CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS MOVIMENTOS TECTÔNICOS SIN E PÓS-SEDIMENTARES NA BACIA DE SÃO PAULO A PARTIR DE EVIDÊNCIAS OBSERVADAS NAS ESCAVAÇÕES DO TÚNEL DA ELETROPAULO

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF TECTONIC MOVEMENTS DURING AND AFTER THE SEDIMENTATION OF SÃO PAULO BASIN BASED ON GEOLOGICAL OBSERVATIONS DURING THE UNDERGROUND EXCAVATION OF THE ELETROPAULO TUNNEL

Vera M. Cozzolino, Dra. Engª.
Professora Assistente da EPUSP-PEF
Luis Rogério Martinati
Engenheiro da ESTRA Engenharia
André V. DeAnna Buono, MSc.
Geólogo da NATM Engenharia

RESUMO

Na revista Solos e Rochas de Abril, 1992, Vol. 15, nº 1, Cozzolino (1992) apresentou o perfil geotécnico ao longo de um túnel da Eletropaulo de 3,0 m de diâmetro a ser escavado pelo processo N.A.T.M. Este túnel atravessa a região central da cidade de São Paulo numa profundidade de 12 a 15 m, atingindo de 20 a 30 m em pontos isolados, indo desde a ponte da Vila Guilherme até a rua Lavapés, na Várzea do Glicério, numa extensão de cerca de 5,4 km. Atualmente este túnel encontra-se com cerca de 4,9 km já executados, restando um trecho significativo a ser implantado, localizado entre as ruas Claudino Pinto e o rio Tamanduateí. Com o andamento da obra, foram realizadas novas sondagens, com espaçamentos menores que os 60 m de projeto, de maneira a confirmar e delinear mais precisamente as camadas que estão sendo atravessadas. A partir destas sondagens e dos conhecimentos geológicos recentes sobre a estrutura e evolução tectônica da Bacia de São Paulo, pode-se inferir certos comportamentos do maciço, especialmente do ponto de vista hidrogeotécnico, que certamente contribuirão para o estudo dos movimentos tectônicos sin e pós-sedimentares e sua influência na execução de túneis na região da Bacia de São Paulo. Este é o assunto do presente artigo, que inclui: i) a classificação geológica das formações atravessadas pelo túnel; ii) a descrição de sedimentos conglomeráticos, litificados, sobre o afloramento do embasamento e junto à falha; iii) as características geotécnicas e hidráulicas das camadas atravessadas, em especial das "areias basais" fofas a pouco compactas, na área central da cidade; iv) comentários sobre a ocorrência e caracterização das espessas camadas de argila siltosa cinza esverdeada, dura, encontradas no Pari; v) discussão sobre a presença, entre a av. Alcântara Machado e o rio Tamanduateí, de camadas de argila interrompidas abruptamente, rebaixadas entre si, o que leva a supor na ocorrência de rupturas no maciço sedimentar, devido a reativações recentes de falhas do embasamento, sob a Bacia de São Paulo; vi) reexame das causas do baixo pré-adensamento das argilas siltosas variegadas do centro da cidade, em relação ao nível de preenchimento da Bacia de São Paulo, face aos dados geológicos aqui apresentados.

ABSTRACT

In the journal "Solos e Rochas", April, 1992, Vol.15, no.1, Cozzolino (1992), presented the geotechnical soil profile along the Eletropaulo Tunnel, that will be constructed by the N.A.T.M. method. This tunnel crosses the central part of São Paulo City at a depth of 12 to 15 m , reaching in some points 20 to 30 m. The tunnel goes from Vila Guilherme Bridge to Lavapés Street, in the low areas of Glicério, having a lenght of 5,4 km. At present, 4,9 km of the tunnel has been concluded, with a significant part still to be constructed between Claudino Pinto Street and the Tamanduateí River. During the underground excavation it was necessary to make new borings, spaced closer than the 60m called for in the project, in order to confirm and to determine more accuratly the soil layers crossed by the tunnel. These new borings, together with the knowledge brought by recent geological research, about the structure and the tectonic evolution of São Paulo Basin, permited evaluate the ground behaviour, specially from the hydro-geotechnical stand of point. Such data certainly will be useful for the knowledge of tectonic movements that occured during and after Tertiary sedimentation of the São Paulo Basin, as well as for new underground constructions in São Paulo City. This is the subject of the present article, which includes: i) the geological classifications of the underground crossed by the tunnel; ii) the description of conglomeratic lithify sediments found on a bedrock outcrop and near a fault; iii) the hydro-geotechnical characteristics of the soil crossed by the tunnel - specially the loose or fairly-compacted sands named "areias basais" - in central areas of the city; iv) comments about the occurrence and nature of thick layers of hard greenish-gray silty clay in Pari district; v) discussion about the existence of silty clay beds that are abruptly interrupted and partly lowered, between the Alcântara Machado Avenue and the Tamanduateí River. Such fact suggested that the silty clay beds could be disrupted by recent reactivation of faults of the bedrock, lying under São Paulo Sedimentary Basin; vi) reexamination of the origin of low overconsolidation ratio of motley silty clay in the center of the city, in relation to the sedimentation filling level of São Paulo Basin, based on the geological evidence presented here.

