3.
Obra Instrumentada – Estudo de Caso

3.1.
Baixada de Jacarepaguá

Um novo condomínio de luxo está (2009-2012) em construção na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ. Com o objetivo de melhorar a circulação de veículos na região e promover o acesso ao condomínio, também está sendo construída uma via adjacente ao mesmo. Esta via possui aproximadamente 1400 m, dos quais cerca de 320 m são sobre um depósito de solos muito moles de grandes espessuras. Este tipo de depósito é comum na região de construção do condomínio, que pertence a uma planície costeira, mais conhecida como Baixada de Jacarepaguá.

Na figura 3.1, mostra-se a localização da Baixada de Jacarepaguá (contornada de amarelo) em relação aos limites do município do Rio de Janeiro, RJ (contornados de laranja). A planície se situa em uma região litorânea da zona oeste do município e possui uma área de aproximadamente 100 km^2. Os maciços da Pedra Branca, ao norte, e da Tijuca, a leste, a Serra Geral de Guaratiba, a oeste, e o oceano Atlântico, ao sul, definem os limites da área da planície.

Na figura 3.2, destaca-se a área de implantação do condomínio em relação aos limites da baixada de Jacarepaguá. Um detalhe da área de construção do condomínio foi inserido na figura. Pode ser verificado que esta área é adjacente (parte sul) à lagoa homônima da baixada. O acesso à área pode ser feito pela Avenida das América, para quem parte da zona sul, ou pela Linha Amarela, para quem parte da zona norte da cidade. Ambos acessos estão ressaltados por linhas amarelas grossas dentro dos limites da Baixada.

Três fotos aéreas, apresentadas nas figuras 3.3 (a), (b) e (c), mostram vistas panorâmicas de parte da Baixada. Na primeira delas, tem-se uma vista aproximadamente longitudinal à costa, na qual é possível visualizar as duas

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

restingas da região e, em meio às nuvens, ver ao fundo o maciço da Tijuca. Na segunda, tem-se uma vista aproximadamente perpendicular à primeira, na qual focou-se a restinga mais interna, onde o condomínio será implantado, e pode ser visto no fundo o maciço da Pedra Branca. Na última delas, tem-se uma vista aproximadamente no sentido oposto ao da primeira e a área de implantação do condomínio foi mostrada no canto superior direito. Neste caso, pode-se visualizar no fundo uma das extremidades da Serra Geral de Guaratiba, com o oceano Atlântico adjacente. Os limites da área de implantação do condomínio foram destacados em vermelho nas três figuras.

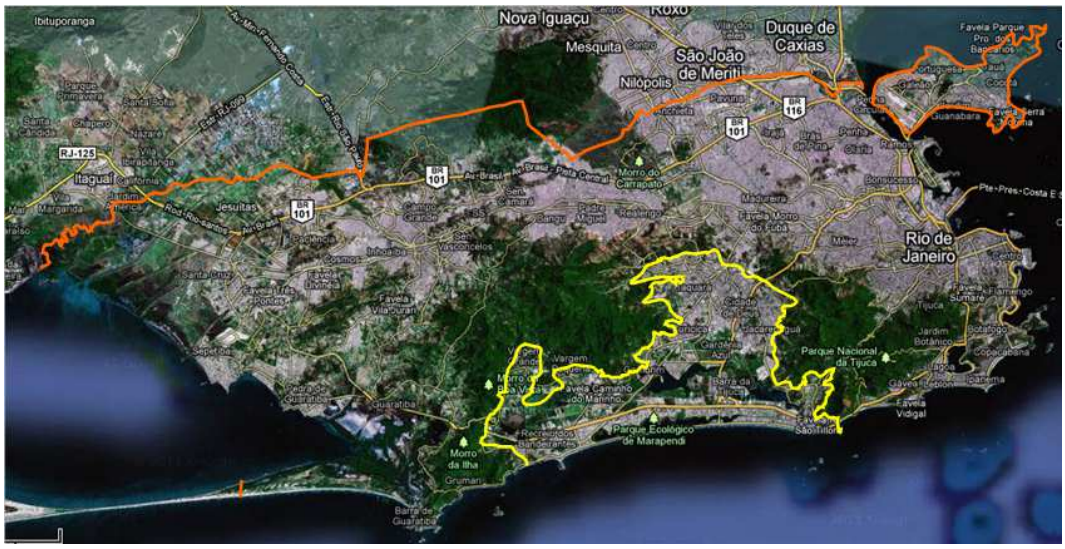


Figura 3.1 – Limites da baixada de Jacarepaguá em relação aos limites da cidade do Rio de Janeiro (Google Earth).

Figura 3.2 – Área de implantação do aterro instrumentado em relação aos limites da baixada de Jacarepaguá (Google Earth).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

(a) sentido leste - maciço da Tijuca no fundo (Cortesia do Prof. Araruna, 2010).

(b) sentido norte - maciço da Pedra Branca no fundo (Cortesia do Prof. Araruna, 2010).

(c) sentido oeste - extremidade da Serra Geral de Guaratiba e Oceano Atlântico no fundo (Bedeschi, 2004).

Figura 3.3 – Vistas aéreas da área de estudo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Na figura 3.4, apresenta-se um mapa altimétrico do Rio de Janeiro, RJ (Fonte: IPP – Diretoria de Informações Geográficas – 2004). Pode ser verificado que a região da Baixada de Jacarepaguá é marcada por baixas cotas altimétricas. Com exceção de alguns morros isolados (de amarelo), com altitudes máximas entre 100 e 300 m, cotas inferiores a 10 m, representadas também pela cor verde (mais forte), predominam na região.

Na área de implantação do condomínio, mais especificamente naquelas que se encontram "virgens", os dados do levantamento topográfico efetuado indicaram que as cotas altimétricas não superam 0,5 m. O depósito de solos moles sobre o qual a via será implantada se trata de uma área preponderantemente "virgem", com exceção de uma faixa de um antigo aterro que corta o depósito, cuja cota altimétrica era aproximadamente 1,2 m.

