

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA O
DETALHAMENTO DO PROJETO DO TRECHO LARGO
TREZE, 5ª LINHA DO METRÔ – SÃO PAULO.

Luciana Venosa Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli
Co-Orientador: Geól. Armando de O. Reis

Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO
1998

DEDALUS - Acervo - IGC



30900002769

ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS PARA O
DETALHAMENTO DO PROJETO DO TRECHO LARGO
TREZE, 5ª LINHA DO METRÔ – SÃO PAULO.

Luciana Venosa Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Fábio Taioli

Co-Orientador: Geól. Armando de O. Reis



Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO

1998

17 1042161
R696
LV.e

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Fábio Taioli, pelas análises críticas, sugestões, revisões de texto e paciência no decorrer dos trabalhos, e Armando de Oliveira Reis, cujo auxílio na interpretação dos boletins de sondagens foi fundamental para a elaboração das seções geológico-geotécnicas.

Ao professor Cláudio Riccomini pela ajuda na identificação das amostras coletadas na obra e pela viabilização da apresentação deste trabalho.

Aos colegas do IGc pelos divertidos anos passados juntos e, em especial aos amigos Alexandre Camier e Ivandra Mattos pela ajuda na realização do trabalho.

A todos os técnicos e funcionários da Geodinâmica pela agradável convivência ao longo destes dois anos de estágio.

Finalmente, aos meus pais, Anna e Rubens, pelo apoio recebido e pela compreensão nos longos momentos de ausência.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. Introdução.....	1
2. Localização.....	1
3. Objetivos e Importância do Projeto.....	4
4. Método de Trabalho.....	4
5. Produtos Finais.....	5
6. Geologia Geral.....	5
6.1 Embasamento.....	5
6.1.1 Complexo Embu.....	6
6.1.2 Faixa São Roque / Serra do Itaberaba.....	7
6.1.3. Deformação.....	8
6.2 Rochas Granitóides.....	9
6.3 Coberturas Cenozóicas.....	9
6.3.1 Contexto Regional.....	9
6.3.2 Bacia Sedimentar de São Paulo.....	10
6.4 Arcabouço Estrutural.....	17
6.5 Evolução Tectônica.....	18
7. Geologia Local.....	18
8. Características Geológico-Geotécnicas do Sub-solo.....	19
8.1 Aspectos Gerais.....	19
8.2 Características Locais.....	24
8.3 Método Construtivo.....	34
8.3.1 Trecho do Túnel em NATM – Definições.....	34
8.3.2 O Sub-Trecho 5: Túnel em NATM do Largo Treze.....	36
8.4 Análise de Estabilidade do Túnel.....	37
8.5 Impactos da Obra.....	42
9. Conclusão.....	43
10. Referências Bibliográficas.....	45

Figuras

Figura 1 - Mapa Geológico Regional.....	2
Figura 2 - Mapa Geológico Local.....	3
Figura 3 - Contexto geológico e tectônico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil.....	10
Figura 4 - Coluna Estratigráfica da Bacia de São Paulo.....	12
Figura 5 – Boletim de sondagem a percussão.....	22
Figura 6 – Boletim de sondagem rotativa.....	23
Figura 7 – Estereogramas comparativos entre os dados da bibliografia consultada e os dados coletados em campo.....	30
Figura 8 – Estereograma dos dados referentes à foliação do gnaiss migmatítico. Concentração de pólos.....	31
Figura 9 – Estereograma dos dados referentes à foliação do gnaiss migmatítico. Planos principais.....	32
Figura 10 – Estereograma dos dados referentes às fraturas do gnaiss migmatítico. Concentração de pólos.....	33
Figura 11 – Projeção estereográfica das estruturas que podem gerar cunhas potencialmente instáveis na abóbada do túnel.....	39
Figura 12 – Seção esquemática do túnel com formação de cunhas potencialmente instáveis.....	40
Figura 13 - Seção esquemática do túnel com o tratamento a base de concreto projetado.....	41

Tabelas

Tabela 1 - Relação das Sondagens e suas Profundidades.....	21
Tabela 2 – Espessuras das Unidades Geológicas do Largo Treze.....	24
Tabela 3 – Relação entre SPT e compacidade e consistência para solos.....	24
Tabela 4 – Parâmetros para Classificação de Maciços Rochosos.....	25
Tabela 5 - Comparação dos dados obtidos em campo com os dados da bibliografia consultada.....	29
Tabela 6 – Relação das atitudes de todas as estruturas do gnaiss migmatítico.....	29
Tabela 7 – Classificação de solos segundo sua permeabilidade.....	34

Anexo

Fotos

Foto 1 – Vista do trecho de transição, com seção em “U”, e início do trecho em “cut and cover”, com seção em “U” fechado (sub-trechos 2 e 3).

Foto 2 – Vista do trecho em “cut and cover”, com seção em “U” fechado (sub-trecho 3), ao lado do Terminal de Ônibus de Santo Amaro.

Foto 3 – Escavação do trecho em “cut and cover” da futura Estação Largo Treze (sub-trecho 4).

Foto 4 – Biotita Gnaiss alterado (saprolito) exibindo foliação ondulada.

Foto 5 - Biotita Gnaiss alterado (saprolito) exibindo material escorregado mais oxidado na sua superfície.

Foto 6 – Fraturas métricas inclinadas e sub-verticais.

Foto 7 – Detalhe da foto anterior

Foto 8 - Biotita Gnaiss alterado cinza (saprolito), com bandas de composição quartzo-feldspáticas (leucossoma), de coloração rósea e amarela

Foto 9 – Detalhe da foto anterior.

Foto 10 – Frente de escavação próximo à estaca 470.

Foto 11 – Contato por falha entre gnaisses alterados de diferentes compacidades

Foto 12 – Sedimentos quaternários argilo-siltosos e colúvio

Foto 13 – Arenitos de matriz argilosa com pedregulhos

Foto 14 – Biotita gnaiss alterado (saprolito) bandas quartzo-feldspáticas

Seções Geológico-Geotécnicas

Seção 1 – Trecho Largo Treze - 5ª Linha do Metrô. Planta e Seção Geológico-Geotécnica.
Folha 1/3

Seção 2 – Trecho Largo Treze - 5ª Linha do Metrô. Planta e Seção Geológico-Geotécnica.
Folha 2/3

Seção 3 – Trecho Largo Treze - 5ª Linha do Metrô. Seções Geológico-Geotécnicas Transversais.
Folha 3/3

RESUMO

A implantação de uma obra de engenharia em áreas urbanas requer um estudo detalhado das condições do sub-solo devido à escassez de afloramentos e às interferências antrópicas, que podem comprometer o nível de conhecimento da geologia da região.

