

3 Área de Estudo – Obra Museu II

A solução em Solo Grampeado vem sendo utilizada de forma crescente no estado do Rio de Janeiro. Observa-se que esta técnica adquiriu confiabilidade e tornou-se uma ótima opção quando comparada às outras técnicas de estabilização de encostas ou de escavações.

O grampeamento de solos possui vantagens evidentes do ponto de vista econômico e operacional. No entanto, o comportamento e o desempenho das obras ainda não são muito bem compreendidos. Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de mais estudos com o fim de melhor entender o comportamento desta técnica de estabilização. É nesse contexto que se encaixa o grupo de Solo Grampeado. O grupo é formado por pesquisadores da COPPE/UFRJ e PUC-Rio. Além disso, conta com o apoio de empresas também interessadas em absorver novos conhecimentos com relação à técnica de solo grampeado.

A área de estudo estudada está localizada na cidade de Niterói, às margens da Baía da Guanabara (Figura 34).

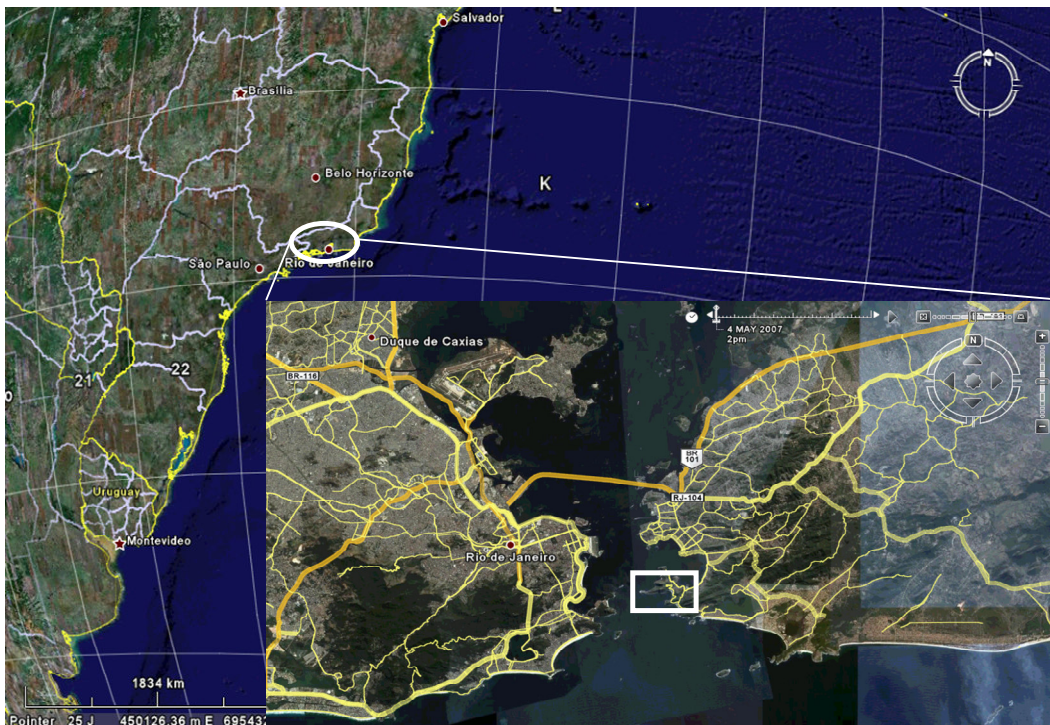


Figura 34 - Localização da Obra na cidade de Niterói (Google, 2007).