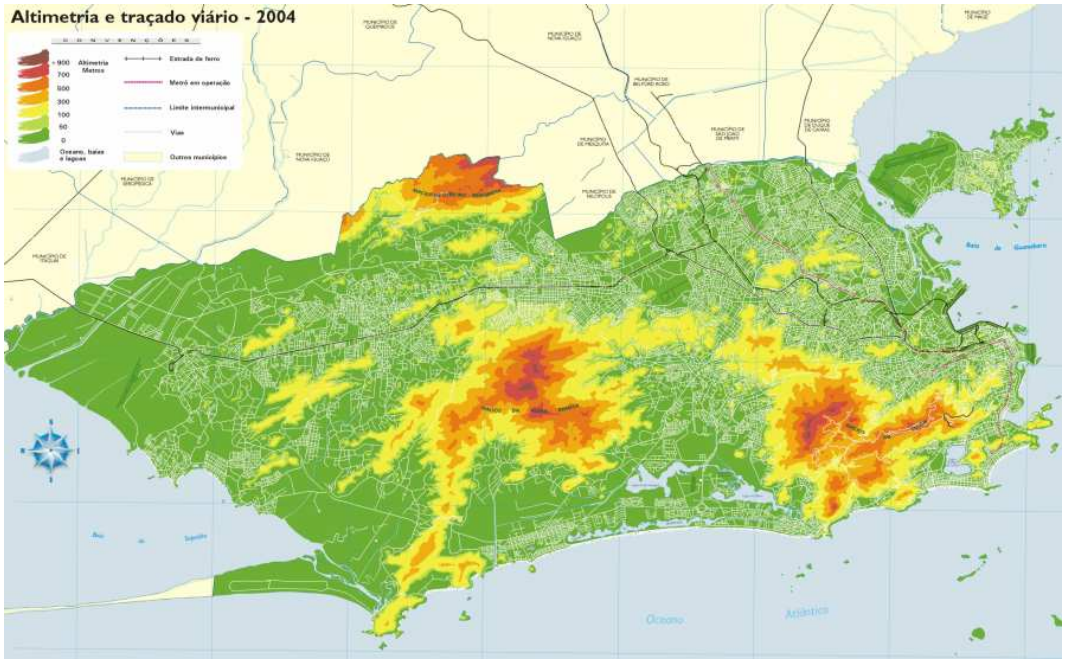


Figura 3.4 – Mapa altimétrico e viário do Rio de Janeiro (2004). Fonte: IPP – Diretoria de Informações Geográficas.

Na figura 3.5, é apresentado um mapa geológico do Rio de Janeiro, RJ (Fonte: IPP – Diretoria de Informações Geográficas – 2004). A região da Baixada de Jacarepaguá mostrou uma marcada homogeneidade, com predominância de depósitos de sedimentos recentes de mangues, aluviões e dunas. Vale a pena ressaltar que, atualmente, grande parte da área da Baixada é recoberta por aterros, como sugere a legenda da figura.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

No caso da geologia, recorreu-se também ao mapa produzido pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – 2000, que faz uma distinção da ocorrência superficial dos solos na área da Baixada. Neste caso, verifica-se, na figura 3.6, uma subdivisão em duas regiões: (1) sopé das encostas, onde predominam os depósitos coluvio-aluvionares e (2) faixa mais próxima ao litoral, onde predominam os depósitos de restinga. Pode ser verificado que a segunda região engloba as áreas das duas restingas presentes na região.

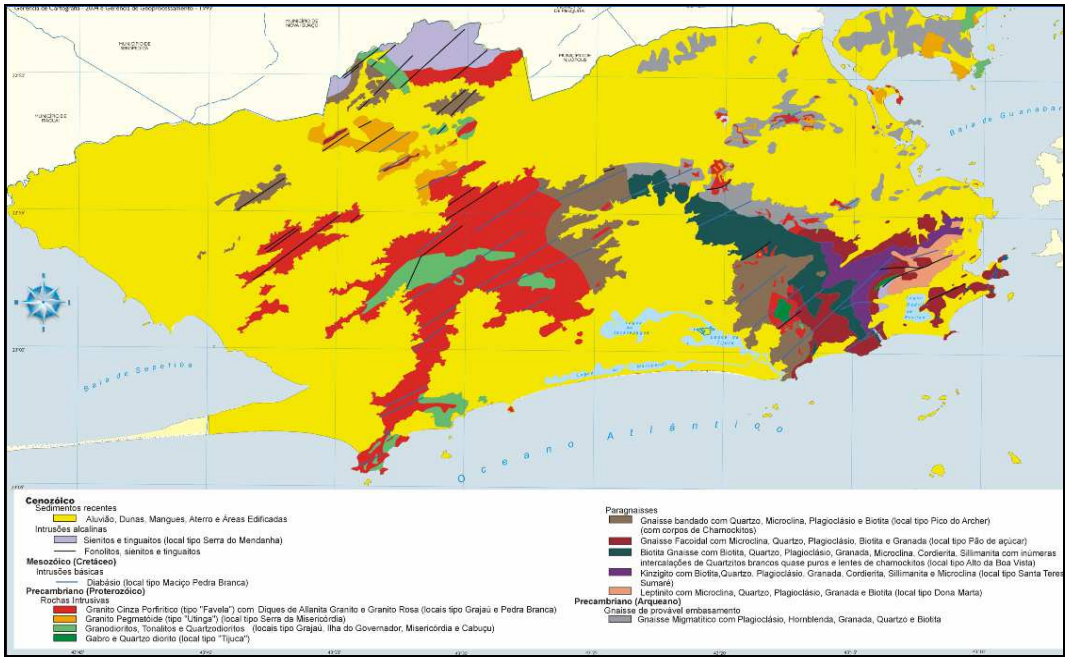


Figura 3.5 – Mapa geológico do Rio de Janeiro (2004). Fonte: IPP – Diretoria de Informações Geográficas.

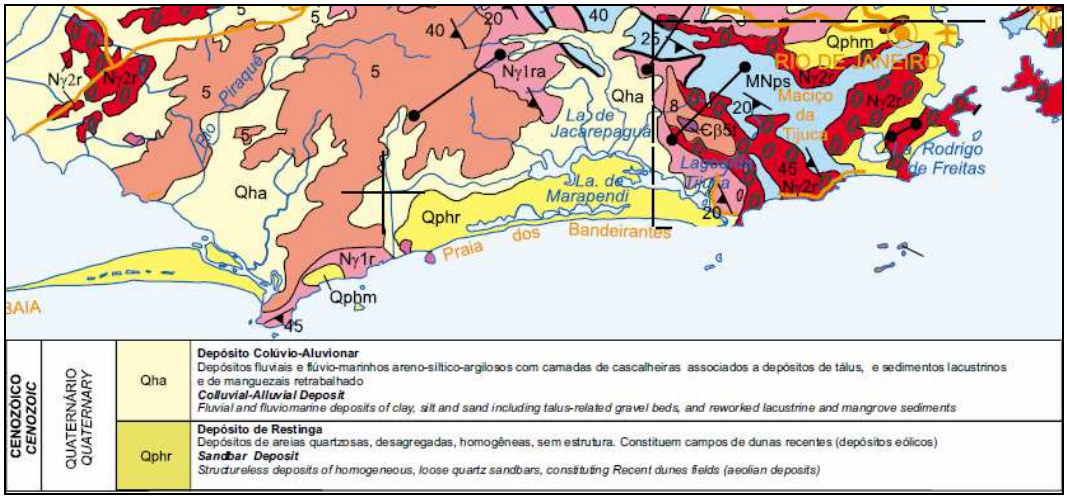


Figura 3.6 – Mapa geológico do Rio de Janeiro (2000). Fonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Segundo Cabral (1979), na restinga interna (chamada de Jacarepaguá-Itapéba), área onde está sendo implantado o condomínio, os depósitos arenosos (depósitos de restingas) se interpõem a depressões, que se mantêm quase permanentemente alagadas e são constituídas por solos argilo-orgânicos, turfosos e de aspecto escuro, como os que foram realmente encontrados em grande parte da área de implantação do condomínio.