1. INTRODUÇÃO

O túnel da Eletropaulo, com extensão de cerca de 5,4 km, desenvolve-se na Bacia Sedimentar de São Paulo, cortando as camadas na direção N-S a uma profundidade de 12 a 15 m e em alguns pontos de 20 a 30 m, sendo escavado pelo processo N.A.T.M. O túnel se inicia próximo à ponte da Vila Guilherme (margem direita do rio Tietê), avança no sentido do Pari pela Av. Carlos de Campos, atravessa sob os trilhos da Fepasa em direção à rua do Gasômetro, cruza as avenidas Rangel Pestana e Alcantâra Machado ao longo da rua Carneiro Leão, corta o rio Tamanduateí na altura da rua Luis Gama, e atinge a ETT Miguel Reale na rua Lavapés, Várzea do Glicério. Na Figura 1 pode-se visualizar o traçado do túnel e sua posição em relação ao rio Tamanduateí e às linhas Norte-Sul e Pari do Metrô.

Segundo Rocha e Celestino (1992), até 1980 a estratigrafia da Bacia de São Paulo era mais baseada em aspectos geotécnicos do que geológicos. Os trabalhos publicados eram carentes de fundamentação geológica e não levavam em conta observações de cunho geológico relevantes (Cozzolino, 1980). Exemplo disto era a ausência do conhecimento dos movimentos tectônicos recentes ocorridos na Bacia de São Paulo. Hoje a hipótese de uma Bacia que foi sucessivamente preenchida por sedimentos, após movimentação tectônica Terciária, está superada. A presença de solos submetidos a movimentos tectônicos sin e pós-sedimentares são de grande importância para a execução de túneis, podendo influir de maneira decisiva nas previsões do comportamento do maciço sob a ação do rebaixamento do lençol freático, processos de escavação e etc. Sendo assim, este artigo tem o objetivo principal de correlacionar os solos de cada Formação atravessada pelo túnel, com os novos conceitos sobre a estratigrafia e tectônica da Bacia de São Paulo, aprimorando os conhecimentos existentes, relativamente à região central da cidade (vide Fig.2).

Cozzolino (1992), na Revista Solos e Rochas, Vol. 15, nº 1, cita a importância dos conhecimentos geológicos ao observar que, entre os trilhos da Fepasa e o ponto onde o túnel corta o rio Tamanduateí, o mesmo se desenvolve no que foi o delta do antigo rio, que corria no mesmo lugar do atual rio Tamanduateí (Takiya, 1991). Isto explicaria a deposição errática de camadas de areias pouco argilosas ou siltosas, ora médias ou finas uniformes, ora de granulação variada, intercaladas por numerosos extratos de areia grossa com pedregulhos finos. A autora observa também que o perfil geotécnico indicaria a existência de um lago entre a região do Pari e uma falha junto a um alto estrutural do embasamento, próximo ao rio Tietê, sugerido pela continuidade e

