos pelos inclinômetros

Aterro	Deslocamento Horizontal (cm)	
	Direção A	Direção B
Aterro sem CPR <i>Grouting</i> - Antes do lançamento do aterro	12,30	-6,05
Aterro sem CPR <i>Grouting</i> - Última leitura	-10,73	5,77
Aterro com CPR <i>Grouting</i>	1,84	0,23

5.3 Poropressões

As poropressões foram monitoradas pelos piezômetros no período de 20 de agosto de 2014 a 15 de janeiro de 2015, no aterro sem tratamento. A execução do aterro foi realizada entre 13 de setembro e 15 de setembro de 2014.

No aterro com CPR, os piezômetros foram monitorados no período 8 de setembro de 2014 a 15 de janeiro de 2015 e a elevação do aterro foi iniciada no dia 16 de setembro e finalizada no dia 19 de setembro. Conforme apresentado na Figura 86 e Figura 87, os maiores registros de poropressão se deram no período de construção do aterro. Pode-se observar que os piezômetros do aterro sem

tratamento registraram um acréscimo de poropressão no momento em que um grande aterro, com quase 7,0 m de altura, foi lançado muito próximo ao aterro experimental sem tratamento.

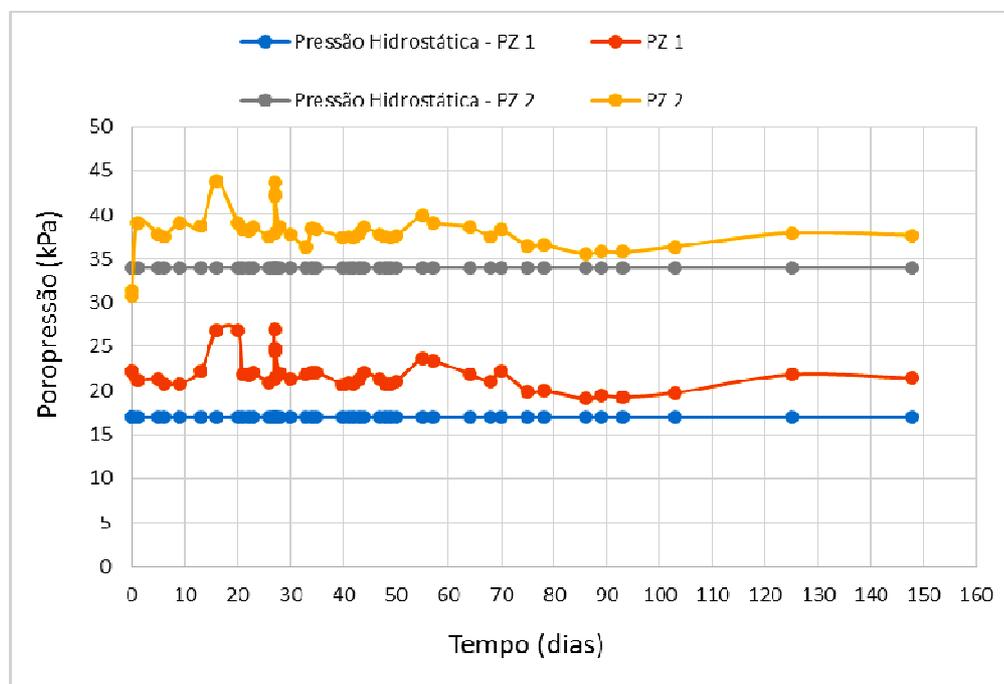


Figura 86 – Resultados fornecidos pelos piezômetros – Aterro sem tratamento

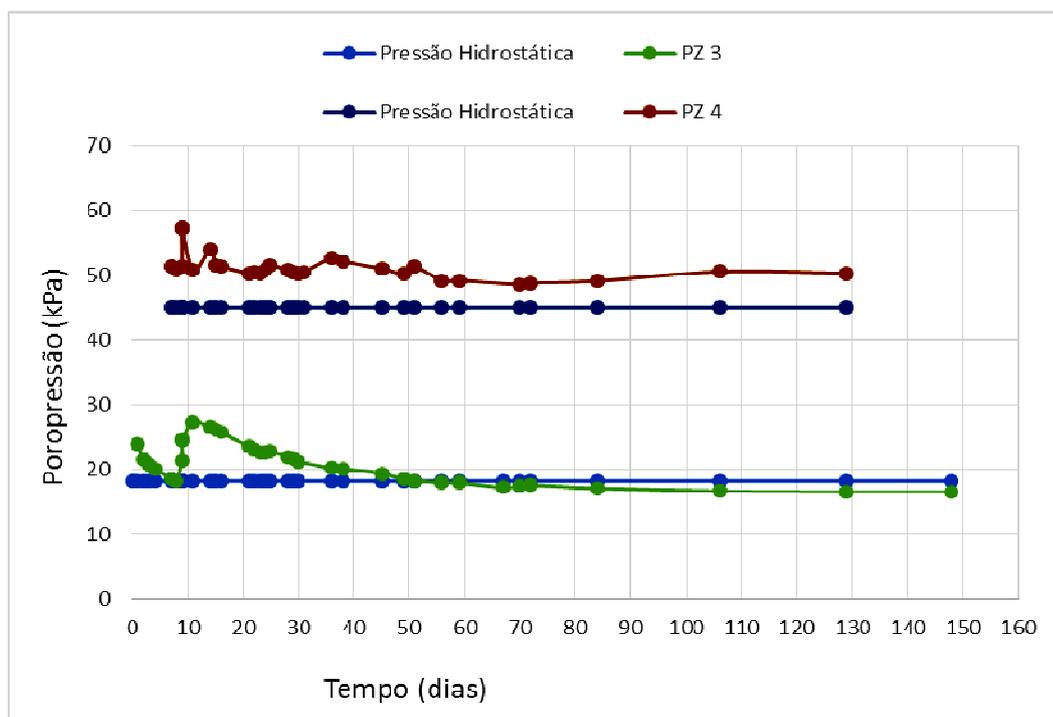


Figura 87 – Resultados fornecidos pelos piezômetros – Aterro com CPR Grouting

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

6.1 Conclusões

O presente estudo analisou o comportamento de dois aterros experimentais a partir de resultados de instrumentação geotécnica. Os aterros foram implementados na área de construção do Condomínio Palms Recreio Residencial, localizado na Avenida Miguel Antônio Fernandes, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro – RJ. Um dos aterros foi executado sobre solo mole com geodrenos, e o outro sobre solo tratado com a técnica de consolidação profunda radial (CPR *Grouting*).