O conhecimento do maciço é de relevante importância para a determinação do método construtivo a ser escolhido pelas empresas construtoras, bem como suas estruturas de fundação.

Assim, procurou-se neste trabalho, caracterizar uma área intensamente urbanizada da Grande São Paulo, com base nos parâmetros geológicos e geotécnicos relevantes à implantação do Trecho Largo Treze - 5ª Linha do Metrô, para a complementação do projeto executivo desta linha.

A caracterização geológico-geotécnica foi obtida a partir da prospecção do terreno por métodos diretos, como sondagem a percussão e rotativa, além do mapeamento local quando iniciaram-se as escavações na obra.

Com base nos dados obtidos, foram elaboradas seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais ao eixo definitivo da via. Estes trabalhos foram utilizados para a definição do método construtivo e alternativas de projeto, concomitante à execução da obra.

ABSTRACT

The development of a civil engineering work in a urban area asks for a detailed study of the underground due to, mainly, the lack of outcrops and the intrinsic antropogenic interferences. At the same time, the knowledge of the geological-geotechnical characteristics of the massive is fundamental to determine the constructive method and foundation type.

Therefore, this study covers the geological-geotechnical characterization of a intensily urbanized area of São Paulo city, aimed at the construction of the Largo Treze 5th line of the subway.

The geological-geotechnical characterization was based on direct methods of investigation (percussion and rotary drilling) and local mapping (after the beggining of the excavation).

The data collected allowed to produce longitudinal and transversal geological-geotechnical sections, which were used to define the construction method and design alternatives, in pace with the construction.

1. Introdução

Visando a melhora da qualidade dos transportes coletivos da cidade de São Paulo, o Governo do Estado iniciou a ampliação das linhas de metrô existentes, como a Linha Ana Rosa - Vila Madalena, e a investigação e a construção de novas linhas em diversas regiões da cidade, respectivamente, a 4ª Linha (Faria Lima - Vital Brasil) e a 5ª Linha (Capão Redondo - Largo Treze).

Após a conclusão do Projeto Básico em 1997, a CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos - dividiu a 5ª Linha Capão Redondo - Largo Treze em trechos para as fases de Projeto Detalhado - Construtivo. Coube ao Consórcio Construtor Spie Batignolles T.P. - Queiroz Galvão S.A. o trecho inicial, entre o Largo Treze e a Marginal do Rio Pinheiros. O Consórcio sub-contratou a Geodinâmica Internacional de Projeto e Consultoria Ltda. para o detalhamento de partes do projeto, como os estudos geológico-geotécnicos do sub-solo da diretriz.

A 5ª Linha do Metrô deverá ser integrada à linha existente do trem da Marginal do Rio Pinheiros, ramal Jurubatuba – Osasco. Para isso, foi prevista, no trecho Largo Treze, além de trechos subterrâneos em túnel, a construção de obras aéreas, como viadutos e “cut and cover”, este último necessário para a construção da estação Largo Treze.

Sendo assim, este trecho, com extensão total de 975 m, englobou a construção dos seguintes sub-trechos (vide fotos 1, 2 e 3, em anexo):

- Sub - Trecho 1: viaduto, com 100 metros de extensão;
- Sub - Trecho 2: trecho de transição, com seção em U (100 m);
- Sub - Trecho 3: trecho em “cut and cover”, com seção em U fechado (225 m);
- Sub - Trecho 4: trecho em “cut and cover” da estação Largo Treze e plataformas (270 m);
- Sub - Trecho 5: túnel em NATM, com 280 m de extensão.

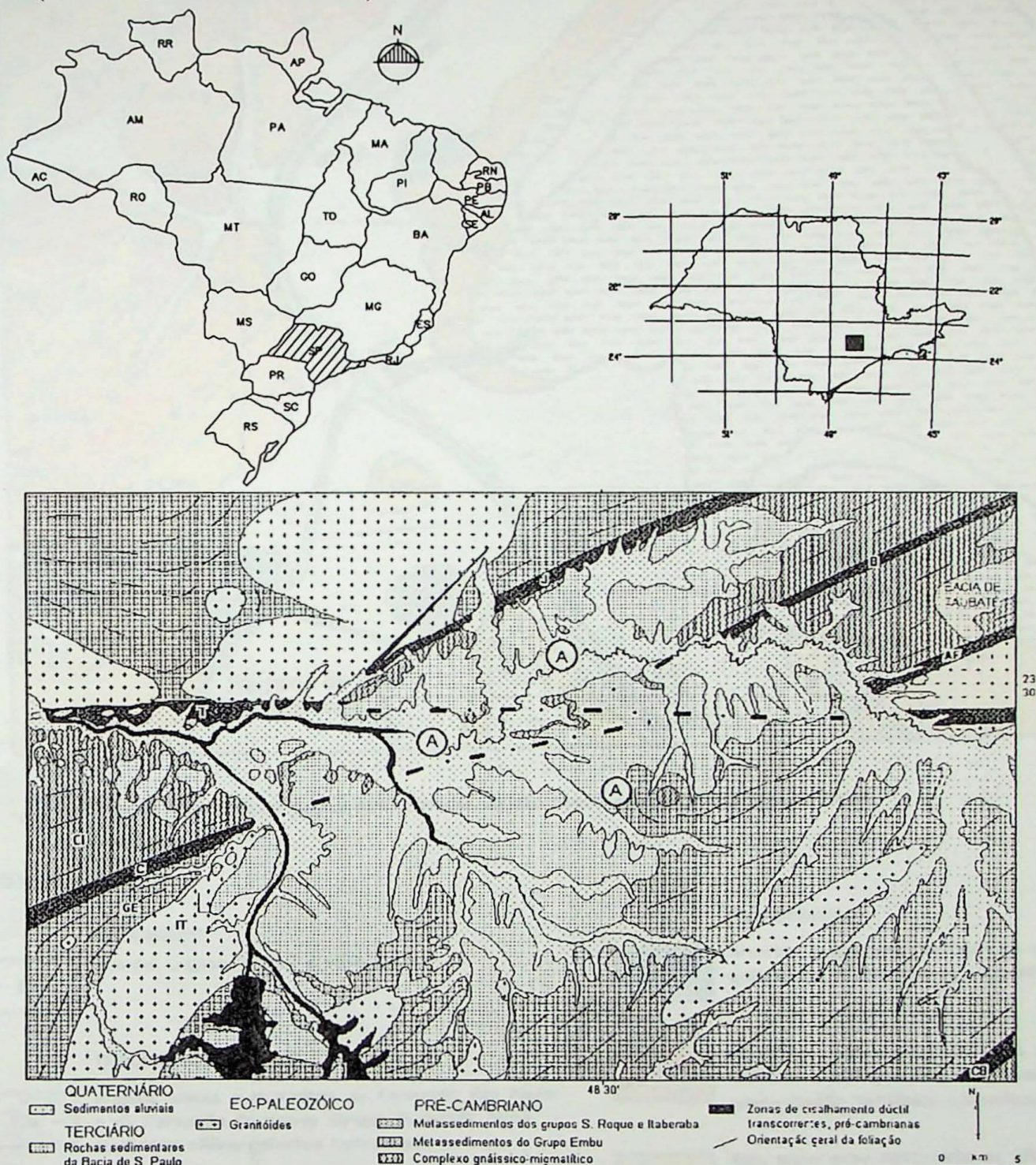
A orientação do eixo definitivo da 5ª Linha é variável, assumindo o azimuth 80° até a estaca 478, próximo à sondagem SPR 112, 75° até a estaca 480, próximo à SP-113, 70° no emboque do túnel e 60° a partir da estaca 487 (SP-115).