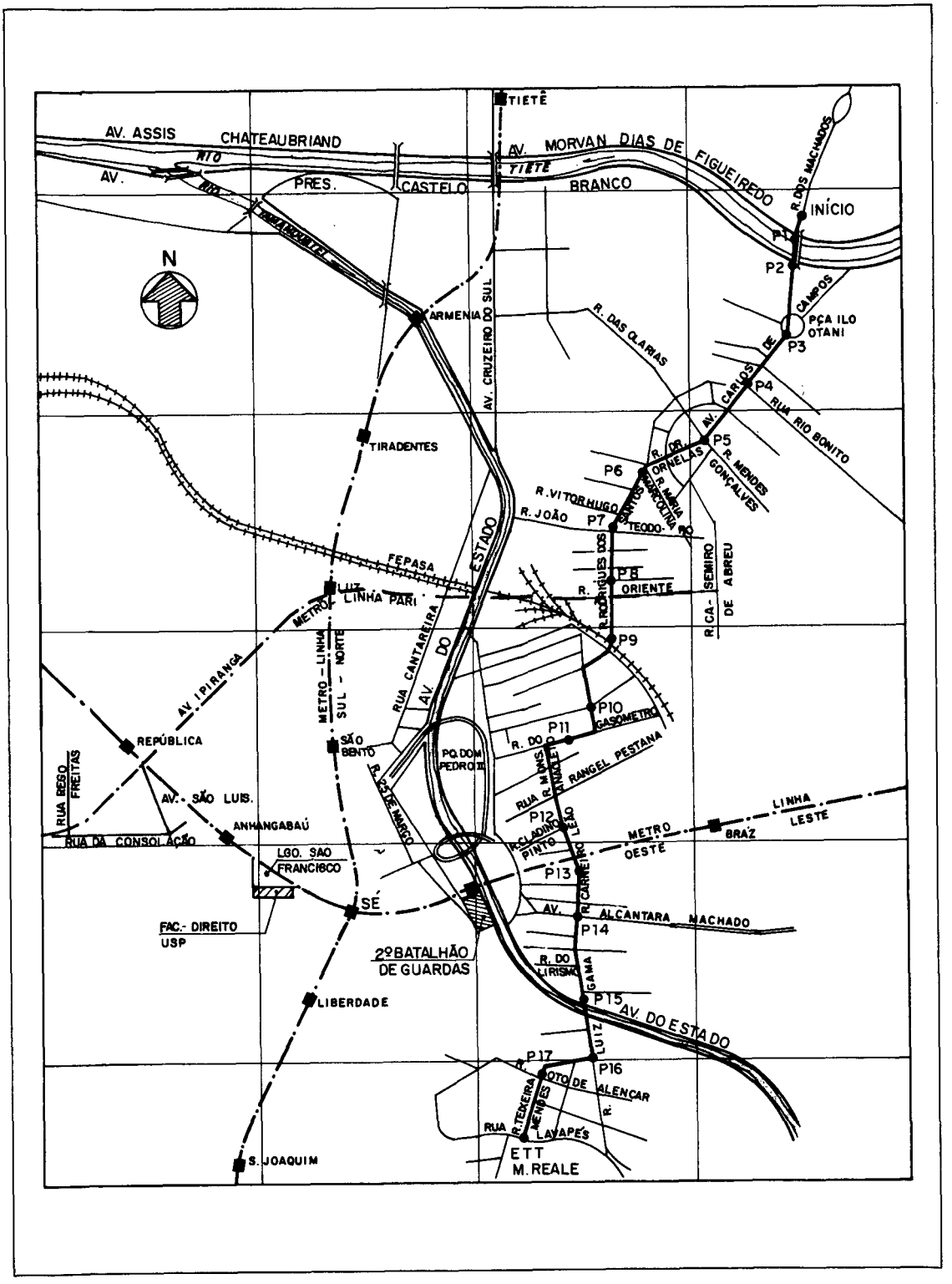

Fig.1 - Localização do eixo do túnel da Eletropaulo entre a várzea do glicério e a Ponte da Vila Guilherme e sua posição com relação às linhas norte-sul e Pari do Metrô.

espessura de uma camada de argila siltosa dura, cinza esverdeada. A presença de um ambiente de deposição mais calmo, tipo lago, nas proximidades dos rios Tietê e Pinheiros também foi evidenciada por vários autores: Vargas (1953, 1992), Cozzolino (1972) (vide Fig.3), Baillot et al(1981), Sadowski (1982) e Yassuda et al (1992) (vide Fig 4).

O perfil do subsolo por onde se desenvolve o túnel da Eletropaulo foi apresentado inicialmente na revista de abril de 1992, segundo uma visão geotécnica. Este perfil somente pode ser atualizado com observações de cunho geológico após o conhecimento adquirido junto à frente de escavação, considerando-se neste caso a estratigrafia e as evidências de movimentos tectônicos recentes na Bacia de São Paulo.

Recentemente, Riccomini (1989) com base principalmente na análise microestrutural e na análise de fácies sedimentares, propôs uma divisão estratigráfica dos sedimentos Terciários e Quaternários da Bacia de São Paulo. Na Figura 2 está apresentada uma complementação do perfil geotécnico ao longo do túnel da Eletropaulo, a luz desta nova divisão estratigráfica.

Durante a escavação nos sedimentos Terciários, várias foram as dificuldades encontradas devido à heterogeneidade e complexidade do maciço. O comportamento geotécnico e hidráulico esperado para os vários trechos do túnel exigiu um acompanhamento detalhado da escavação, associado a uma bateria de sondagens adicionais e aos resultados de ensaios de rebaixamento, realizados ao longo do trecho.