Durante o estudo, observou-se que os valores médios de deslocamento vertical obtidos pelas placas de recalque (49,2 cm) e previstos pelo método de Asaoka (51,2 cm) foram inferiores aos estimados em projeto (1,65 m), conduzindo a um estudo referente à qualidade das 4 amostras utilizadas nos ensaios oedométricos.

Como principais conclusões, destaca-se:

- Após a reavaliação dos parâmetros, foram estimados recalques finais da ordem de 74,6 cm, antes da adoção da técnica de tratamento com CPR *Grouting*. Este valor se aproxima das previsões pelo método de Asaoka;
- Os resultados da instrumentação de campo mostraram-se consistentes. As placas de recalque indicaram deslocamentos verticais compatíveis com os medidos pelos perfilômetros. As aranhas magnéticas verticais forneceram recalques inferiores;
- Os recalques médios previstos pelo método de Asaoka são: 16,4 cm para o aterro com tratamento e 51,2 cm para o aterro sem tratamento. Em termos de minoração dos recalques, foi verificada uma eficiência de 68 % da técnica;
- Os resultados dos inclinômetros indicaram uma redução significativa dos deslocamentos horizontais decorrente do tratamento com CPR *Grouting*. A redução foi de 83 % na direção A, e 96 % na direção B;

Os resultados permitiram avaliar a eficiência da técnica de consolidação profunda radial CPR *Grouting*. Observou-se uma redução significativa dos recalques sobre o solo tratado, bem como uma diminuição dos deslocamentos horizontais. Ressalta-se a eficácia da técnica, que permite também, uma aceleração expressiva dos recalques com a instalação dos geodrenos.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Comparação entre a técnica CPR *Grouting* e as demais técnicas de tratamento de solo mole.
- Utilização de modelagem numérica para estimar os parâmetros de deformabilidade e resistência do solo com tratamento e sem tratamento.