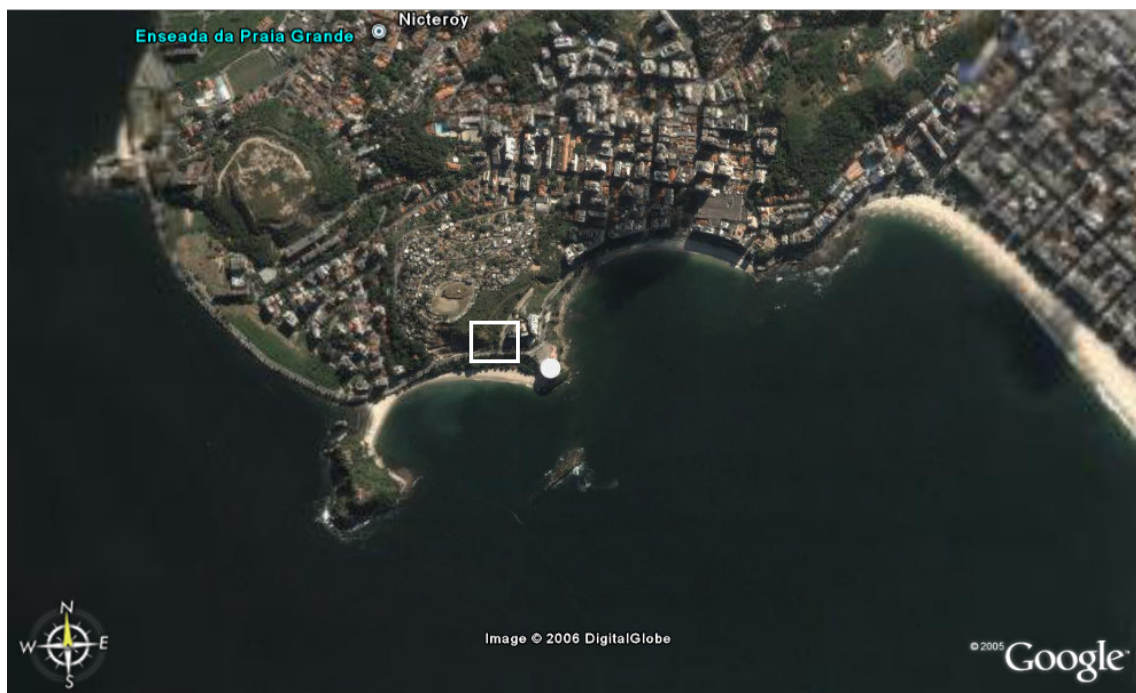
Trata-se de uma escavação em solo residual de gnaisse com o objetivo de construir um edifício residencial de apartamentos no bairro da Boa Viagem, em Niterói. O empreendimento localiza-se na confluência da Avenida Benjamin Sodré com a Rua Nair Margem Pereira, na Praia de Boa Viagem.

A Figura 35a mostra uma foto anterior aos serviços de escavação da encosta e a Figura 35b a encosta já escavada com os prédios em fase de construção.

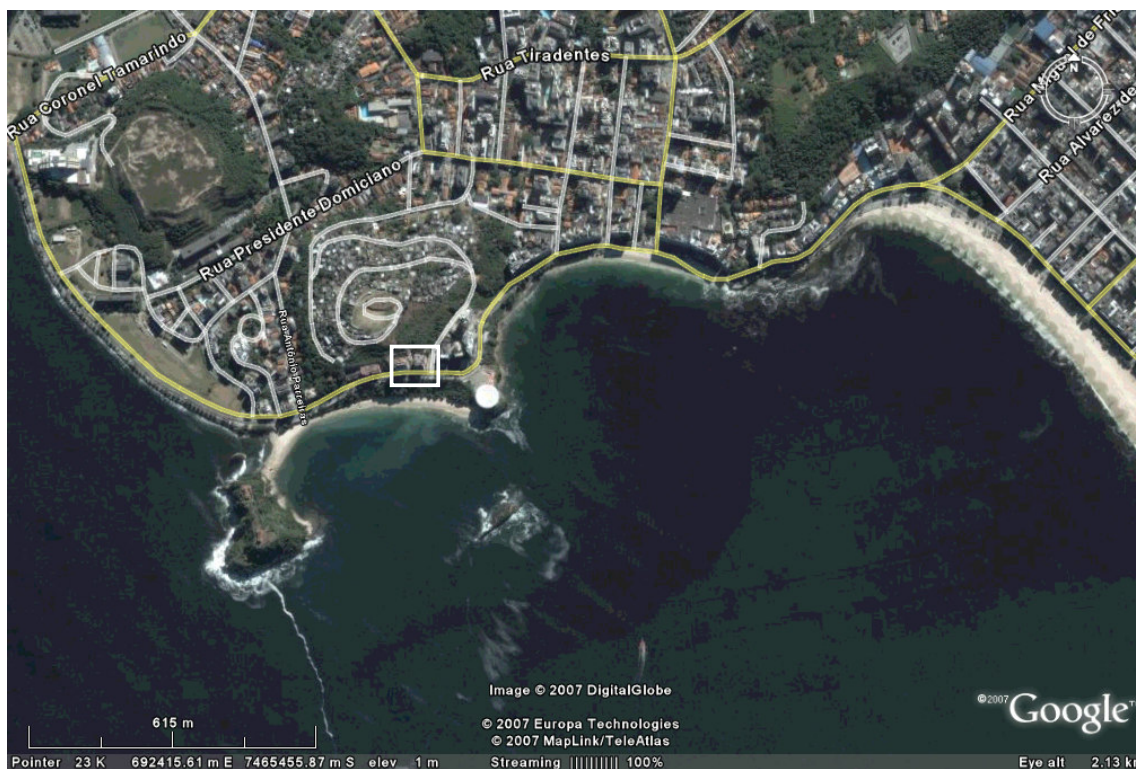
No local foram realizadas duas escavações com posterior contenção, ambas executadas pela SEEL Engenharia Ltda. A solução de contenção para ambos os casos foi o Solo Grampeado. As duas obras foram utilizadas para estudos de dissertações e teses de mestrado na PUC-Rio e na COPPE-UFRJ. Devido à proximidade com o Museu de Arte Contemporânea (MAC) de Niterói, as obras receberam a denominação de MUSEU I e MUSEU II. A Figura 36 ilustra as fases de escavação e construção das estruturas e também destaca a localização de cada um dos prédios. O presente estudo refere-se às atividades desenvolvidas na obra denominada de MUSEU II. Lima (2007) apresenta os estudos realizados na obra denominada Museu I.