2. Localização

O Trecho Largo Treze - 5ª Linha do Metrô - está situado entre a Avenida Nações Unidas, na Marginal do Rio Pinheiros (sentido bairro-centro), e a Alameda Santo Amaro, na zona Sul da cidade de São Paulo, entre as coordenadas 23° 30' e 23° 45' S e 46° 30' e 46° 45' W. Tem extensão total de 975 m no alinhamento da Rua Padre José Maria, onde

encontra-se o Terminal de Ônibus de Santo Amaro, que será integrado à linha Capão Redondo – Largo Treze.

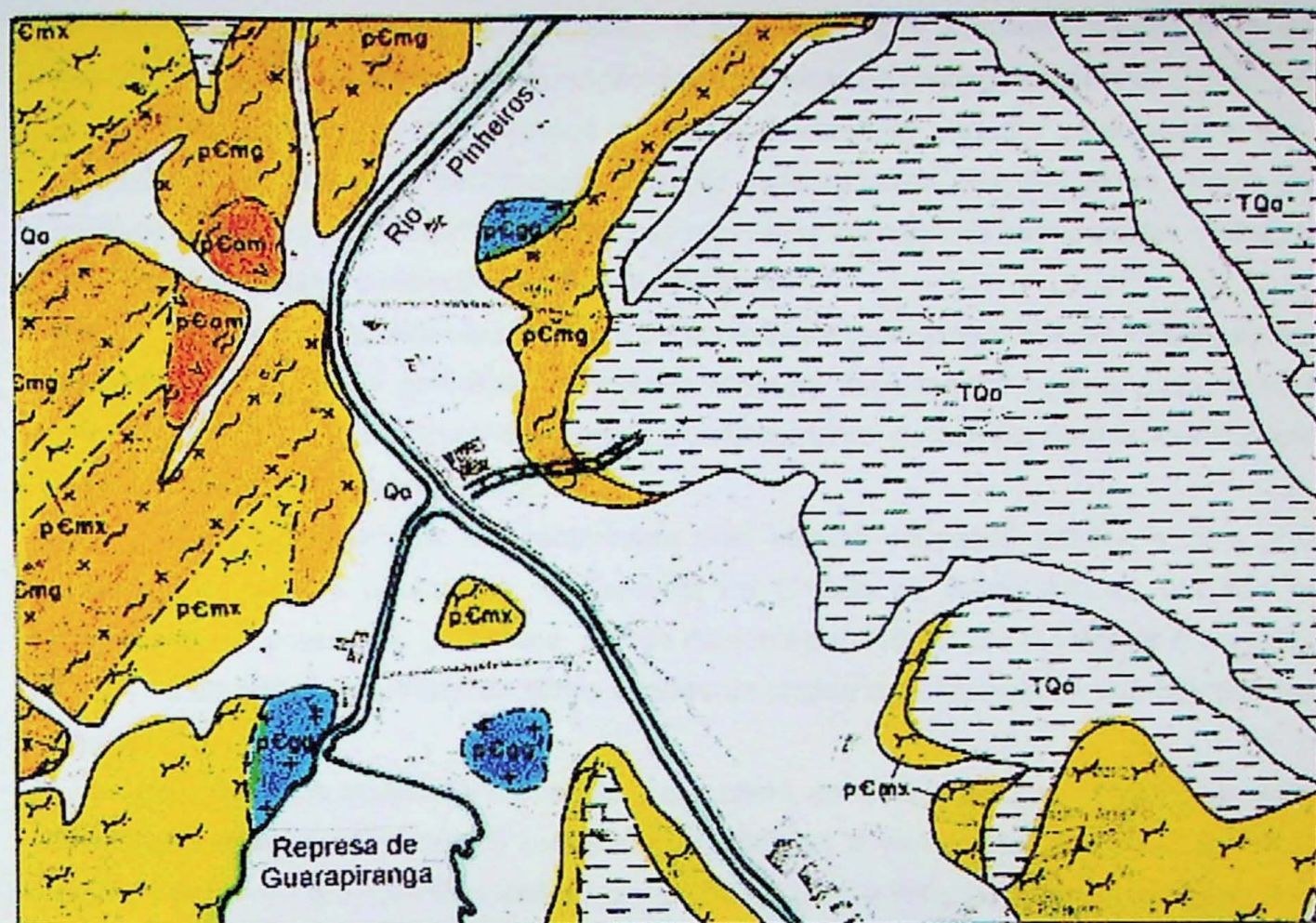
A região de interesse insere-se no seguinte contexto de geologia regional: Embasamento Cristalino, Sedimentos da Bacia de São Paulo e sedimentos modernos (aluviões, colúvios e aterros).



Zonas de transcorrência dúctil: T - Taxaquara, C - Caucaia, J - Jaguari, B - Buquira, AF - Alto da Fartura, CB - Cubatão. Unidades do embasamento adjacente à área de interesse: CI - Complexo Ibiúna, GE - Grupo Embú, IT - Granitóide de Itapequerica. As linhas grossas interrompidas indicam as extensões aproximadas das zonas de transcorrência dúctil. Círculos com "A" indicam as porções dos blocos que mais afundaram durante o desenvolvimento da Bacia de São Paulo.