REFERÊNCIAS

- [1] ABRAMENTO, M., KOSHIMA, A., ZIRLIS, A. C. **Reforço do Terreno** In: ABMS/ABEF (eds), *Fundações – Teoria e Prática*, 2 ed., capítulo 18, São Paulo, Ed. PINI, , 1998.
- [2] ADALIER, K. & ELGAMAL, A. **Mitigation of liquefaction and associated ground deformations by stone columns**. *Journal of Engineering Geology, Engineering Geology*, Vol. 72, Issues 3-4, Elsevier, pp. 275-291, 2004.
- [3] ALMEIDA, M. S. S. **Aterro sobre Solos Moles: da Concepção à Avaliação do Desempenho**. Editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 215 p, 1996.
- [4] ALMEIDA, M. S. S. e MARQUES, M. E. S. **Aterros sobre solos moles - projeto e desempenho**. São Paulo, Oficina de Textos, 254 p. 2010.
- [5] ALMEIDA, M. S. S. e RICCIO, M. **Ground improvement of extremely soft soils in Rio de Janeiro**. International Conference on Ground Improvement and Ground Control (ICGI 2012), University of Wollongong, Austrália, 2012.
- [6] ALMEIDA, M. S. S. e MARQUES, M. E. S., MELLO, M. A. **Monitoring of the Embankment Stabilization of Cantagalo Park, Brazil**. Geo-Congress, ASCE 2013.
- [7] ALMEIDA, R. F. R. **Modelagem geológica do entorno da Lagoa de Jacarepaguá**. Dissertação de mestrado. PUC/RJ. Rio de Janeiro, 1975
- [8] ANTUNES, C.S.G.L.M. **Comportamento dos Aterros que compõem as obras do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, UERJ, 158f, 2012.

- [9] **ÁRABE, L. C. G. Aplicabilidade de Ensaio *in Situ* para a Determinação de Propriedades Geotécnicas de Depósitos Argilosos e de Solos Residuais.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 1995.
- [10] **ARAGÃO, C. J. C. Propriedades geotécnicas de alguns depósitos de argila mole da área do Grande Rio.** Dissertação de mestrado. PUC/RJ. Rio de Janeiro, 1975.
- [11] **ASAOKA, A. Observational Procedure of Settlement Prediction.** Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol. 18, nº.4, December, pp 87-101, 1978.
- [12] **BALAAM, N.P. e BOOKER, J.R. (1981).** "Analysis of rigid rafts supported by granular piles." International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. Vol. 5. pp. 379-403.
- [13] **BARBOSA, P. S. A. Ensaio de Adensamento com Fluxo Restringido e k_0 em Argilas Moles.** Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1990.
- [14] **BARONI, M. Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca.** Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.
- [15] **BARRON, R. A. Consolidation of fine-grained soils by drain wells.** Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, v. 73, nº 6, p. 811-835, 1948.
- [16] **BRIAUD, J. L. - "The Pressuremeter".** Trans Tech Publications, A.A. Balkema, Rotterdam, 322p. 1992.
- [17] **BUISMAN, A. S. K. Results of Long Duration Settlement Test.** Proceeding of the 1st International conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, Harvard University. pp. 103- 106, 1936.

- [18] CABRAL, S., **Mapeamento Geológico-Geotécnico da Baixada de Jacarepaguá e Maciços Circunvizinhos**. Tese Doutorado em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ, 160p, 1979.
- [19] CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações - Fundamentos**. 6ª edição, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 234 p, 1988.
- [20] CARRILLO, N. **Simple two- and three-dimensional cases in the theory of consolidation of soils**. Journal of Mathematics and Physics 21(1): 1-5, 1942.
- [21] CORREIA, M. H. C. & LACERDA, W. A. **Contribuição ao Estudo do Coeficiente de Compressibilidade Volumétrica**. Solos e Rochas, v.5:1, p.17-26, 1982.
- [22] COUTINHO, R. Q. **Investigação geotécnica de campo e avanços para a prática**. Proc. XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Búzios. pp. 201-230, 2008.
- [23] COUTINHO, R. Q., OLIVEIRA, J. T. R. e OLIVEIRA, A. T. J. **Características Geotécnicas das Argilas Moles de Recife**. Anais do Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras, p. 1-28, ABMS-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Março. 2001.
- [24] COUTINHO, R. Q., OLIVEIRA, J. T. R. e OLIVEIRA, A. T. J. **Estudo Quantitativo da Qualidade de Amostras de Argilas Moles Brasileiras – Recife e Rio de Janeiro**. XI COBRAMSEG – Vol.2, p. 927-936 – Brasília – DF, 1998.
- [25] COUTINHO, R. Q. e LACERDA, W. A. **Characterization – consolidation of Juturnaíba organic clays**. Solos e Rochas. V. 17:2, pp 145-154, 1994.