A obra consiste no corte de talude natural e na execução de uma estrutura de contenção do tipo solo grampeado. A estrutura de contenção foi construída segundo os procedimentos padrões executados no meio técnico. Tais procedimentos consistem na escavação prévia do talude até uma determinada altura, na instalação de grampos constituídos por monobarras de aço inseridas em furos pré-perfurados e, por fim, no preenchimento do furo de perfuração por calda de cimento (mistura de cimento e água), conforme Sayão et al. (2005).

A contenção foi executada por meio de instalação de grampos com barras de aço de diâmetro igual a 22mm em furos de 75mm de diâmetro. O paramento da estrutura foi realizado em concreto projetado com f_{ck} igual a 20MPa. O sistema de drenagem é composto por canaletas de concreto armado, drenos sub-horizontais profundos e por drenos do tipo barbacã. Além disso, foi implantado próximo à crista do talude, um sistema de proteção superficial (revestimento vegetal) contra erosão. A Figura 37 apresenta uma vista aérea da obra finalizada.



(a)



(b)

Figura 35 – Vista de satélite da obra: (a) antes da escavação e (b) após a escavação e execução dos edifícios (Google, 2006 e 2007).



(a)



(b)

Figura 36 - Obras Museu I e Museu II: (a) antes da escavação e (b) depois da escavação e implantação das obras (Google, 2006 e 2007).



Figura 37 - Vista aérea das escavações grampeadas.

3.1. Investigação Geológico-Geotécnica de Campo

O morro do Palácio, no bairro da Boa Viagem, Zona Sul de Niterói, é formado por encostas com mais de 25m de altura, com inclinação variando entre 30° e 45°, que mergulham em direção às Praias das Flechas e da Boa Viagem, onde foi construído o Museu de Arte Contemporânea de Niterói.

Geoprojetos (2004) destaca que as encostas caracterizam-se por apresentarem espessa camada de solo residual areno-argiloso, sobrejacente a um saprolito/rocha alterada extremamente friável, muito quartzoso e de granulometria grosseira, com fragmentos de feldspato ainda preservados.

A Geologia desta área é marcada pela grande diversidade das rochas dentro de uma estreita faixa de terreno, causada por um sistema de falhamentos de direção NE-SW, intercalando gnaiss facoidal e de kinzigito. Esta zona extremamente fraturada permitiu uma intensa atividade intrusiva, com a formação de inúmeros diques de diabásio e veios pegmatíticos que cortam as rochas em direções preferencialmente NE-SW e E-W.

A alteração das rochas com essa configuração geológico-estrutural produziu solos de coesão moderada e com várias discontinuidades, que favorecem os

processos erosivos e o colapso por tombamento das partes mais íngremes dessas encostas.

Durante a fase de projeto foi realizada uma primeira inspeção de campo que detectou um trecho íngreme decorrente da presença de bloco de rocha (matacão) muito alterado, superficial, sendo provável a existência de outros no interior da matriz de solo. Na parte baixa da encosta observa-se solo residual jovem com superfície mais degradada pela ação pluvial. De forma geral não foram identificadas trincas e/ou abatimentos no terreno nem nas vias de circulação adjacentes. (Geoprojetos, 2004).

Essas observações foram confirmadas no período de escavação da encosta. É importante ressaltar que mesmo em uma inspeção inicial foi identificada a natureza erodível do material. Deve ser mencionado que a caracterização aqui apresentada refere-se ao Morro do Palácio, desse modo, podem ocorrer particularidades que sejam diferentes ao observado para a região onde foi executada a obra Museu II.