Resumindo essas informações, pode-se descrever a área de estudo como uma área formada em um ambiente marinho-flúvio-lagunar. Que está inserida em uma região com terrenos de baixa declividade, com cotas aproximadamente iguais às do nível do mar. Apresenta superfícies morfologicamente deposicionais, constituídas por sedimentos recentes (em termos geológicos) e predominantemente sub-aquosos; mais especificamente por sedimentos de mangues (areias finas, siltes, argilas e matéria orgânica) e de campos de dunas.

Os solos moles encontrados na área de construção do condomínio podem ser associados aos sedimentos classificados como de mangue. Esses solos estavam presentes em uma significativa área de construção, contudo até baixas profundidades, que não ultrapassavam 3 m. Neste caso, devido às características inadequadas dos mesmos como solos de fundação, eles foram substituídos por solos mais competentes.

Diferentemente do restante da área, ao longo da faixa de implantação da via de acesso ao condomínio, o depósito de solos moles se mostrou com grandes profundidades. E, para este caso, no qual a substituição do solo não é técnica-financeiramente exequível, abrangentes campanhas de ensaios, assim como o posterior acompanhamento da obra por meio de instrumentação geotécnica, foram executadas, possibilitando assim se conhecer os aspectos geológicos-geotécnicos de interesse do depósito, se desenvolver o projeto e se estabelecer o andamento da obra. As características do depósito de solos moles e os detalhes do projeto serão descritos a seguir. Posteriormente, a distribuição dos ensaios de campo e da instrumentação geotécnica na obra, assim como alguns detalhes relativos a estes, e as particularidades da amostragem dos solos moles serão apresentadas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

3.2.
Depósito de Solos Muito Moles - Sondagens do tipo SPT

O principal objetivo das sondagens de reconhecimento ou percussivas, do tipo SPT, quando realizadas em um depósito de solos muito moles, é a retirada de amostras deformadas, que são utilizadas para classificação tátil-visual do solo no campo e em ensaios de caracterização no laboratório. Contudo os resultados dessas sondagens, isto é, o número de golpes, N_{spt}, para a cravação de um amostrador padrão no terreno, se mostram úteis na determinação dos limites deste tipo de depósito, cujos solos são associados ao $N_{spt} = 0$.

Assim sendo, a primeira etapa de investigação do campo consistiu na realização 11 sondagens do tipo SPT, abrangendo a área de interesse do depósito. As recomendações que constam na norma brasileira NBR-6484 foram atendidas na execução das sondagens. Os nomes – SP-701 ao SP-711 – adotados para fins de projeto foram mantidos no desenvolvimento deste trabalho. As locações dos furos de sondagem, em relação ao eixo de referência da obra, estão mostradas na figura 3.7. Cada estaca (*Est.*) do eixo de referência possui 20 m. Ressalta-se que o eixo de referência está afastado (direita) da área de projeção do aterro.

Figura 3.7 – Mapa de localização das sondagens do tipo SPT.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

O resumo dos resultados (N_{spt}) dessas sondagens está apresentado na tabela 3.1. Com exceção das SP-709 e SP-710, que correspondem a posições onde a camada de solo mole é da ordem de apenas 4 m, as sondagens a percussão foram realizadas até 25 m de profundidade.

Tabela 3.1 – Determinação da profundidade do depósito de solos moles.

Prof.	Sondagens a Percussão - N_{SPT}										
(m)	701	702	**703**	**704**	**705**	706	707	708	709	710	711
1-2	0	20	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	0	0
2-3	0	2/35	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	0	0
3-4	0	1/23	**0**	**0**	**0**	0	0	0	0	0	0
4-5	0	1/15	**0**	**0**	**0**	0	0	0	14	1/70	0
5-6	0	1/23	**0**	**0**	**0**	0	0	7	7	13	0
6-7	0	1/17	**0**	**0**	**0**	0	0	0	6	>30	0
7-8	0	1/20	**0**	**0**	**1/60**	0	0	0	5	>30	0
8-9	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	8	28	0
9-10	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	9	34	0
10-11	0	0	**0**	**0**	**0**	0	0	0	11	-	0
11-12	0	0	**0**	**0**	**0**	1/75	0	1/40	8	-	17
12-13	1/50	1/62	6	**0**	**0**	0	0	0	8	-	13
13-14	0	0	9	**0**	**0**	4	2	0	-	-	12
14-15	1/52	0	14	**0**	**0**	7	7	0	-	-	8
15-16	1/55	0	10	**0**	**0**	4	9	1/30	-	-	3
16-17	1/45	1/20	6	**0**	**0**	0	4	4	-	-	12
17-18	1/45	1/15	13	**0**	**1/20**	10	27	3	-	-	15
18-19	7	6	18	3	7	12	33	15	-	-	22
19-20	28	8	26	11	12	52	34	30	-	-	19
20-21	26	43	20	14	18	24	25	25	-	-	>30
21-22	38	44	8	12	12	21	16	25	-	-	16
22-23	19	20	12	17	9	17	25	19	-	-	14
23-24	9	21	13	18	11	9	24	13	-	-	5
24-25	12	9	12	19	26	14	29	11	-	-	20
25-26	15	13	17	23	29	13	33	17	-	-	24

A partir da análise tátil-visual realizada no campo, pela equipe de sondagens, o solo recuperado foi descrito, de uma forma geral, como turfoso, superficialmente (até cerca de 6 m), e como argiloso, entre o horizonte turfoso e o horizonte areno-argiloso da base (profundidade variável). A presença de conchas foi verificada em diversas profundidades, ao longo de todo o perfil de solos moles.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Durante a execução das sondagens, observou-se o nível d'água superficialmente (exceto na SP-702). A sondagem SP-702 foi executada sobre a faixa de aterro existente, que possuía cerca de até 10 m de largura e cortava o depósito de solos moles nas proximidades das estacas 68 e 69. O levantamento altimétrico das bocas dos furos de sondagem (exceto na SP-702) indicou cotas entre 0 e 1 m.