Figura 1 – Mapa Geológico Regional (Hasui, 1994, *apud* Rocha, 1995)

FIGURA 2 - MAPA GEOLÓGICO LOCAL



Fonte: Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo, escala 1:50.000, ENPLASA, 1984.

LEGENDA

QUATERNÁRIO

Aluvião argilas, areias e cascalhos.

Qa

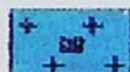
TERCIÁRIO-QUATERNÁRIO

Argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo e da Formação Capapava (Grupo Taubaté). Inclui depósitos elúvio-colúvies correlatos.

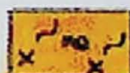
TQa

PRÉ-CAMBRIANO

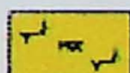
Granitos e granodioritos normais ou em parte gnêssicos, equigranulares ou porfiróides.



Migmatitos e gnêssos graníticos, podem achar-se cisalhados até gnêssos melaníticos em zonas de movimentação tectônica intensificada.



Mica xisto e/ou metarenito de médio grau metamórfico, inclui também xistos melaníticos em zonas de movimentação tectônica.



Anfibolitos, metabasitos (metadiabásio, metagabro).



CONVENÇÕES

— Contato definido

- - - Contato aproximado

--- Contato suposto



Rio

----- 5ª Linha - Trecho Largo Treze

3. Objetivos e Importância do Projeto

O Projeto tem como finalidade a caracterização geológico-geotécnica do sub-solo da diretriz da via de modo a viabilizar e otimizar a construção da obra. Tal caracterização irá procurar identificar as feições litológicas e estruturais que possam influenciar tanto as escavações no local quanto a implantação das estruturas de fundação da obra.

A caracterização dos estratos quanto à resistência permitiu selecionar o tipo de fundação a ser utilizado e definir suas cotas de assentamento. Permitiu ainda, definir que a escavação do "cut and cover" e transição seriam feitas por suporte com paredes-diafragma e que seria necessário o rebaixamento do nível d'água.

Para tanto, a análise dos boletins de sondagens das campanhas de investigações do maciço pelos métodos percussivo e rotativo torna-se fundamental para a elaboração das seções geológico-geotécnicas, bem como o mapeamento de campo para a identificação e coleta de dados litológicos e estruturais.

A região de estudo é caracterizada pela intensa ocupação urbana e pelo grande trânsito de veículos e pessoas. O Terminal de Ônibus de Santo Amaro, um dos mais utilizados pela população paulistana, atende diariamente 215 mil passageiros e é servido por 59 linhas de ônibus provindas de várias regiões da cidade e de municípios vizinhos (SPTrans, 1998).

A crescente ocupação da região, bem como de toda a cidade, tornou necessária a ampliação das linhas de metrô existentes, e também a construção de novas linhas que, quando possível, propiciarão a integração do metrô com a linha de trem da marginal do Rio Pinheiros. No caso, a 5ª Linha do Metrô, Capão Redondo - Largo Treze, será integrada à Linha C da CPTM na Marginal Pinheiros, ramal Jurubatuba - Osasco, que já está operando com trens mais modernos. A ligação Capão Redondo – Largo Treze contará com 6 estações ao longo de seu trecho, sendo que a estação Largo Treze, com área de 14.600 m², será integrada ao Terminal Santo Amaro da SPTrans.

Deste modo, a construção da nova linha do metrô irá beneficiar os usuários do Terminal de Ônibus de Santo Amaro e do ramal Jurubatuba - Osasco. Além disso, irá beneficiar também toda a cidade de São Paulo pois o metrô é um meio de transporte rápido, não poluente e que visa diminuir a quantidade de veículos que transitam pelas ruas, melhorando as condições do tráfego na capital.

4. Método de Trabalho

Para a determinação das condições geológico-geotécnicas do maciço de fundação da obra foi adotada a seguinte metodologia:

- levantamentos básicos: bibliografias existentes, relatórios de trabalhos anteriores realizados na área e informações dos técnicos da CPTM;
- mapeamento de campo: destacando os aspectos geológicos, estruturais e geotécnicos relevantes para o projeto;
- análise de boletins de sondagens a percussão e rotativa em solo e em rocha;
- acompanhamento e análise da campanha de sondagem adicional e dos ensaios de infiltração;
- integração dos dados;
- elaboração das seções geológico-geotécnicas.

Além dos trabalhos previstos mencionados acima, foi realizada a análise das estruturas geológicas do sub-solo passíveis de influenciar a escavação do túnel (comprometendo o andamento e a segurança da obra) através do estudo da formação de cunhas potencialmente instáveis.

5. Produtos Finais

Com os trabalhos realizados mencionados, os seguintes produtos foram elaborados:

- planta de locação das sondagens realizadas;
- seções geológico-geotécnicas (EV=1:300 e EH=1:750);
- estereogramas das feições estruturais do maciço (estruturas primárias e descontinuidades);
- seções do Túnel (cunhas potencialmente instáveis);
- relatório geológico-geotécnico (ilustrado com fotos, gráficos e tabelas).

6. Geologia Geral

6.1 Embasamento

As rochas pré-cambrianas da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foram primeiramente incluídas no Cinturão Ribeira, de Almeida et al. (1973, *apud* Juliani, 1992). Posteriormente, Hasui et al., 1978, e Schobbenhaus et al., 1984 (*apud* Juliani, op cit.), denominaram esta região de Dobramentos Sudeste e, Almeida e Hasui (1984, *apud* Juliani, op cit.), de Província Mantiqueira.

Na RMSP afloram duas unidades geológicas - Complexo Embu e Faixa São Roque/Serra do Itaberaba - que ocorrem separados pela zona de cisalhamento de Taxaquara-Jaguari, e alguns granitóides intrusivos Eo-Paleozóicos (Figura 1).

A Bacia de São Paulo insere-se quase totalmente sobre as rochas do Complexo Embu devido ao seu controle estrutural, pois é delimitada ao Norte pela Falha de Taxaquara-Jaguari.

Além das unidades citadas, nas proximidades da RMSP, ainda afloram rochas pertencentes aos Grupos Paraíba do Sul, Itapira e Amparo.