Foram programadas e executadas 07 sondagens tipo SPT no terreno. A Figura 38 traz a localização das mesmas. As sondagens executadas indicaram apenas no furo SP-01 camada superficial de aterro (espessura de 0,40m), seguida de solo residual de gnaiss. Nesse furo, como nos demais, o solo residual é constituído por misturas silto-argilosas ou argilo-siltosas, às vezes com presença de pedregulhos, de coloração variável, desde o branco ao marrom escuro.

A camada de solo residual apresentou SPT praticamente crescente com a profundidade, variando entre 20 e valores superiores a 20/5. As sondagens atingiram a impenetrabilidade às ferramentas do equipamento de percussão (SP-05) ou profundidades compatíveis com os critérios de paralisação previstos na norma (Geoprojetos, 2004).

Os resultados do ensaio de percussão tipo SPT serão mais detalhados no Capítulo 5 (investigações de campo). O boletim de sondagem permite a identificação de pelo menos três horizontes distintos:

- Solo Residual Maduro: essa camada pode ser confundida com o aterro identificado em uma das sondagens (SP-01);
- Solo Residual Jovem: identificado como solo residual de gnaiss. O aumento do N_{SPT} com a profundidade é um indicativo de um perfil de intemperização. O material de coloração branca pode ser associado a veios de pegmatito;
- Rocha Alterada: onde os valores de SPT atingem valores altos ou o amostrador atinge um horizonte impenetrável.

Todas as sondagens realizadas não indicaram ocorrência de nível d'água. Algumas sondagens indicaram a presença de matações ou pedregulhos. As sondagens caracterizaram de forma satisfatória a subsuperfície.