A partir de uma avaliação conjunta da locação das sondagens (figura 3.7) e dos resultados das mesmas (tabela 3.1), elaboraram-se dois perfis geológico-geotécnicos representativos do deposito de solos muito moles (N_{spt} = 0). Mais especificamente, estes perfis estão alinhados com a projeção do eixo da via, a 32 m de distância do eixo de referência, e com a seção da estaca 62+10, transversal a estes eixos. Estes perfis estão apresentados respectivamente nas figuras 3.8 e 3.9.

Na figura 3.8, pode ser verificado que o depósito de solos moles possui espessuras aproximadamente constantes de 17 e 12 m entre as estacas 60+10 e 68+00 e as estacas 69+00 e 76+00, respectivamente. Próximo às estacas 68+00 e 69+00, localiza-se a faixa de aterro antiga citada.

Na figura 3.9, pode ser verificada, entre os eixos do aterro e de referência da obra, uma variação brusca na espessura do depósito de solos moles. Neste caso, a espessura de cerca de 17 m, próximo ao eixo do aterro, reduziu para cerca de 6 m. É importante observar que essa variação brusca ocorre aproximadamente na projeção do talude do aterro, o que implica na não simetria do problema. Ressalta-se que estas profundidades foram confirmadas no campo durante a cravação dos drenos aceleradores de recalques (item 3.3).

Tomando-se como referência o perfil longitudinal (figura 3.8), em cada uma das duas regiões com espessura aproximadamente constante da camada de solos muito moles, foi implantada uma Estação de Monitoramento e Investigação (EMI). Nestas estações, foram realizados os ensaios de campo, retiradas as amostras para realização dos ensaios de laboratório e instalado um conjunto de instrumentos geotécnicos para o acompanhamento da obra.

Na região de menor profundidade de solos muito moles, acerca da sondagem SP-703, mais especificamente em uma área circular com cerca de 5 m

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

de raio, foi implantada a EMI-71. E, na região de maior profundidade de solos muito moles, foi implantada a EMI-62, contudo, em relação à EMI-71, em uma área maior, que englobava as localidades onde foram executadas as sondagens SP-705 e SP-704 (distantes cerca de 35 m uma da outra). Os resultados apresentados na tabela 3.1, ao menos no que se refere à espessura da camada de solos muito moles, mostram uma homogeneidade na área de implantação da EMI-62. Outras evidências da homogeneidade do solo nesta região serão apresentadas adiante.

3.3. Características do Aterro e de seu Projeto

O aterro viário foi construído, ao longo de 320 m da extensão total do mesmo, sobre um depósito de solos muito moles de grandes profundidades (até 17 m).

As características intrínsecas a esse tipo de solo, que se resumem às baixas permeabilidade e capacidade de suporte e à alta deformabilidade, exigiram a adoção de procedimentos especiais para o alteamento do aterro, que devia alcançar a cota final de 2,4 m (via acabada) ao final de 1,5 ano do início da obra (junho de 2009). Em relação ao terreno, o nível altimétrico devia ser elevado aproximadamente 2,2 m.

Tendo-se levado em consideração as condições ruins do subsolo, foi especificado, no projeto, o emprego de drenos verticais aceleradores de recalques, combinado com a construção do aterro em etapas. Adotaram-se, como elementos estabilizadores, bermas de equilíbrio. Vale a pena ressaltar que a previsão do comportamento da obra se torna mais complicada com emprego de técnicas construtivas combinadas.

No que se referem à geometria do aterro, diversas modificações ocorreram desde o início do desenvolvimento do projeto até o término da execução da obra. As modificações ocorridas implicaram na redução da largura da plataforma e na não execução das bermas de equilíbrio projetadas. Ao final da construção, abriu-se uma plataforma com largura aproximada de 18 m, estando o eixo da mesma afastado cerca de 32 m do eixo de um canal adjacente, o qual é a referência da obra. A declividade média final dos taludes do aterro foi de cerca de 45º (1H:1V).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Nas figuras 3.10 (a) e (b), são mostradas duas seções do aterro, relativas respectivamente ao projeto conforme concebido e à obra conforme executada.

A instalação dos drenos verticais aceleradores de recalques foi realizada na projeção do aterro e das bermas, conforme previsto no projeto inicial. Foram utilizados drenos pré-fabricados pela Maccaferri, do tipo Macdrain V, com medidas de 10 e 0,5 cm. Na instalação dos drenos, respeitou-se uma distribuição triangular equilateral, com espaçamento de 1,44 m. Um esquema dessa distribuição está mostrado na figura 3.11. Os drenos atravessaram toda a camada de solos moles sem quaisquer tipos de emendas e foram cravados a pelo menos 1 m abaixo da base destes solos. Placas de ferro retangulares (projeção), com dimensões de 14 e 7 cm, foram utilizadas para fixação dos drenos em profundidade. Uma sobra de cerca de 0,5 m era deixada na superfície do terreno. Na figura 3.12, apresenta-se uma fotografia na qual é possível verificar as sobras superficiais dos drenos cravados; na época, apenas em parte da área. Chama-se a atenção também para a máquina cravadora dos drenos, que, devido à altura da torre da mesma (inicialmente montada com 20 m para possibilitar a cravação dos drenos mais profundos) e à instabilidade do terreno, dificilmente mantinha a verticalidade.

O aterro foi construído em até 3 etapas consecutivas de carregamento. Estas etapas de carregamento seguiram a etapa preliminar de execução do “aterro de conquista”, que possibilitava o acesso de homens e máquinas leves ao local. O aterro de conquista atingiu uma espessura final aproximada de 0,9 m, sendo implantado continuamente, inclusive nas áreas adjacentes a das bermas (conforme projetado). As etapas consecutivas não foram construídas de acordo com o projeto inicial e também não mantiveram um padrão de alteamento. Ambas modificações foram realizadas com base nos resultados da instrumentação.