6.1.1 Complexo Embu

Delimitado ao Norte pela Falha de Taxaquara-Jaguari e a este-sudeste pela Falha de Cubatão e pelo Lineamento de Além-Paraíba esta unidade compreende rochas metamórficas de mais alto grau e intensamente deformadas que, juntamente com as rochas do Complexo Pilar compõe o Grupo Açungui. Inclui migmatitos e gnaisses migmatizados gerados pelo metamorfismo dos metassedimentos do Grupo Pilar (Hasui e Sadowski, 1976, *apud* Juliani, *op cit.*).

Alguns autores não utilizam a denominação Grupo Pilar, considerando os metassedimentos pertencentes ao Complexo Embu. São metassedimentos das fácies anfibolito e xisto-verde, com presença de veios de granitóides e de pegmatitos.

Unidade dos Xistos Rítmicos (Xistos Santa Rita)

Compreendem mica xistos e quartzo-mica xistos, pegmatitos e intercalações subordinadas de calcissilicáticas, anfibolitos e rochas metaultramáficas, além de veios granitóides.

Os mica xistos e quartzo-mica xistos possuem estrutura laminada ou bandada, devido ao enriquecimento/empobrecimento em quartzo, e contém cianita, estauroлита, granada, sillimanita e turmalina, fortemente crenulados. Devido à associação mineralógica descrita, as rochas desta unidade são pertencentes à fácies anfibolito (Juliani, *op cit.*).

Próximo aos granitóides ocorrem pegmatitos, de dimensões métricas a decimétricas, ou veios granitóides centimétricos, que se encontram encaixados na foliação principal, seja concordantemente ou não, porém comumente deformados.

Unidade dos Sericita Xistos e Filitos

Constituída por sericita xistos finos e filitos de coloração rósea ou arroxeada, apresentam estrutura laminada e, secundariamente bandada, e alguns porfiroblastos alterados. Pertencem à fácies xisto verde, portanto com grau metamórfico mais baixo que a unidade anterior, devido à presença somente de granada, com total ausência de sillimanita ou clorita.

As unidades dos Xistos Rítmicos e dos Sericita Xistos e Filitos ocorrem na região de Embu-Guaçu-Parelheiros, na Grande São Paulo. As demais têm ocorrência na região sudeste da Bacia de Taubaté.

Complexo Rio Capivari

As rochas do Complexo Rio Capivari compreendem ortognaisses migmatizados e deformados e, subordinadamente, biotita gnaisses, anfibolitos, calcissilicáticas e ortognaisses.

Complexo Embu

O Complexo Embu é subdividido em três unidades: (a) *Unidade Redenção da Serra*, formada por granada-sillimanita-biotita gnaisses com intercalações de xistos, anfibolitos, calcissilicáticas, mármore, quartzitos e gonditos, (b) *Unidade Rio Paraibuna*, que contém os mesmos litotipos da unidade anterior, porém apresentam maior quantidade quartzitos e calcissilicáticas e (c) *Unidade Rio Una*, na qual predominam xistos, quartzitos e, secundariamente, rochas calcissilicáticas.

6.1.2 Faixa São Roque / Serra do Itaberaba

Esta faixa, alongada na direção NE, com cerca de 180 km de comprimento e, no máximo, 50 km de largura, é delimitada pelas Falhas de Jundiuvira e de Itu, a Norte e pelas Falhas de Taxaquara - Jaguari, a Sul. Neste trabalho, será adotada a subdivisão proposta por Juliani (op cit.) para os terrenos metassedimentares e metavulcano-sedimentares pertencentes a esta unidade.

Grupo Serra do Itaberaba

É constituído de seqüências metavulcano-sedimentares recobertas por seqüências clásticas, de posicionamento ainda não definido, e clasto-químicas.

Os metassedimentos possuem estrutura bandada, laminada e mais raramente maciça, e granulação fina a muito grossa, com presença de alguns porfiroblastos de estauroлита com mais de 3 cm. Não possuem estruturas sedimentares preservadas. São classificados como mica xistos com granada, estauroлита, cianita, andaluzita, sillimanita, cordierita, feldspato e turmalina.

As rochas metabásicas incluem anfibolitos e anfibólio xistos, de granulação muito fina a muito grossa, conforme o grau metamórfico. Intercalam-se rochas metavulcanoclásticas e metapelitos, indicando a ocorrência de derrames sucessivos, e "pillow lavas".

No topo desta seqüência são descritas lentes de vulcanoclásticas básicas e intermediárias, como metabrechas e metatufos.

Sobre a seqüência anterior ocorrem calcissilicáticas de estrutura bandada, maciça e laminada, que gradam para metapelitos enriquecidos em óxidos e hidróxidos de ferro e de manganês.

São identificados ainda outros litotipos tais como metapelitos grafitosos, metapelitos cinza azulados, formações ferríferas, metacherts ferruginosos, metabasitos, rochas carbonáticas (mármore e dolomitos), xistos com magnetita e quartzitos.

O metamorfismo do Grupo Serra do Itaberaba pertence à fácies anfibolito e, secundariamente, xisto verde.

Grupo São Roque

De ocorrência mais restrita, ocorrem metaconglomerados com seixos e blocos de rochas graníticas e gnáissicas e, secundariamente, de pegmatitos, quartzitos e xistos, dispersos em matriz xistosa. Esses metaconglomerados apresentam granodecrescência em direção ao topo, onde são encontrados metarcóseos de aspecto gnáissico e metarenitos finos, arcoseanos e conglomeráticos, com intercalações de filitos e xistos.

Os litotipos presentes nesta unidade, com grande expressão, incluem quartzitos, mármore, calcários, dolomitos, anfibolitos e filitos com intercalações de metarenitos, metarcóseos e filitos grafitosos.

Associados às rochas metavulcânicas ocorrem xistos porfiroblásticos e calcissilicáticas semelhantes às da Serra do Itaberaba.

6.1.3. Deformação

Segundo Hasui & Sadowski (1976), na Faixa São Roque e no Complexo Embu ocorrem dobras cerradas, com planos axiais sub-verticais e eixos sub-horizontais de direção N60E e N45E, respectivamente. Para a Faixa São Roque, assumem, os mesmos autores, que o metamorfismo ocorreu simultaneamente à deformação devido à xistosidade plano-axial encontrada nas rochas desta unidade, fato não verificado nas rochas do Complexo Embu, onde a xistosidade é paralela à estratificação reliquiar.