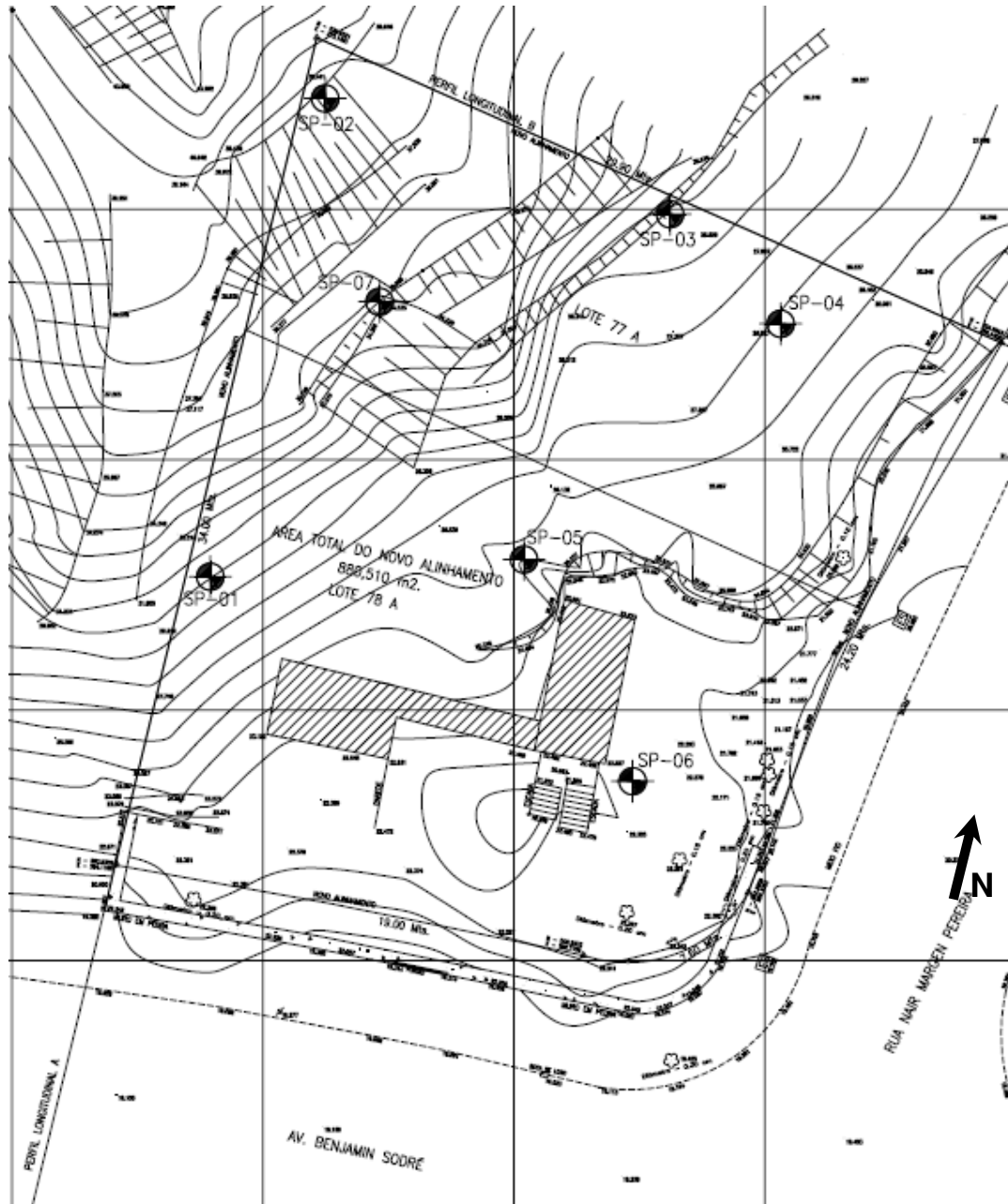


Figura 38 - Localização dos Pontos de Sondagem (SPT)

3.2. Caracterização Geológico-Geotécnica

A observação das encostas permite a identificação de um perfil de intemperismo bastante evidente (Figura 39). Essas encostas caracterizam-se por apresentarem

espessa camada de solo residual areno-argiloso (fases madura e jovem), sobrejacente a um saprolito/rocha alterada extremamente friável, muito quartzoso e de granulometria grosseira, com fragmentos de feldspato ainda preservados.



Figura 39 - Identificação do Perfil de Intemperismo.

A área de interesse tem geologia marcada por grande diversidade de rochas, com um sistema de falhamentos de direção NE-SW e forte mergulho para SE, intercalando kinzigito, quartzito, granada-biotita gnaisse, gnaisse calcissilicático, além de veios de pegmatito e diques de diabásio alterados, sobrepostas às rochas pré-cambrianas que formam o embasamento da Baía da Guanabara (Stein, 2003; Gomes Silva, 2006). Mais detalhes sobre os aspectos geológicos, geotécnicos e geomorfológicos do local poderão ser obtidos em Gomes Silva (2006). A obra localiza-se em região de degrau tectônico (*Graben*) com grande diferença de conta entre a obra e o nível do mar.

Gomes Silva (2006) também utilizou a área do Museu II em sua pesquisa e propôs modelos geológicos em três dimensões que serão apresentados no Capítulo 05.

3.3. Descrição do Projeto

Geoprojetos (2004) mostra que a concepção arquitetônica do empreendimento é de 3 níveis de subsolo, pavimento térreo com garagem, 7 pavimentos tipo de apartamentos, em dois níveis, cobertura (de uso comum) e telhado. As entradas social e dos subsolos são pela Av. Benjamin Sodré, enquanto a entrada da garagem do pavimento térreo é feita pela rua lateral.

Para a implantação de um edifício de 13 andares e 3 sub-solos (Figura 40) fez-se necessária a escavação de um considerável volume de material do Morro do Palácio. O volume de escavação foi estimado com base na topografia existente da área e do comprimento médio da área (Figura 41).

Geoprojetos (2004) apresenta as recomendações para a escavação. A escavação para construção dos subsolos inicia-se na região de confluência das divisas do fundo e da lateral direita do terreno, em torno da elevação 51m, com taludes de inclinação 1(V):1(H) e um nível de banquetas com 2m de largura na elevação 42m. Nesse trecho da porção superior da encosta foi aplicado revestimento vegetal com biomanta. A partir do nível da banquetas da elevação 42m, a encosta foi escavada à medida que se executava a contenção com concreto projetado reforçado com chumbadores. A inclinação dos taludes passa a ser 5(V):1(H) com três novos níveis de banquetas com 2m de largura, localizadas nas elevações 36, 29 e 22m, e finalmente o piso da escavação para construção do terceiro subsolo (El. 13,6m).

As cotas para cada um dos patamares estão apresentadas na Figura 41. As escavações produziram quatro paredes distintas. A Figura 42 apresenta uma vista em planta da escavação.

A escavação de grande dimensão foi executada segundo os procedimentos das normas vigentes e de acordo com as especificações de projeto. A altura total da área grampeada é superior a 35m e pode ser destacada com uma das maiores já executadas no Brasil e no mundo.

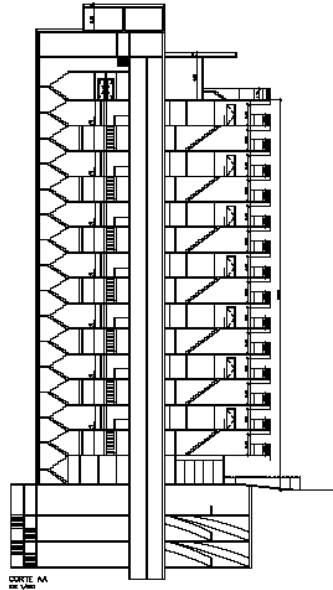


Figura 40 - Vista Arquitetônica em corte do projeto do edifício (Geoprojetos, 2004).