Na figura 3.13, apresenta-se uma fotografia com um detalhe da geometria final do talude do aterro. Esta fotografia foi tirada aproximadamente um mês após a execução da terceira etapa de alteamento.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

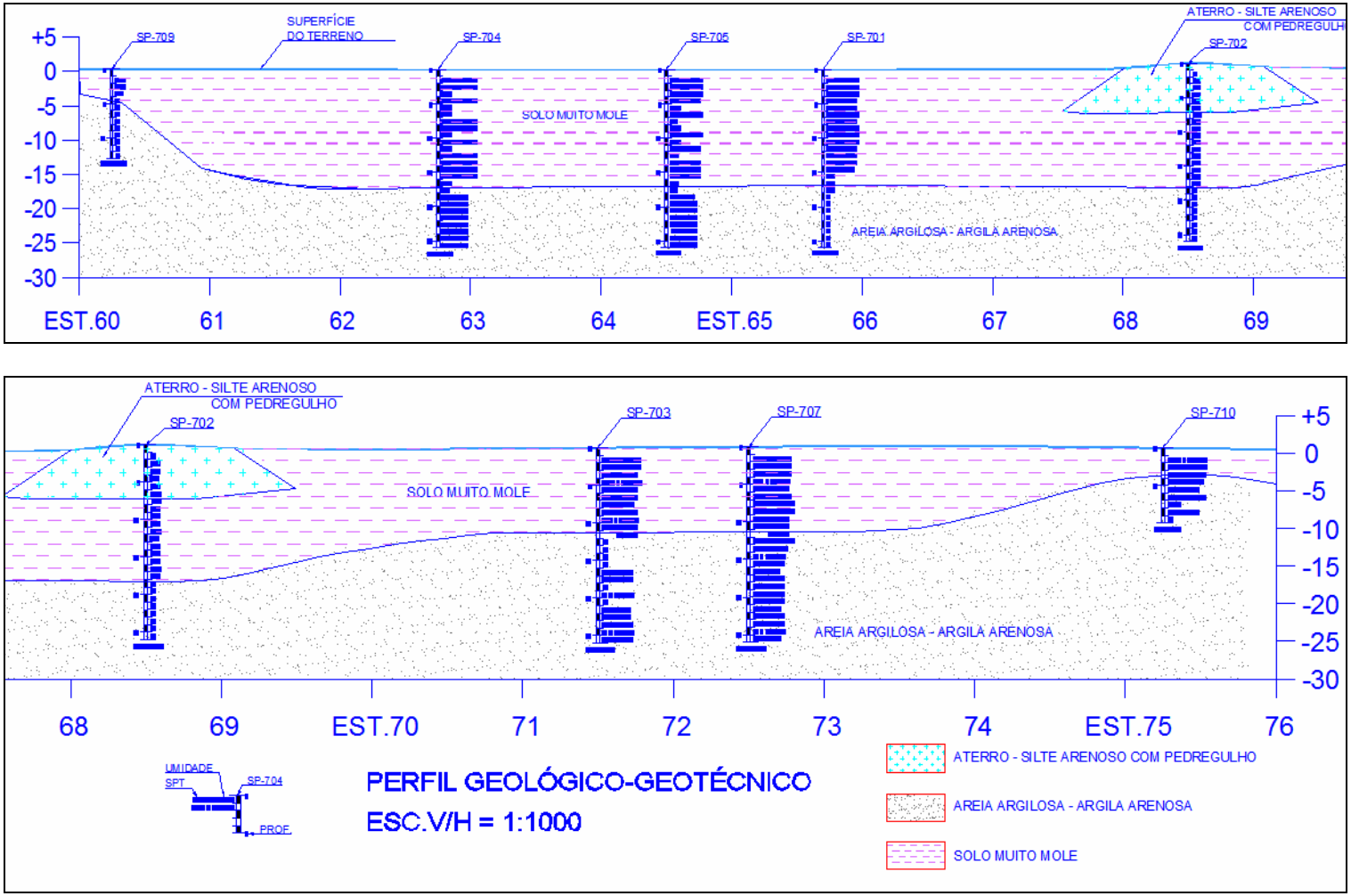


Figura 3.8 – Perfil geológico-geotécnico na direção do eixo do aterro.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

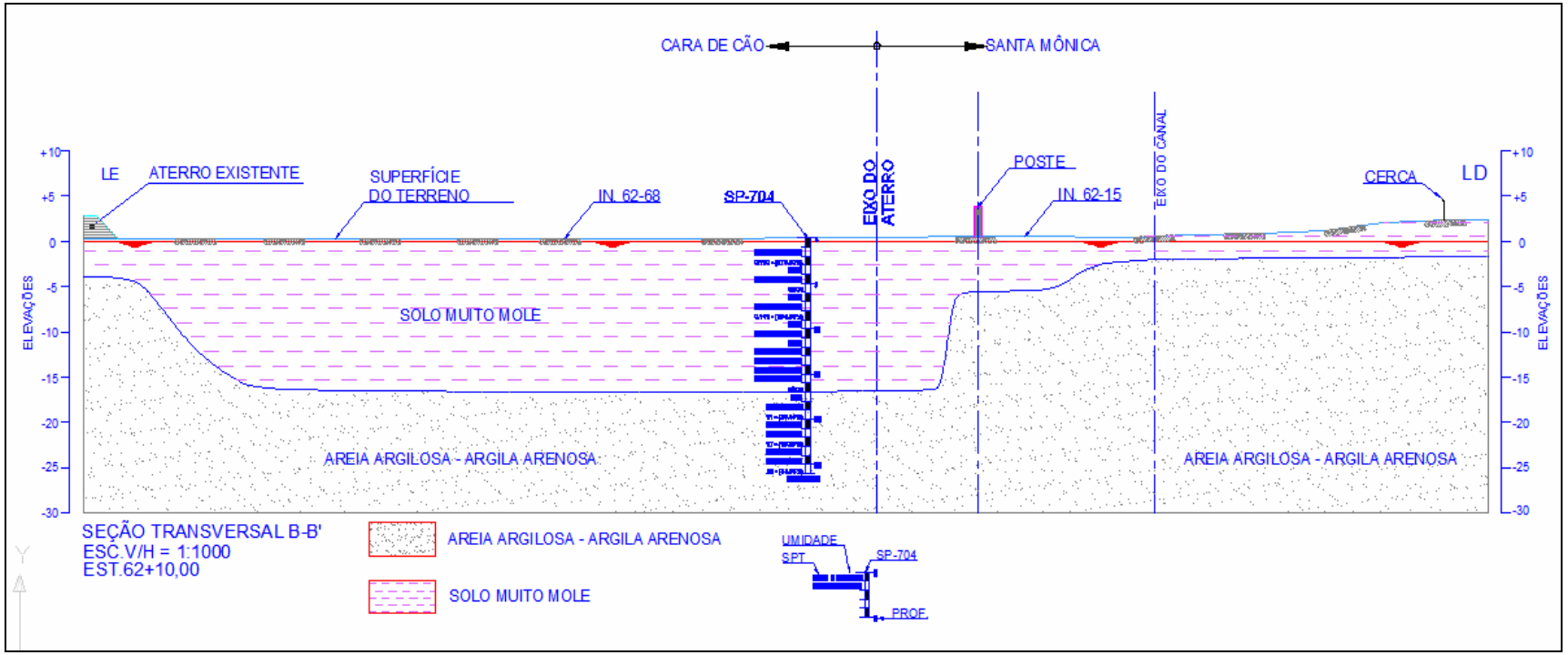
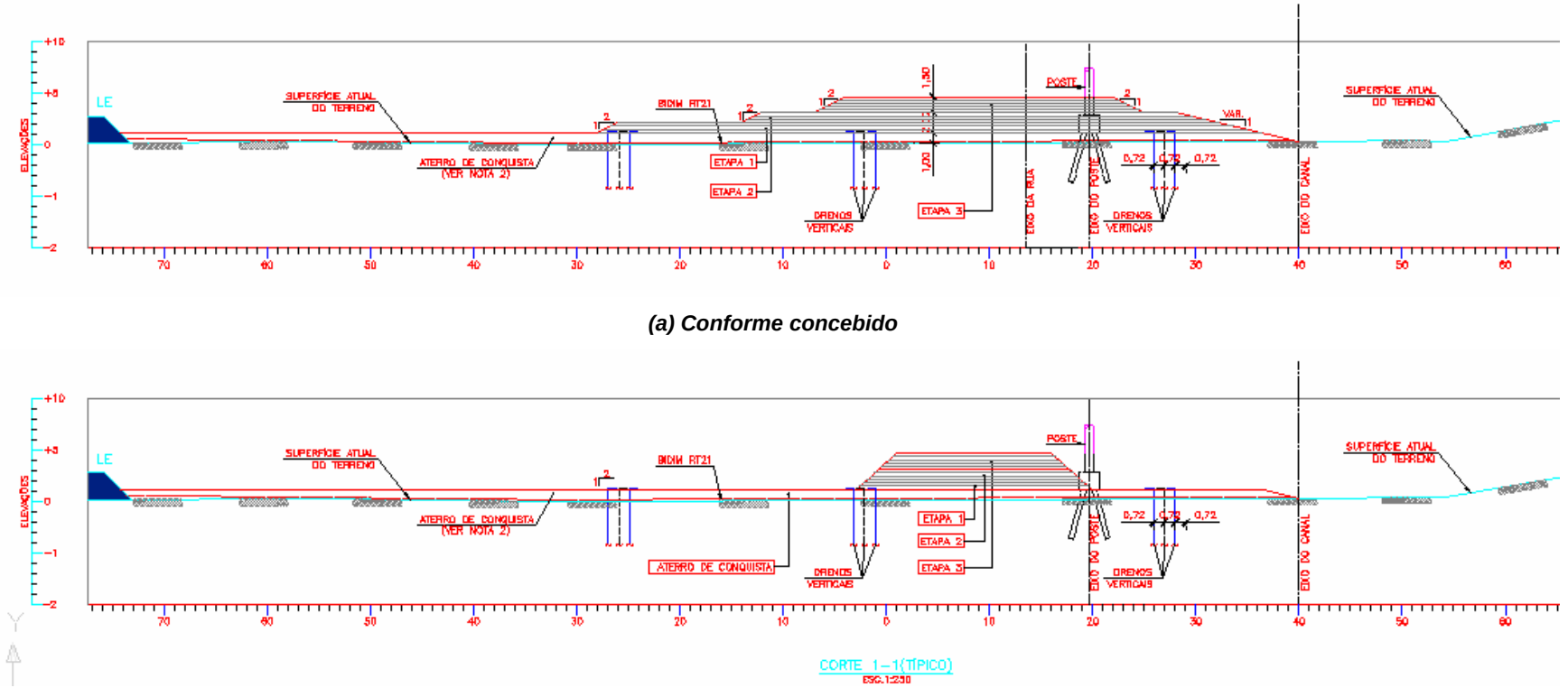