Além das falhas transcorrentes de maior expressão geográfica da região (falhamentos de Taxaquara, Caucaia, Jundiuvira, São Roque, Itu, Pirapora, Cubatão, etc.) as juntas e as falhas menores agrupam-se em um sistema sub-vertical transversal à xistosidade, dois oblíquos e um sub-horizantal (Hasui & Sadowski, op cit.).

Tais falhamentos e descontinuidades foram reativadas posteriormente, afetando também os sedimentos da Bacia de São Paulo (Juliani, op cit.).

6.2 Rochas Granitóides

Na RMSP ocorrem desde batólitos a pequenos “stocks” que, apesar de alguns estarem parcialmente recobertos pelos sedimentos da Bacia de São Paulo, constituem altos morfológicos devido à sua maior resistência ao intemperismo.

São considerados por Juliani (op cit.) como corpos sin ou pós-tectônicos colocados nas rochas metamórficas da área. Tratam-se essencialmente de biotita granitóides (Janasi & Ulbrich, 1991, *apud* Juliani, op cit.), fracamente foliadas e com bordas associadas a zonas de falha.

Os batólitos ocorrem ao longo das zonas da falha de Caucaia e Rio Jaguari e tratam-se de monzogranitos e granodioritos porfiríticos. Estes sim apresentam intensa foliação, constituindo augen-gnaisses (Juliani, op cit.).

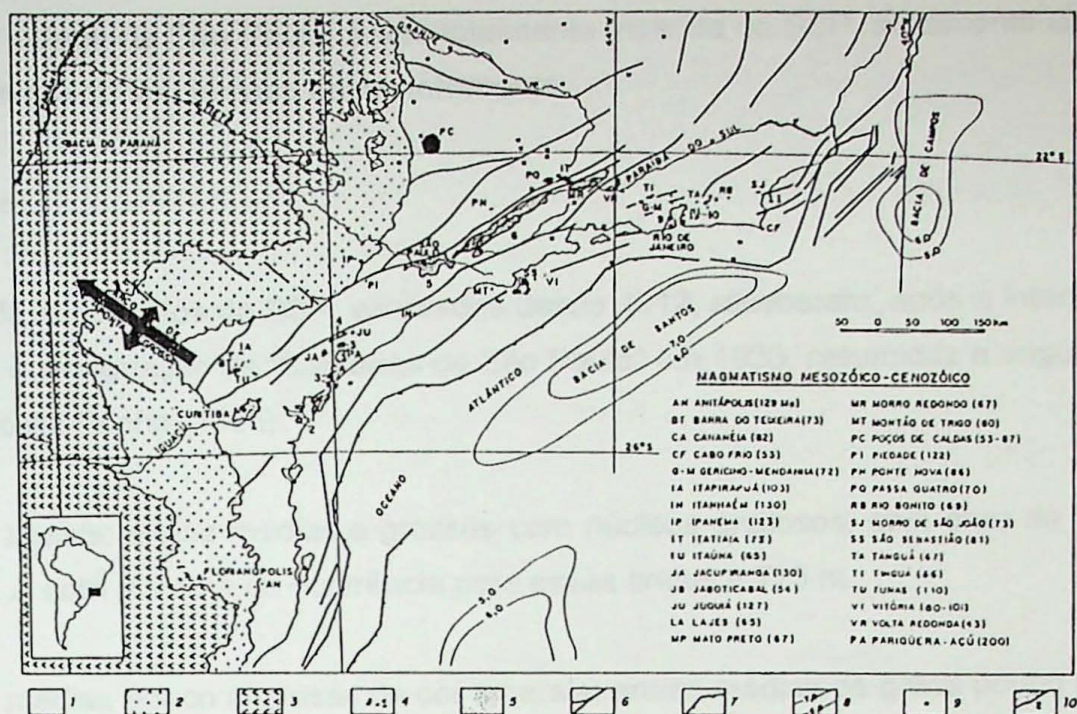
6.3 Coberturas Cenozóicas

6.3.1 Contexto Regional

A Bacia Sedimentar de São Paulo faz parte do denominado Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini, 1989, *apud* Riccomini & Coimbra, 1992). A esta feição é atribuída, pelos mesmos autores, uma idade Cenozóica, e a origem proposta deste rift estaria relacionada com a ruptura da porção crustal adjacente à Bacia de Santos, quando ocorreu a abertura do Atlântico Sul.

O RCSB possui uma extensão de cerca de 900 km, estendendo-se do Paraná ao Rio de Janeiro, seguindo aproximadamente a linha da costa atual dessa região, numa faixa alongada na direção ENE. Engloba as seguintes feições geológicas: Bacia de Curitiba e Graben de Guaraqueçaba (PR), Bacia de Taubaté e Graben de Sete Barras (SP) e as Bacias de Resende, Volta Redonda e Itaboraí e os Grabens da Guanabara e da Barra de São João (RJ).

Este rift desenvolveu-se sobre as rochas metamórficas, migmatitos e granitóides do Cinturão de Dobramentos Ribeira, este recortado por um denso sistema de falhamentos transcorrentes que estiveram ativos até o final do Ciclo Brasileiro, cujas reativações afetaram até os sedimentos cenozóicos.



Legenda: (1) embasamento pré-cambriano, (2) sedimentos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná, (3) vulcanismo Serra Geral, (4) magmatismo Mesozóico-Cenozóico, (5) sedimentos terciários, (6) zonas de cisalhamento relacionadas ao Ciclo Brasileiro, (7) zonas de flexura, (8) isópacas em km dos sedimentos das bacias costeiras, (9) epicentros de terremotos e (10) bacias do RCSB.

Figura 3 – Contexto geológico e tectônico regional do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini & Coimbra, 1992).

6.3.2 Bacia Sedimentar de São Paulo

Localizada no Planalto Paulistano (Almeida, 1958, *apud* Riccomini & Coimbra, *op cit.*) que compreende uma área de aproximadamente 5.000 km², os sedimentos da Bacia de São Paulo (BSP) recobrem um área de cerca de 1.000 km². Apresentam uma distribuição irregular pois são limitados a Norte pelas zonas de cisalhamento de Taxaquara-Jaguari, mas a Sul apresentam contatos irregulares com as rochas do embasamento, ocorrendo ramificações para Leste e para Sul.