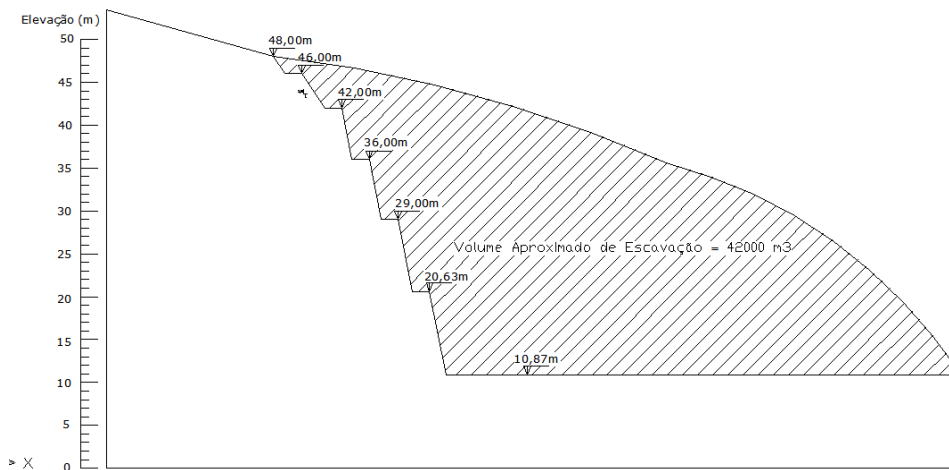


Figura 41 - Perfil da Encosta Escavada.

O projeto previa diversas linhas de grampos ao longo da encosta. Os grampos executados possuíam comprimento variável de 4 a 15m. O projeto de escavação se baseou nas análises de estabilidade, levando-se em conta os efeitos dos conjuntos de chumbadores entre cada nível de banquetas.

Os projetistas da estrutura de escavação elaboraram os estudos de estabilidade da encosta com base em um modelo geotécnico, que é a representação gráfica simplificada das observações geológicas e hidrogeológicas obtidas com a campanha de investigações. Este modelo serve de base para as análises de estabilidade e avaliações dos coeficientes de segurança dos taludes e das soluções propostas.



Figura 42 - Vista em Planta da Área Escavada (Geoprojetos, 2004).

As condições de estabilidade da encosta retratam níveis de implantação do empreendimento, taludes de escavação com ou sem reforço de chumbadores e ausência de nível d'água (Geoprojetos, 2004).

Os parâmetros geotécnicos dos materiais envolvidos nas análises de estabilidade basearam-se em classificação geológico-geotécnica dos materiais atravessados pelas sondagens executadas, avaliação de SPT, consulta bibliográfica e experiências de obras semelhantes nas imediações do terreno em foco (Geoprojetos, 2004).

No dimensionamento dos grampos foram analisadas as sondagens em diversos locais do terreno para estabelecer valores unitários da resistência ao arrancamento (q_s). O valor de q_s foi estimado utilizando a seguinte equação:

$$q_s = 50 + 7,5N_{SPT} \text{ em (kPa)} \quad \text{Equação 6}$$

sendo N_{SPT} o número de golpes do ensaio SPT.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de q_s em cada profundidade das sondagens (não considerados valores para SPT acima de 45), definindo-se valores médios para três níveis da escavação. Os valores adotados são da ordem de 65 a 70% dos valores de q_s médio. Esta minoração conduz a um fator de segurança em torno de 1,5 para a resistência ao arrancamento dos grampos.

Tabela 7 - Valores considerados para q_s em função da elevação (Geoprojetos, 2004)

<i>Valores de q_s (em kPa)</i>		
Elevações (m)	Valor Médio	Valor Adotado
10 a 22	316	220
22 a 29	286	190
Acima de 29	228	160

As análises de estabilidade foram realizadas por Geoprojetos (2004) e consideraram tensões efetivas, utilizando equilíbrio limite mediante método de Bishop Simplificado, levando em conta mecanismo de ruptura de superfícies potenciais circulares. Utilizou-se programa computacional PCSTABL6 gerenciado pelo programa STED, que realiza pesquisa, dentre diversas superfícies potenciais de ruptura, a que apresenta menor fator de segurança, sendo esta denominada superfície crítica. Os fatores de segurança admissíveis adotados no projeto baseiam-se em critérios usuais de segurança e da norma vigente da ABNT, ou seja, no mínimo 1,5 para a condição de final de implantação. Foram consideradas seis seções de análise em suas diversas etapas. A Tabela 8 apresenta a variação do fator de segurança obtido em função das seis seções típicas da obra e das etapas referentes a cotas de escavação do terreno.