Figura 3.9 – Perfil geológico-geotécnico – seção transversal Est. 62+10.



(a) Conforme concebido

(b) Conforme executado

Figura 3.10 – Geometria do aterro.

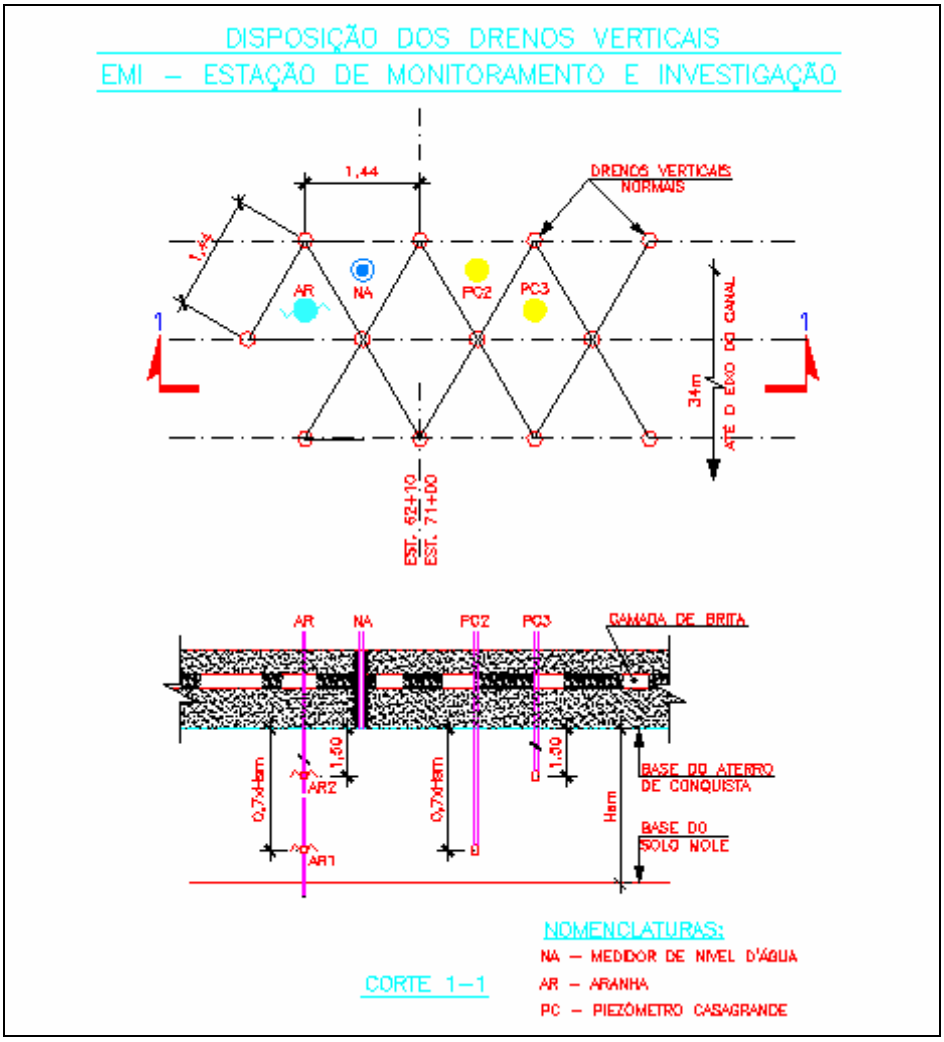


Figura 3.11 – Detalhes da implantação dos drenos verticais e dos instrumentos geotécnicos.