Nas seções do túnel próximas ao trecho ainda por escavar, entre a rua Claudino Pinto e o rio Tamanduateí, foram encontradas camadas de argila abruptamente interrompidas com afluxos localizados de água. Tal fato nos levaria a supor inicialmente que, do ponto de vista hidrogeológico, o maciço sedimentar nesse trecho era fissurado. Graças às novas sondagens, espaçadas de apenas 15 a 30 m e bastante mais profundas, e aos novos conhecimentos que a Geologia vem apresentando sobre a estrutura do embasamento e a evolução do processo sedimentar da Bacia de São Paulo - Suguio (1980), Riccomini et al. (1988 e 1989), Takiya (1991) e Riccomini e Coimbra (1992) - pôde-se supor que esta região foi submetida a movimentos tectônicos recentes, devido à reativação pós-sedimentar de falhas do embasamento rochoso, sob a Bacia, que teriam provocado rupturas e abatimentos de blocos no maciço sedimentar.

Camadas de argila siltosa bruscamente interrompidas foram encontradas na rua Carneiro Leão, esquina com a av. Alcântara Machado e junto do rio Tamanduateí. Neste último local, a 23,5 m de profundidade foi encontrada uma camada de argila siltosa interrompida, estando a parte mais próxima da calha do rio Tamanduateí rebaixada de 4,5 m em relação ao outro bloco. A hipótese de reativação tectônica recente nessa área pode ser confirmada pela presença de "sismitos" (earthquake records - paleoseismograms), registros de abalos sísmicos ocorridos em eras geológicas anteriores, provenientes da liquefação das areias durante estes fenômenos, Buono (1993). Além disso, Riccomini et al (1988) e Riccomini e Coimbra (1992) encontraram uma falha no embasamento rochoso sob o Pq. Dom Pedro II, em frente ao 2º Batalhão de Guardas, exibindo planos cerosos e estriados, que seriam prováveis registros de reativações recentes de uma falha na direção EW, associada a uma possível junção das falhas do rio Pirajussara e Caucaia sob a Bacia (vide Fig.5). Tal falha cortaria o túnel da Eletropaulo exatamente na av. Alcântara Machado. Segundo ainda esses autores, poderia existir uma outra linha de falhamento na direção geral do rio Tamanduateí. De fato, o trecho do túnel da Eletropaulo, onde o solo apresenta espessas camadas de argila interrompidas abruptamente e o maciço arenoso é fissurado, se localiza entre essas duas direções.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA BACIA DE SÃO PAULO

2.1 Geologia Regional

Embora os primeiros trabalhos de reconhecimento da Geologia da Bacia Sedimentar de São Paulo datem do século passado, Mawe (1812) e Pissis (1842 a,b), foi a partir da década de 80 que os estudos sobre o comportamento e gênese desses sedimentos foram intensificados. Um grande avanço para a compreensão da geologia da Bacia foi dada por Riccomini (1989) em sua tese de doutorado, apresentando um modelo de evolução e redefinindo as formações em função dessa evolução. A Bacia de São Paulo é uma unidade do chamado Rift Continental do Sudeste do Brasil - RCSB, que é constituída por diversos blocos abatidos ou soerguidos, cortados por falhas, onde instalaram-se sedimentos Terciários como nas Bacias de Curitiba, Taubaté e Resende, entre outras. A área da Bacia compreende cerca de 5.000 km^2, situada entre as cotas 718 e 835 m de altitude, com formato irregular, em parte limitada por falhas como as de Taxaquara e Jaguari, na borda norte (vide Fig.5).

2.2 Estratigrafia

A nova divisão estratigráfica proposta por Riccomini (1989) privilegiou a representação de um determinado evento ou ambiente de deposição, praticamente