Observa-se da Tabela 8 que os fatores de segurança variam entre 1,55 e 2,00. Na etapa final as seções A, B e C apresentaram coeficiente de segurança muito próximo do mínimo recomendado pela norma. A Figura 43 e a Figura 44 mostram as seções A e B com a estabilização proposta.

Geoprojetos (2004) detalha o projeto de estabilização da encosta e apresenta as diversas vistas, detalhes de projetos e demais considerações pertinentes a execução do projeto.

Tabela 8 - Variação do fator de segurança em função da seção e da etapa de escavação

Seção	Etapas				
	01	02	03	04	05
A (junção da divisa lateral e do fundo)	1,79	1,69	1,65	1,60	1,55
B (lateral direita do terreno próximo ao fundo)	1,73	1,62	1,59	1,57	-
C (lateral direita)	1,70	1,59	-	-	-
D (lateral direita)	1,69	1,73	-	-	-
E (fundo do terreno)	2,00	1,74	1,60	-	-
F (fundo do terreno)	1,92	1,71	-	-	-

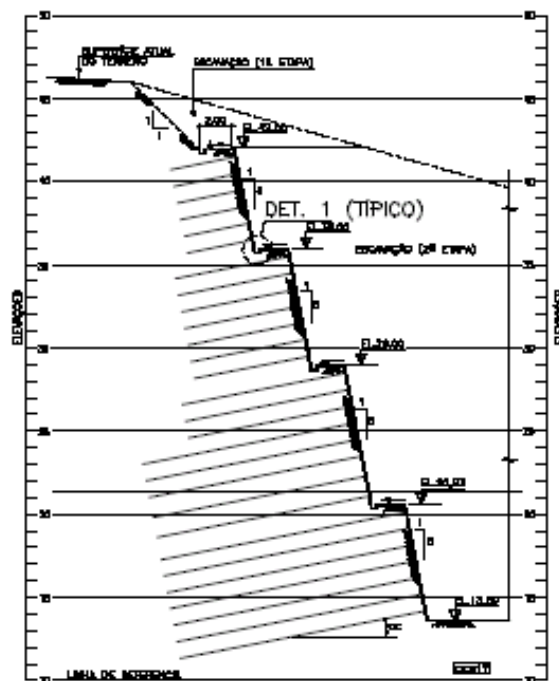


Figura 43 - Projeto de estabilização para a seção A (Geoprojetos, 2004).

A projetista também recomendou instrumentação geotécnica da encosta: com o objetivo de verificar os deslocamentos horizontais em superfície e em profundidade. O grupo de pesquisa em solo grampeado da PUC-Rio e COPPE/UFRJ sugeriu instrumentação auxiliar para monitoramento dos deslocamentos horizontais e, principalmente, das cargas em alguns dos grampos dos taludes escavados.

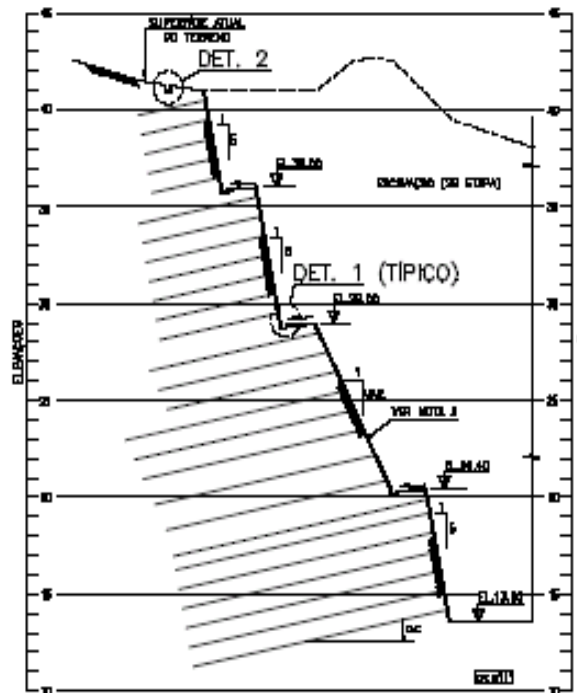


Figura 44 - Projeto de estabilização para a seção B (Geoprojetos, 2004).