Figura 3.12 – Vista da obra – etapa de cravação dos drenos verticais.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Figura 3.13 – Detalhe da geometria final do aterro.

3.4. Investigações e Monitoramentos de Campo

O conhecimento, a partir de ensaios de laboratório, das características que controlam o processo de adensamento de solos muito moles requer a obtenção de amostras *indeformadas* de boa qualidade. Os solos destas amostras devem preservar a mesma estrutura do solo no campo, bem como manter as mesmas condições de campo, tal como a umidade.

Contudo, seja pelos problemas inerentes aos procedimentos de retirada e preservação das amostras ou pela natureza dos solos, a obtenção de amostras de boa qualidade neste tipo de solo, mesmo se tomando todos os cuidados cabíveis, nem sempre é possível. Assim sendo, a possibilidade de ensaiar os solos no campo (ambiente natural) é uma alternativa atraente.

A realização de investigações de campo e laboratório, contudo, não dispensa o monitoramento de obras no campo. A importância da observação do comportamento de obras no campo, quando estas envolvem trabalhos com materiais tão complexos como o solo, já era ressaltada, em 1936, por Terzaghi. No caso de aterros construídos sobre depósitos de solos muito moles, a importância da instrumentação é amplificada e o sucesso da construção deve, em muitos casos,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

ser atribuído à instalação de instrumentos geotécnicos, a partir da qual é possível se fazer o adequado acompanhamento da obra.

No que se referem ao aterro em estudo, o desenvolvimento do projeto e o acompanhamento da construção foram realizados respectivamente com base nos resultados dos ensaios de uma campanha de ensaios de campo e nos dados provenientes de uma série de instrumentos distribuídos no corpo do aterro e no depósito de solos muito moles de fundação. Além dos dados de campo, no desenvolvimento desta tese, foram realizados ensaios de laboratório, que requereram a obtenção de amostras *indeformadas*, e as análises levaram em consideração os resultados dos mesmos.

A seguir, serão apresentados os locais onde foram realizados os ensaios de campo, coletadas as amostras *indeformadas*, e instalada a instrumentação geotécnica. Alguns detalhes relativos a estes ensaios, monitoramentos e amostragens serão fornecidos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

3.4.1. Campanha de Ensaios *In-Situ*

A caracterização do depósito de solos muito moles em estudo iniciou-se com a realização de uma campanha de ensaios de campo, que ocorreu principalmente antes da execução do aterro de conquista.

Devido à característica muito mole do solo, a utilização de equipamentos leves, capazes de serem transportados manualmente até o local de realização dos ensaios, foi imprescindível. É importante ressaltar que, até mesmo caminhar sobre a camada de solos muito moles, na sua condição inicial (virgem), é uma tarefa difícil. A empresa ***Geoforma*** foi a responsável pela realização dos ensaios nesta condição.

A campanha de ensaios de campo consistiu, na realidade, em três etapas. A primeira delas, de sondagens do tipo SPT, foram tratadas separadamente (item 3.2), por se prestarem principalmente à coleta de amostras deformadas e à definição dos limites da camada de solos moles. Na segunda etapa, foram realizados os ensaios de palheta (VT) e de piezocone (CPTu), com dissipação de

poro-pressões, e, na terceira etapa, apenas em um estágio avançado da obra, os ensaios de permeabilidade em piezômetros.

Os ensaios de campo (2ª e 3ª etapas) foram realizados ao longo de verticais, dentro da área de implantação das estações de monitoramento e investigação (EMI's). Os ensaios da 2ª etapa foram realizados adjacentemente aos furos das sondagens SP-705 (EMI-62) e SP-703 (EMI-71) e os da 3ª etapa, adjacentemente ao furo da sondagem SP-704 (EMI-62), mais especificamente nos piezômetros instalados na obra, conforme será mostrado adiante.

No que se refere à primeira etapa, vale complementar que ela ocorreu ao longo dos meses de maio e junho de 2009 e que amostras deformadas foram coletas a cada metro de sondagem. Os solos coletados foram devidamente acondicionados em sacos plásticos, o que possibilitou a manutenção das umidades naturais dos solos, para então serem transportados para o laboratório de solos da Geoprojetos.

Quanto à segunda etapa, ela foi executada no mês de junho de 2009, mesmo período em que foram extraídas as 10 amostras indeformadas, que posteriormente foram levadas para o laboratório da PUC-Rio. Nesta etapa, sistemas leves para cravação do CPTu e da palheta foram utilizados. Na figura 3.14, mostra-se o sistema de cravação, durante a execução do CPTu.

Figura 3.14 – Sistema de cravação leve do CPTu – equipamento da Geoforma.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Quanto à terceira etapa, ela ocorreu apenas no mês de agosto de 2010, após o lançamento da última camada de aterro (3ª etapa de alteamento). Os ensaios foram realizados apenas em 2 profundidades.

3.4.2. Amostragem Indeformada

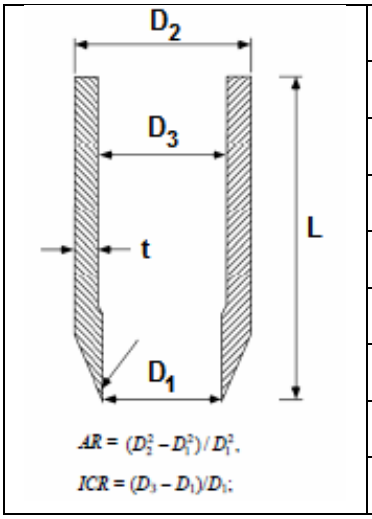
As amostras indeformadas foram coletadas, tomando-se cuidados especiais, ao longo de dois furos verticais, dentro da área de abrangência das estações de monitoramento e investigação (EMI's). Nas EMI-62 e EMI-71, as amostras foram coletadas em furos adjacentes aos furos das sondagens SP-705 e SP-703, respectivamente. Na primeira delas, as amostras foram retiradas a 2,7; 6,7; 8,7; 10,7; 12,7 e 14,7 m de profundidade, totalizando 6 amostras. Na segunda, as profundidades de retirada das amostras foram 2,0; 4,4; 7,4 e 9,4 m, totalizando 4 amostras. A designação destas amostras ao longo deste trabalho será feita com base na vertical (SPT) e profundidade em que as mesmas foram coletadas; por exemplo, a nomenclatura AM.705-2,7 indica uma amostra (AM) coletada adjacentemente ao furo de sondagem 705, na profundidade de 2,7 m (topo). Em alguns casos, a designação também aparece com a profundidade média das amostras (ex.: AM.705-2,7 = AM.705-3,0 – amostrador com 60 cm de comprimento).