- [26] CRAWFORD, C.B. **Resistance of soil structure to consolidation.** *Canadian Geotechnical Journal*, v.2, p.90-115, 1965.
- [27] DUNNICLIFF, J. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance. New York, John Wiley & Sons. 577 p, 1988.
- [28] ENGEGRAUT. **Material publicitário**, [obtido em julho de 2015].
- [29] FEIJÓ, R. L. **Relação entre a Compressão Secundária. Razão de Sobreadensamento e Coeficiente de Empuxo no Repouso.** Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.
- [30] FUTAI, M. M., ALMEIDA, M. S. S. e LACERDA, W. A. **Propriedades Geotécnicas das Argilas do Rio de Janeiro.** Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras, p.138-165, ABMS-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Março, 2001.
- [31] FUTAI, M. M., ALMEIDA, M. S. S., LACERDA, W. A. **Laboratory Behavior of Rio de Janeiro Soft Clays. Part 2: Strength and Yield.** *Soils and Rocks*, São Paulo, 31 (2): 77-84, May-August, 2008.
- [32] GEOINFRA (2013). **Pontal Oceânico. Projeto Executivo de Tratamento de Solo Mole.** Documentação Interna nº GEO-510-005-RT.
- [33] GEOINFRA (2010). **Aterro da Via Parque sobre solo mole. Projeto Executivo de Fundação do Aterro.** Documentação Interna nº GEO-235-001-RT.
- [34] HAMILTON, J.J. & CRAWFORD, C.B. **Improved Determination of Preconsolidation Pressure of a Sensitive Clay.** Symposium on Time Rates of Loading in Soil Testing, American Society for Testing and Materials, p.254-271, 1959.

- [35] LACERDA, W. A., COUTINHO, R. Q., COSTA FILHO, L. M. & DUARTE, A. E. R. **Consolidation Characteristics of Rio de Janeiro Soft Clay**. Proceedings of the International Symposium on Soft Clay, Bangkok, pp. 231-243, 1977.
- [36] Ladd, C. C. (1973) **Estimating Settlements of Structures Supported on Cohesive Soils**. Revision of a paper originally prepared for M.I.T.. Special Summer Program 1.34S "Soft Ground Construction", Cambridge, 1971.
- [37] LEROUEIL, S. **Compressibility of clays: fundamental and practical aspects**. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments 1, 1994.
- [38] LIMA, G. P. **Estudo de uma Teoria Não-Linear para o Adensamento Unidimensional**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 125 p, 1993.
- [39] LUNNE, T.; BERRE, T. & STRANDVIK, S. **Sample Disturbance Effects in Soft Low Plastic Norwegian Clay**. Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, volume único, p.81-102, 1997.
- [40] LUNNE, T., LACASSE, S. e RAD, N. S. **SPT, CPT, pressuremeter testing and recent developments on in situ testing of soils. General Report Session**. Proceedings of the 12th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., pp. 2339-2404. 1989.
- [41] MAIA, M. C. A. C. et al., **Evolução Holocênica da Planície Costeira de Jacarepaguá (RJ)**. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, p.105-118, 1984.
- [42] MELLO, M. A. **A Consolidação Profunda Radial aplicada em solo compressível na Lagoa Rodrigo de Freitas/RJ**. Dissertação de mestrado. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2013.