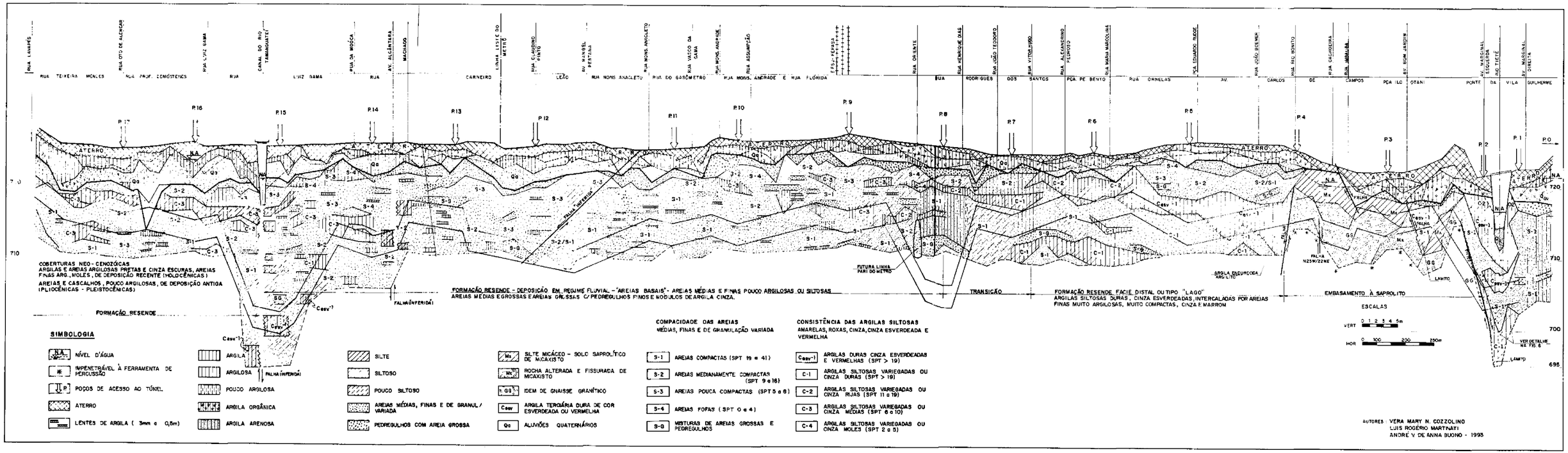

Fig.2 - Perfil geológico-geotécnico ao longo do eixo do túnel da Eletropaulo Várzea do Glicério-Ponte Vila Guilherme (atualizada).

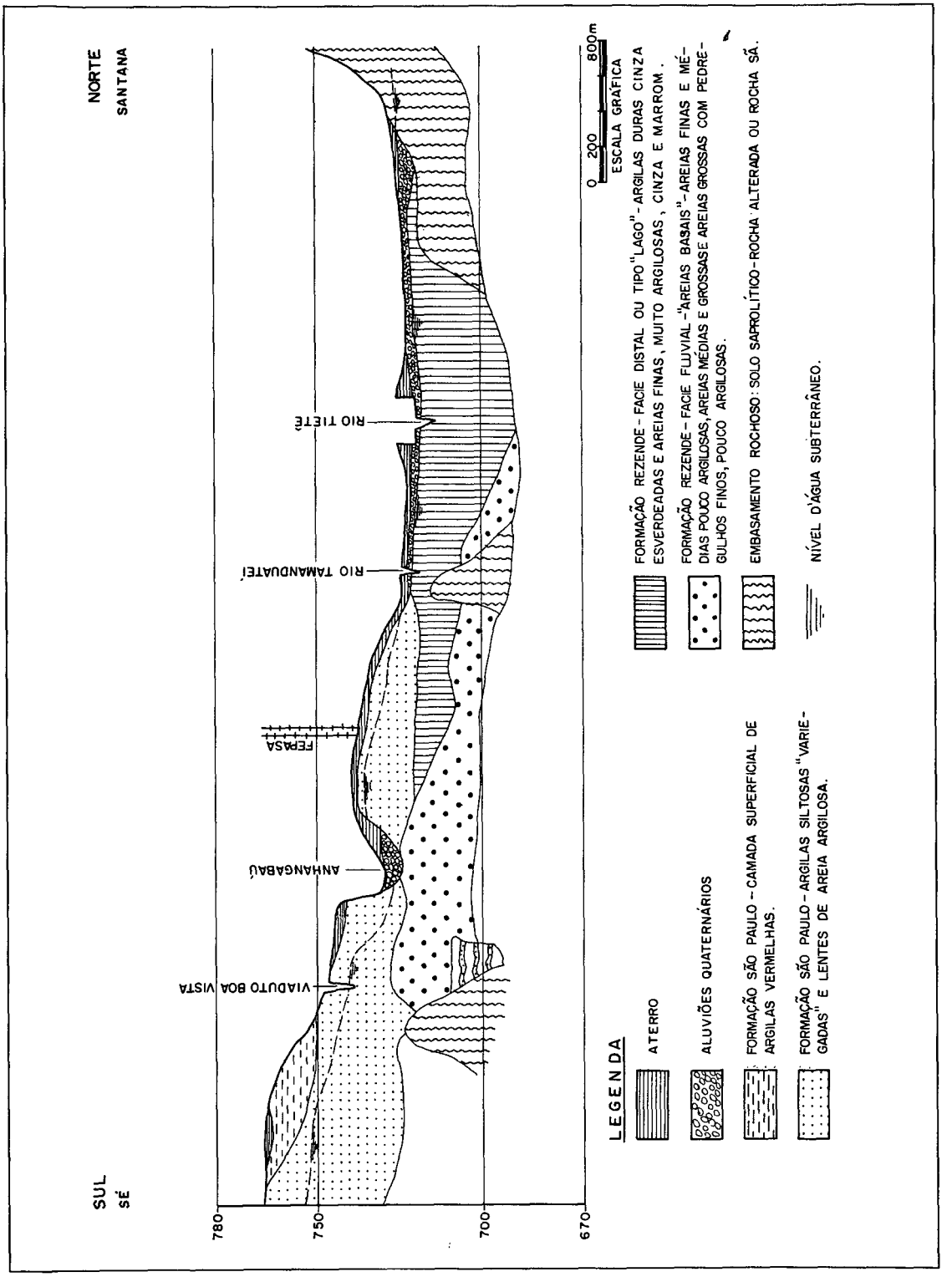

Fig.3 - Corte geotécnico pelos sedimentos da Bacia de São Paulo, segundo o eixo norte-sul da 1ª linha do metrô, apresentado por Cozzolino e Chiossi (1967).