3.4. Cronologia da Obra

Os serviços de contenção da encosta foram iniciados no dia 13 de agosto de 2004 e concluídos no dia 22 de março de 2005. A construtora Seel foi quem executou a escavação e a estabilização da encosta natural.

Na Tabela 9 estão destacadas datas importantes dos serviços de contenção das encostas em função das cotas de escavação e de algumas ocorrências registradas na obra. De um modo geral, os principais aspectos que devem ser observados para a análise do comportamento da encosta são:

- Evolução da cota de escavação;
- Extração de blocos indeformados de solo;
- Instalação de grampos instrumentados utilizados para a medição de cargas ao longo da escavação do talude;
- Execução de ensaios de arrancamento;
- Instalação de caixas destinadas à medição dos deslocamentos da escavação e;
- Períodos de paralisação dos serviços em função de comportamento incomum da estrutura identificado através da instrumentação instalada.

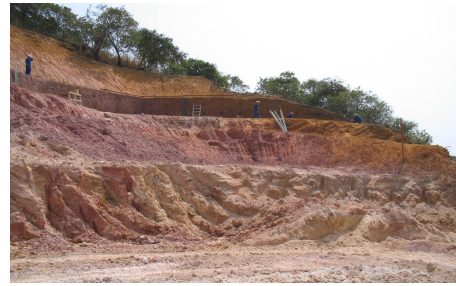
A Tabela 9 ilustra a seqüência das fases de implantação da obra no decorrer dos serviços de escavação e contenção da encosta natural.

Tabela 9 - Datas importantes na obra em função da cota de escavação e das ocorrências e serviços verificados na obra

<i>Talude</i>	<i>Dias</i>	<i>Cota de Escavação (m)</i>	<i>Observação</i>
Superior	13/8/04	46,0	Início da Obra (Escavação)
Talude 01	10/10/04	37,8	Extração dos Blocos BM01 e BM02
	11/10/04	37,8	Instalação de Grampos Instrumentados de 4m e da Caixa de <i>tell tales</i> 01
	14/10/04	36,8	Ensaio de Arrancamento 01
	18/10/04	36,0	Obra Parada
	25/10/04	35,0	Escavação em Nichos
Talude 02	28/10/04	33,0	Extração dos Blocos BM03 e BM04
	29/10/04	33,0	Instalação de Grampos Instrumentados de 5m e da Caixa de <i>tell tales</i> 02
	1/11/04	32,0	Ensaio de Arrancamento 02
Talude 03	10/11/04	28,0	Obra Parada
	13/12/04	26,0	Instalação dos Grampos Instrumentados de 10m, Extração dos Blocos BM05 e BM06
	14/12/04	26,0	Instalação da Caixa de <i>tell tales</i> 03
	16/12/04	25,0	Ensaio de Arrancamento 03
	9/1/05	20,0	Extração dos Blocos BM07 e 08
	10/1/05	20,0	Instalação dos Grampos Instrumentados de 13m e da Caixa de <i>tell tales</i> 04
	13/1/05	20,0	Ensaio de Arrancamento 04
Talude 04	24/1/05	18,0	Extração dos Blocos BM09 e 10
	25/1/05	18,0	Instalação dos Grampos Instrumentados de 15m
	28/1/05	16,5	Ensaio de Arrancamento 05
	31/1/05	16,0	Instalação da Caixa de <i>tell tales</i> 05
	22/3/05	10,9	Fim da Obra
Pós-Obra	13/7/05	10,9	Movimentação da encosta
	5/3/2007	10,9	Final de Leituras de Instrumentos



(a) Início dos serviços de escavação (agosto de 2004)



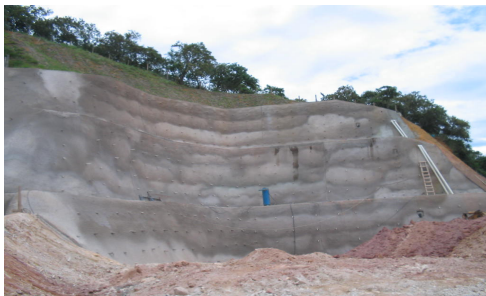
(b) Vista frontal do talude após escavação (setembro de 2004)



(c) Talude superior executado e primeiro talude em execução (outubro de 2004)



(d) Primeiro talude executado e segundo em execução (dezembro de 2004)



(e) Vista frontal com dois taludes grampeados executados (janeiro de 2005)



(f) Vista lateral da parede grampeada (março de 2005)



(g) Vista lateral da obra em fevereiro de 2005



(h) Visão superior com obra totalmente concluída (abril de 2005)

Figura 45 - Fases de Escavação da obra.