Amostradores do tipo Shelby, com 10 cm (4") de diâmetro, de paredes finas e pontas biseladas foram utilizados. Todos os amostradores utilizados na EMI-62, assim como o utilizado na amostragem mais superficial da EMI-71 (2,0 m de profundidade), eram constituídos de aço inoxidável. Os demais amostradores (EMI-71) eram constituídos de ferro (latão). As dimensões dos tubos amostradores, assim como as relações geométricas (*AR*, *ICR* e D_2/t) que ajudam a definir a adequabilidade dos mesmos para a amostragem, estão apresentadas na tabela 3.2.

As dimensões de ambos os tipos de tubos eram tais que os limites das relações geométricas descritas por DeGroot *et al* (2005), para que um tubo amostrador seja considerado "adequado", foram respeitados. Estes limites são: razão de área (AR) menor que *10 %* e folga interna (ICR) e razão (D_2/t) aproximadamente iguais a 0.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

Tabela 3.2 – Dimensões e relações geométricas dos amostradores.



Amostrador	Aço	Ferro
L (mm)	600	1000
D_1 (mm)	98	98
D_2 (mm)	101	102
D_3 (mm)	98	98
t (mm)	1,5	2,0
AR	0,06	0,08
D_2/t	0,015	0,020
ICR	0	0

No que se refere à facilidade de corte, qualidade que se traduz no menor risco de amolgamento dos solos, os amostradores de ferro são preferidos. Por outro lado, os amostradores de aço eram anticorrosivos, qualidade ideal para tempos de armazenamento longos de amostras, principalmente quando estas são recuperadas de ambiente salino. É importante ressaltar que os 7 amostradores de 0,6 m (aço) foram gentilmente cedidos pela empresa *Geoforma*, a mesma que coletou as amostras e realizou os ensaios de campo.

Os procedimentos de perfuração incluíram a utilização de lama bentonítica, que equilibram parcialmente a tensão vertical na base do furo e, assim, previnem, em parte, o amolgamento das amostras anteriormente à coleta das mesmas. A amostragem foi realizada com sistema de pistão estacionário. A retirada das amostras foi realizada em poucos minutos, sem que fossem observadas perdas significativas de recuperação das mesmas. A vedação das extremidades foi realizada imediatamente após a retirada das amostras, prevenindo aparentemente qualquer perda de umidade.

Almeida e Marques (2003) recomendaram que, para obtenção de uma melhor recuperação de solo, se aguarde um intervalo de 24 h entre a inserção e a retirada do amostrador, contudo este tempo praticamente inviabiliza comercialmente a retirada de grandes números de amostras. No escopo deste trabalho, 10 amostras (2 furos) foram coletadas em apenas 2 dias (05 e 07 de junho) e, com base nos resultados que serão apresentados, é possível afirmar que,

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

para os solos muito moles da Barra da Tijuca, a utilização de equipamentos e ferramentas corretas e os cuidados e experiência da equipe de campo se mostraram suficientes para garantir a adequada (recuperação e qualidade) coleta das amostras.

Para preservação da qualidade das amostras, cuidados especiais devem ser tomados também durante as etapas de armazenagem no campo e de transporte. No campo, as amostras foram armazenadas em local fresco e na mesma posição em que foram coletadas. Quanto ao transporte, as amostras foram encaminhadas diretamente para o laboratório, em menos de 24 horas após a coleta das mesmas. O transporte foi feito em carro de passeio, com velocidade baixa, e as amostras foram conduzidas "*no colo*" dos membros da equipe de campo. A distância de percurso, entre o campo e o laboratório da PUC-Rio, foi de cerca de 25 km, sempre por vias asfaltadas. Na chegada ao laboratório (item 4.2.2.1), as amostras foram novamente vedadas e acondicionadas na câmara úmida.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA

3.4.3. Instrumentação Geotécnica

A observação do comportamento de campo da obra foi feita a partir de dados da instrumentação geotécnica, que era composta de medidores de deslocamentos verticais superficiais e em profundidade (placas de recalque – PR – e aranhas magnéticas - AM), de poro-pressão, (piezômetros do tipo Casagrande - PZ), de nível d'água e de deslocamentos horizontais (inclinômetros - IN).

Dois conjuntos de instrumentos, com exceção de inclinômetros, foram implantados na estaca 62+10 (EMI-62) e na estaca 71+00 (EMI-71), ambas com afastamento de 34 m do eixo do canal, isto é, na projeção da construção do aterro (verificar figura 3.7). Mais especificamente, estes conjuntos de instrumentos foram instalados nas proximidades dos furos das sondagens SP-705 (EMI-62) e SP-703 (EMI-71).

Pode ser verificado que a distância entre os locais de realização dos ensaios de campo e de implantação do conjunto de instrumentos, na EMI-62, foi de aproximadamente 35 m. Neste caso, qualquer análise conjunta dos dados

referentes à instrumentação e aos ensaios deve ser realizada com base na hipótese de homogeneidade do depósito nesta região.

Em cada EMI, sob a projeção do aterro, foram instalados 2 medidores de deslocamentos verticais em profundidade (sensores magnéticas), 2 medidores de poro-pressão, (piezômetros do tipo Casagrande) e 1 medidor de nível d'água. Na figura 3.11, é mostrada, em planta, a posição dos instrumentos em relação aos drenos verticais. É importante mencionar que os instrumentos foram instalados após a instalação dos drenos. Na figura 3.11, também podem ser vistas as posições dos instrumentos em profundidade.

Além destes instrumentos localizados nas EMI's, um total de 69 placas de recalque, sendo 23 delas adjacentes a medidores de nível d'água, foram distribuídas superficialmente (base do aterro) pela área do depósito. Medidores de deslocamentos horizontais (inclinômetros – IN's) foram instalados em 4 posições diferentes, sendo todos eles localizados nas bermas de equilíbrio (projeto inicial). Mais especificamente, eles foram instalados na estaca 62+10, com afastamentos de 15 (IN-01) e 68 m (IN-02) do eixo e nas estacas 66+00 (IN-03) e 71+00 (IN-04), ambos com afastamento de 68 m do eixo (verificar figura 3.7).

A obtenção dos dados dos instrumentos se iniciou desde a data de instalação dos mesmos, que coincidiu com a época da implantação do aterro de conquista e de cravação dos drenos aceleradores de recalque - entre junho e dezembro de 2009. Contudo, conforme será visto, apenas os dados da instrumentação registrados a partir do último mês da execução desses serviços preliminares serão apresentados.

Ressalta-se que, para a finalidade das análises realizadas nesta tese, apenas parte dos resultados da instrumentação foi levada em consideração e também apresentada.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0711205/CA