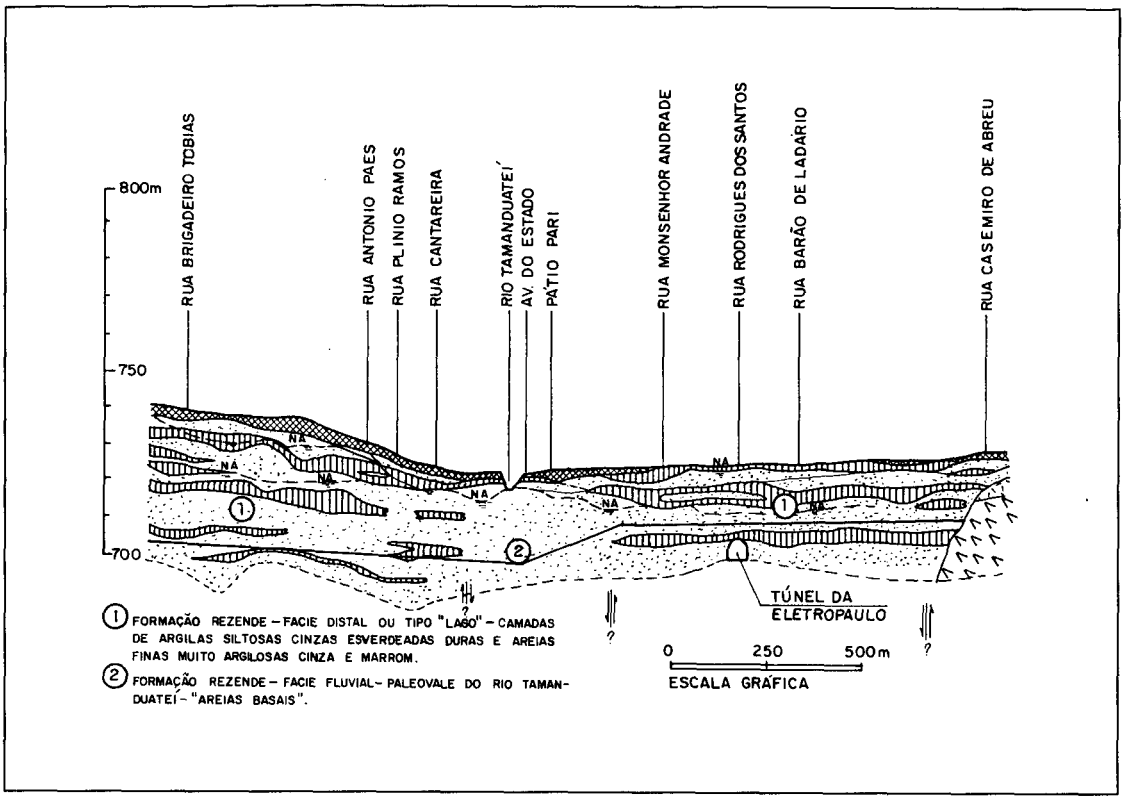

Fig.4 - Perfil geológico-geotécnico preliminar da linha Pari do Metrô (Yassuda, Hori e Rocha, 1992) com classificação geológica das camadas.

abandonando o conceito de que uma Formação precisa necessariamente ser composta por um mesmo material. Os sedimentos da Bacia foram relocados para o Grupo Taubaté, composto pelas Formações São Paulo, Resende e Tremembé. Sobre estes depositaram-se de forma discordante a Formação Itaquaquecetuba e sedimentos Neo-Cenozóicos de aluviões Quaternários antigos (Plio-Pleistocênicos) e recentes (Holocênicos).

2.2.1 Formação Resende

Comumente encontrada abaixo das cotas 720 ou 710 m, compreende a maior parte dos sedimentos da Bacia de São Paulo e é constituída por materiais diversos, desde argilas siltosas cinza esverdeadas, por vezes arenosas, contendo até areias grossas com pedregulhos finos, pouco argilosas. Corresponde a depósitos de leques aluviais que gradam para depósitos de planície aluvial de rios entrelaçados (braided). Assim, próximo à área fonte temos conglomerados com seixos e blocos dispersos em matriz argilosa ou arenosa. Ao caminhar-se em direção ao centro da Bacia, esses sedimentos passam para argilas arenosas e areias finas e médias argilosas com estratificações cruzadas, intercaladas por extratos de areias grossas com pedregulhos finos, pouco argilosos, formando corpos tabulares de dimensão métrica. O grande volume de material argiloso encontrado na Formação Resende, em especial junto aos antigos vales (paleovales) dos rios Tietê e Pinheiros, se deve à existência desse material no espesso manto de intemperismo, que em clima quente e úmido, se desenvolveram sobre as rochas granitóides que circundavam a Bacia (Leinz, 1955; Wernick, 1966; Hasui et al., 1976 a e b; Riccomini, 1989). A cor destes sedimentos seria originalmente cinza esverdeada, mas deposições de óxidos de ferro imprimem também cores marrom e amarelo.