A bacia possui uma forma alongada com os eixos maior e menor medindo, respectivamente, 75 km e 25 km. É considerada um hemi-graben, com basculamento para

NNW, e apresenta sedimentos com espessura máxima estimada em 311 m (Hasui & Carneiro, 1980, *apud* Riccomini & Coimbra, op cit.).

A cidade de São Paulo, antes totalmente inserida na BSP, atualmente ultrapassa tais limites devido ao seu intenso desenvolvimento.

Histórico

Os sedimentos da BSP, estudados desde 1812, receberam, após a intensificação dos estudos, a designação de “Camadas de São Paulo” em 1933, resumidas a seguir conforme a descrição de Rocha (1995):

- Areias basais: areias médias e grossas com núcleos argilosos, com grau de compactidade variável. A cota máxima de ocorrência para essas areias é 725 m.
- Areias médias pouco argilosas de cor amarela: areias médias de grãos pouco rolados. Cota máxima de 715 m.
- Argilas duras cinza esverdeadas (Taguá): ocorrem intercaladas com areias finas argilosas de coloração cinza escuro de alta compactidade.
- Solos variegados: camadas alternadas de argilas, argilas siltosas e arenosas, e areias finas argilosas de coloração variegada (amarela, roxa, branca, rosa, etc.). Ocorrem da cota 715 m a 790 m.
- Argilas porosas vermelhas: solo intensamente laterizado com presença de uma porção inferior menos porosa. Acompanham a topografia do terreno e são por vezes referidas como coberturas coluviais. Ocorrem da cota 750 m a 830 m.
- Aluviões recentes: depósitos quaternários, constituídos de argilas siltosas e siltes argilosos ricos em matéria orgânica, com espessura máxima de 8 m.

Esta classificação foi muito utilizada até cerca de 1980 e, no período de 1980 a 1989, foi introduzido o termo Formação São Paulo e Formação Itaquaquetuba. A Fm. São Paulo estaria relacionada aos leques aluviais lamosos, aos depósitos dos sistema fluvial meandrante e do sistema lacustre. Já a Fm. Itaquaquetuba compreenderia sedimentos de granulação mais grossa, contendo conglomerados e matacões em matriz arenosa e sem presença de lama.

As correlações entre essas duas unidades não foram determinadas conclusivamente devido, principalmente, ao nível de base regional correspondente à entrada do Rio Tietê na Soleira de Barueri, a cerca da cota 710 m.

Com base na hipótese de que as bacias do RCSB deste trecho (atuais Bacias de São Paulo e Taubaté) seriam contínuas no passado, e com a análise dos sistemas deposicionais de cada formação e de suas idades, o quadro foi reformulado por Riccomini em 1989, que introduziu o termo Bacia de São Paulo (BSP).

Nesta concepção, a BSP é formada por uma seqüência basal que compreende as Formações Resende, Tremembé e São Paulo, inseridas no Grupo Taubaté, recoberta pela Formação Itaquaquecetuba, todas de idade Terciária.

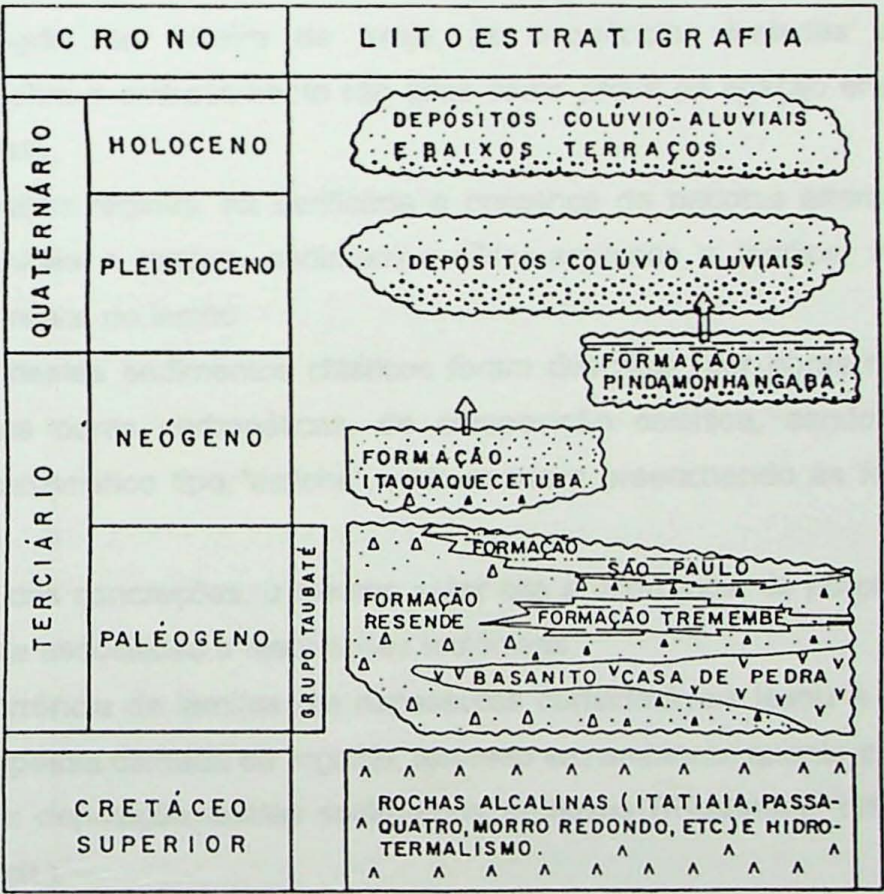


Figura 4 - Coluna Estratigráfica da Bacia de São Paulo (Riccomini et al., 1992, *apud* Rocha, 1995)

Descrição das Unidades

- Grupo Taubaté

Formação Resende

Representando mais de 80% do preenchimento sedimentar da Bacia de São Paulo é constituída por 2 litofácies principais. A 1ª compreende diamictitos e conglomerados, estes com seixos, matacões e blocos polimíticos, em matriz lamítica a arenosa de coloração esverdeada. Em direção ao interior da bacia gradam para lamitos arenosos de coloração esverdeada e para arenitos de coloração esverdeada e também cinzenta e esbranquiçada, com presença de estratificações cruzadas e acanaladas de médio porte, correspondentes à 2ª litofácies. Ocorrem ainda, níveis conglomeráticos com seixos de quartzo, quartzito e de rochas do embasamento.

Na região da Soleira de Arujá, as ocorrências isoladas das porções basais diretamente sobre o embasamento são tidas como prova da ligação entre as Bacias de São Paulo e Taubaté.