- [43] MOURA, A. P.; BEVILAQUA, F. Z. & MACCARINI, M. **Influência da velocidade de deformação na obtenção dos parâmetros de compressibilidade em ensaios de adensamento contínuos CRS**. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, n. 5, p.23-29, 2004.
- [44] MOURA, A. P. **Adensamento com Velocidade Controlada de Deformação (CRS): Desenvolvimento do Equipamento e Realização de Ensaios em Solos Moles do Leste de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 130 p, 2004.
- [45] MOURA, A. P.; BEVILAQUA, F. Z. & MACCARINI, M. **Ensaios de Adensamento com Taxa de Deslocamento Constante (CRS): Um Estudo Experimental nos Solos Moles do Litoral de Santa Catarina**. Solos e Rochas, São Paulo, 29, (1): 3-15, Janeiro-Abril, 2006.
- [46] NASCIMENTO, C.M.C **Avaliação de alternativas de processos executivos de aterros de vias urbanas sobre solos moles**. Dissertação de mestrado. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2009.
- [47] NBR 6484. **Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos**. NBR, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1980.
- [48] NBR 7250. **Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento**. NBR, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982.
- [49] NOGUEIRA, E. G. **Estudo de algumas soluções de tratamento de solos moles para construção de aterros no trecho sul do rodoanel – SP**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.
- [50] OLIVEIRA, J. R. M. S. **Controle de estabilidade em aterros sobre solos moles**. Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro,1999.

- [51] OLIVEIRA, J. T. R. **A Influência da Qualidade da Amostra no Comportamento Tensão- Deformação- Resistência de Argilas Moles** . Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 264 p, 2002.
- [52] OLSON, R. E. e LADD, C. C. **One-dimensional Consolidation Problems**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, v. 105, n. 1, p. 11-30, 1979.
- [53] ORLEACH, P. **Techniques to evaluate the field performance of vertical drains**. Tese de Doutorado, MIT, USA, 1983.
- [54] ORTIGÃO, J. A. R. **Aterro Experimental Levado à Ruptura sobre Argila Cinza do Rio de Janeiro**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 714 p, 1980.
- [55] ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 2ª edição, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A (LTC), 374 p, 1995.
- [56] PINTO, C. S. **Considerações sobre o método de Asaoka**. Revista Solos e Rochas. São Paulo. V. 24, n. 1, p. 95-100. 2001.
- [57] PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3ª edição. Oficina de Textos. São Paulo. 2006.
- [58] QUARESMA, A. R., DECOURT, L., QUARESMA FILHO, A.R., ALMEIDA, M. S. S. e DANZIGER, F. **Investigações geotécnicas** - cap. 2. In: Fundações – teoria e prática. ABMS/ABEF. São Paulo. Editora Pini. 1996.
- [59] SCHAEFER, V. R., MITCHELL, J. K., RYAN, P. E., BERG, R, FILZ, G. M. e DOUGLAS, S. C. **Ground Improvement in the 21st century: a comprehensive web-based information system**. Geocongress 2012, 2012.
- [60] SANDRONI, S. S. e BEDESCHI, M. V. R. **Aterro instrumentado da área C – uso de drenos verticais em depósito muito mole da Barra da Tijuca, Rio**

de Janeiro, Proc. XIV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Búzios, em CD. 2008.

- [61] SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 189 p, 2000.
- [62] SCHNAID, F. e ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: oficina de textos, 223 p. 2012.
- [63] SMITH, R. E. & WAHLS, H.E. **Consolidation under constant rates of strain**. Journal of Soils Mechanics and Foundation Division, v.95, p.519-539, 1969.
- [64] TAYLOR, D.W. **Research on Consolidation of Clays**. Pub Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Sanitary Engineering, Serial n. 82, 147 p.,1942.
- [65] TEIXEIRA, C. F. **Análise dos Recalques de um Aterro sobre Solos Muito Moles da Barra da Tijuca, RJ**. Proposta de Tese de Doutorado, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 58 p, 2011.
- [66] TERZAGHI, K. . **Theoretical Soil Mechanics**. New York: John Wiley and Sons, 1943.
- [67] TIMOSHENKO, S. e GERE, J. M. **Mecânica dos sólidos**. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A. Rio de Janeiro, 1994.
- [68] VELLOSO, D. A. e LOPES, F. R. **Fundações**. Vol.1. COPPE/UFRJ. 290 p. Rio de Janeiro, 2002.