2.2.2 Formação Tremembé

É constituída por camadas tabulares de argilas verdes maciças intercaladas por argila cinza-escuro a preta, rica em matéria orgânica, com espessuras decimétricas. As primeiras descrições desta Formação foram possíveis a partir das escavações

da Estação Barra Funda do Metrô, IPT (1986) e Melo et al (1986), tendo sido correlacionada por Riccomini (1989) a depósitos semelhantes, de origem lacustre, da Formação Tremembé, encontradas na porção central da Bacia de Taubaté.

2.2.3 Formação São Paulo

São sedimentos depositados em um sistema fluvial meandrante, constituídos de camadas alternadas de areias médias e finas argilosas e argilas siltosas e arenosas, apresentando cores vermelha, roxa, rosa, amarela e branca, daí terem sido chamadas de "argilas variegadas". Essas cores são secundárias e foram provocadas por processos de hidrólise e oxidação (evolução pedológica), devido à percolação de água subterrânea a que estes solos foram submetidos, uma vez que ocorrem sempre acima da cota 720 m, estando o nível de base de drenagem da Bacia na cota 718 m, na confluência dos rios Tietê e Pinheiros. Nesta Formação existem dois litofácies principais: o primeiro engloba os termos mais grosseiros e os sedimentos de canais meandrantes com pequenas lagoas, originadas pelo abandono de meandros e migração lateral do canal. O outro litofácie é formado por areias médias a grossas gradando para siltes e argilas. Apresentam caráter rítmico, com estratificações plano-paralelas horizontais e grande persistência lateral. Estes sedimentos seriam originados pela ruptura de diques marginais e pela deposição em planícies de inundação. As camadas superiores da Bacia, acima da cota 790 m, são constituídas predominantemente por siltes e argilas, o que indicaria uma mudança climática para condições mais úmidas, associada também a um período de calmaria tectônica.

2.2.4 Coberturas NeoCenozóicas

Sob esta designação agrupa-se um conjunto de depósitos colúvio-aluviais de idades desde o fim do Terciário (Plioceno) ou do começo do Quaternário (Pleistoceno), até o Quaternário recente (Holoceno). Os sedimentos Quaternários recentes, com ampla distribuição ao longo da Bacia, recobrem as formações anteriores e constituem um pacote de 2 a 5 m na região do túnel, e raramente ultrapassam os 10 m de espessura em toda a Bacia de São Paulo. São constituídas basicamente de argilas e argilas silto-arenosas orgânicas pretas ou cinza escuras, moles a muito moles, areias finas argilosas cinza escuro e areias com cascalhos, cinza escuro. Os sedimentos Quaternários antigos são constituídos por areias grossas e cascalhos finos, médios e grossos, arredondados, de 0,5 a 10,0 cm de diâmetro, pouco argilosas, cinza claro, com espessura da ordem de 0,5 a 3 m, Ab'Saber (1957).

3. CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS E HIDRÁULICAS DAS CAMADAS ATRAVESSADAS PELO TÚNEL

3.1 Considerações Gerais

O traçado por onde se desenvolve o túnel permitiu cortar a Bacia numa direção aproximadamente NS, partindo do rio Tietê e cortando, em parte do traçado, o paleovale do rio Tamanduateí, até atingir o início da colina da Aclimação. O solo atravessado pelo túnel é constituído basicamente pelos sedimentos da Formação Resende do Terciário de São Paulo. A posição do lençol freático ao longo do traçado é superficial, exigindo rebaixamento através de poços profundos e/ou drenos internos.

Durante a execução da obra verificou-se a presença de areias fofas a pouco compactas entre a rua Claudino Pinto e o rio Tamanduateí, logo abaixo dos depósitos Quaternários antigos. A existência dessas "areias basais" fofas já tinham sido confirmadas na região central da cidade, no Pq. D. Pedro II, Lgo São Francisco, rua São Luiz e na av. Ipiranga, por Vargas (1948, 1953, 1971 e 1989) e Teixeira (1970).