Em outras regiões, foi verificada a presença de pacotes alternados de arenitos de granulação média a grossa, sedimentos siltico-argilosos e lamitos, inclusive com diques clásticos de arenito no lamito.

Além destes sedimentos clásticos foram descritos, por obras na linha Norte-Sul do Metrô, crostas duras carbonáticas, de composição calcítica, sendo considerados como paleossolo carbonático tipo "caliche", pois ocorrem preenchendo as fendas de ressecção dos lamitos.

Além das concreções, o mesmo autor cita a ocorrência de porções hidrotermalizadas provavelmente associadas a reativações tectônicas.

A ocorrência de lamitos em espessuras consideráveis levou à consideração de que havia uma espessa camada de regolito, formado em ambiente quente e úmido, que serviu de área fonte na deposição destes sedimentos argilosos (Riccomini, 1989, *apud* Riccomini & Coimbra, *op cit.*).

Os processos geradores dos sedimentos da Fm. Resende podem ser assim relacionados cronologicamente: intemperismo de rochas granitóides gerando espessas camadas de regolito; diagênese das argilas recém-formadas; corridas-de-lama; preservação dos depósitos.

A espessura máxima estimada para esta formação, com base em dados de sondagens do Bairro da Móoca, é de 256 m, e a idade atribuída é Oligocênica.

Formação Tremembé

Através das exposições de rochas durante as escavações da Estação Barra Funda do Metrô as camadas de argilas verdes maciças intercaladas com camadas de argilas de coloração cinza-escuro a preta, ricas em matéria orgânica, com total ausência de areias, foram relacionadas aos depósitos lacustres da Fm. Tremembé, da porção central da Bacia de Taubaté (Riccomini, 1989, *apud* Riccomini & Coimbra, op. cit.).

A partir da ocorrência de argilas verdes lacustres detectados por sondagens em mais dois locais da cidade de São Paulo, o mesmo autor levanta a possibilidade de que o sistema deposicional lacustrino atinja maiores extensões do que se imagina. Sugere também, um paleoclima semi-árido para a deposição dos sedimentos desta formação.

Ainda com base em dados de sondagens efetuadas na cidade, estima-se que a espessura da Fm. Tremembé ultrapasse os 60 m. A idade atribuída à esses sedimentos, pelo seu conteúdo polínico, é Oligocênica.

Formação São Paulo

Correspondente a depósitos fluviais meandrantess, a Formação São Paulo possui duas litofácies principais.

Uma composta por pacotes métricos de arenitos grossos conglomeráticos e mais localmente por conglomerados que gradam para siltitos e argilitos em direção ao topo da camadas. As porções psamo-psefíticas (arenosas e conglomeráticas) possuem estratificações cruzadas de pequeno a médio porte e representam os sedimentos dos depósitos de canais meandrantess. As porções pelíticas são estratificadas e laminadas, com presença de folhelhos de coloração marrom escuro a preto, com presença de matéria orgânica, inicialmente referidos como linhito, e teriam se formado nas lagoas dos meandros abandonados.

A segunda, relacionada a depósitos de rompimento de diques marginaiss e a planícies de inundação, é composta por arenitos de granulação média a grossa gradando para arenitos mais finos e localmente para siltitos e argilitos. Apresentam camadas rítmicas, com estratificação plano-paralela horizontal, de espessura decimétrica a centimétrica, e nos arenitos finos são descritas "climbing ripples".

Na interface entre os sedimentos arenosos e argilosos da Fm. São Paulo, ocorrem crostas limoníticas, funcionando como camadas impermeabilizadoras dos sedimentos finos e causando surgências d'água nos pacotes arenosos.

A passagem do sistema deposicional de leques aluviais para fluvial meandrante estaria relacionada a uma mudança climática para condições mais úmidas e a uma fase de maior calma tectônica da Bacia de São Paulo (Riccomini & Coimbra, op cit.).

Os sedimentos da Fm. São Paulo possuem espessura de cerca de 70 m e estão distribuídos a partir das cotas 750 m e 760 m. As porções encontradas em cotas mais altas em alguns locais da cidade estão relacionadas provavelmente ao tectonismo pós-sedimentar (Riccomini & Coimbra, op cit.).

- Formação Itaquaquetuba

Com espessura estimada em 50 m na sua localidade tipo, a Fm. Itaquaquetuba apresenta contatos ora erosivos ora tectônicos com as rochas do embasamento, e é constituída por 5 litofácies principais.

A primeira é composta de arenitos arcoseanos mal selecionados, de granulação média a grossa, exibindo estratificação cruzada acanalada e tabular de grande porte. Exibe ainda um nível basal com seixos de quartzo e quartzito bem arredondados. Fragmentos de siltitos e, ocasionalmente, de arenitos e folhelhos, presentes nesta formação, ocorrem sob a forma de finos estratos.

Esta fácies, segundo Riccomini & Coimbra (op cit), seria a mais típica dos depósitos de canais fluviais entrelaçados ("braided"). Característica marcante desta formação é a presença de troncos vegetais fósseis e de marcassita como cimento dos arenitos.

A segunda litofácies é constituída de conglomerados, com seixos arredondados de quartzo e quartzito, e com pouca matriz. Ocorrem na forma de camadas decimétricas, com persistência lateral da ordem de até duas dezenas de metros. Esta litofácies ocorre alternadamente com a primeira, gerando variações também laterais.

A terceira compreende arenitos maciços de granulação fina a média, mal selecionados, exibindo estruturas decimétricas de fluidificação de sedimentos do tipo almofada ("pillow"), que ocorrem associados à quarta litofácies, composta por lamitos siltico-arenosos de coloração esverdeada. Esta litofácies contém ainda, ocasionalmente, seixos de quartzo e quartzito bem arredondados, dispersos na matriz.

A quinta litofácies contém blocos subangulosos das rochas do embasamento, megaclastos tabulares de folhelhos e arenitos, pedaços de troncos vegetais fósseis carbonificados e arenitos com cimento constituído de marcassita, que ocorre também nas outras litofácies de granulação grossa desta formação.

- Coberturas Recentes

Com espessuras de 4 a 5 m e ocorrência relativamente restrita, acompanham grosseiramente o relevo atual da cidade de São Paulo. Compreendem uma camada basal de conglomerados sobrepostos por argilas arenosas variegadas com seixos dispersos. Neste pacote também estão incluídas as couraças limoníticas que ocorrem no espigão central da cidade e os aterros.