Verificou-se também que as areias grossas com cascalhos do Quaternário antigo, ao contrário do que as sondagens faziam supor, continham grande número de seixos arredondados, de 2 a 10 cm de diâmetro de quartzo, quartzito e gnaisse. Em alguns trechos, essas areias apresentaram um grande número de grãos brancos de caulim e grãos pretos de turmalina. Por ocasião do rebaixamento do lençol freático, nos locais em que a camada de areia com cascalhos era de grande espessura, confirmou-se que a mesma se comportava como um grande aquífero, fornecendo permeabilidades da ordem de 10^{-1} cm/seg e não os 10^{-2} cm/seg, como as curvas granulométricas obtidas de amostras extraídas pelo amostrador SPT faziam supor (vide Fig.7).

Convém aqui observar que a classificação das areias, descrita no texto, foi realizada segundo o critério do MIT, com as areias finas correspondendo a grãos com diâmetro entre 0,06 e 0,2 mm, as areias médias a diâmetros entre 0,2 e 0,6 mm e as areias grossas a diâmetros entre 0,6 e 2,0 mm . Os pedregulhos finos correspondem a diâmetros entre 2,0 e 6,0 mm, os médios, entre 6,0 e 20,0 mm e os grossos, entre 20 e 60 mm.

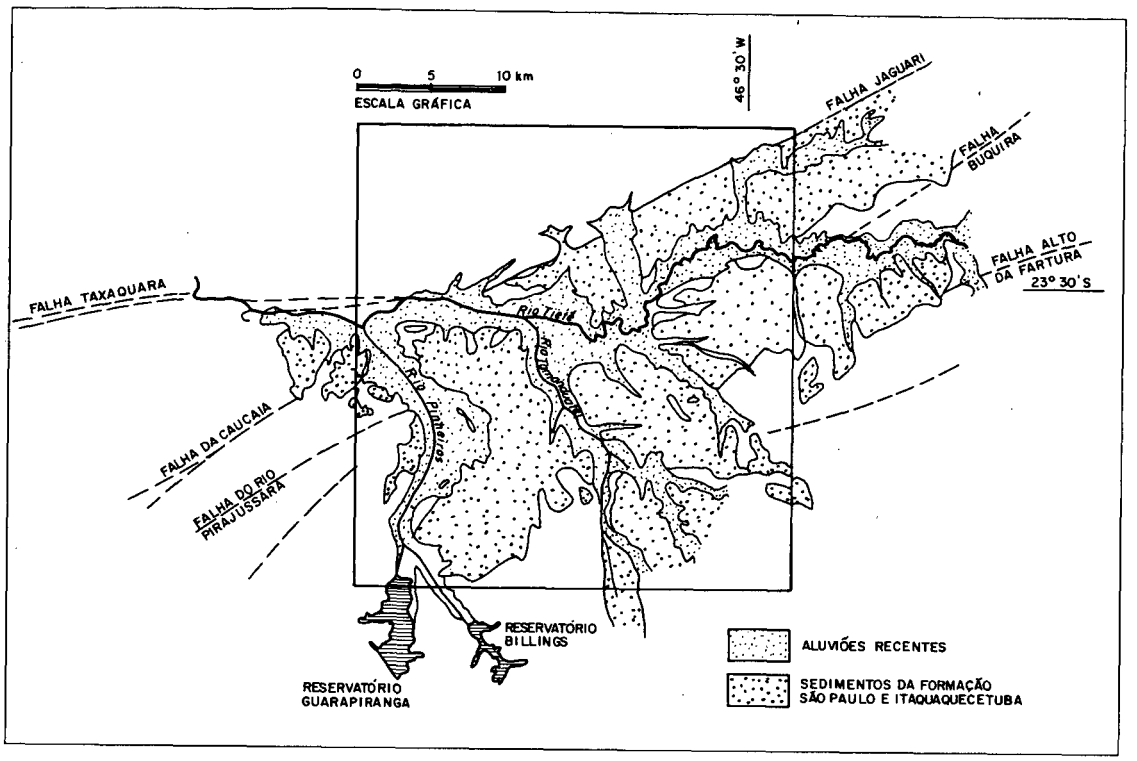

Fig.5 - Mapa da Bacia de São Paulo com a localização das principais falhas que cortam o embasamento (desenho modificado de Coutinho, 1980, de Takyia et al., 1989).

3.2 Descrição Geológica-Geotécnica dos Trechos Atravessados

A partir da análise do perfil do subsolo, foi possível definir alguns trechos com características geológicas distintas, interpretados por diferentes fácies da Formação Resende e uma elevação do embasamento estrutural. De modo a facilitar a visualização, começaremos nossa descrição a partir do alto estrutural situado entre a rua Rio Bonito e a Marginal Esquerda do Rio Tietê (vide Fig. 2).

O embasamento no local é constituído por um gnaisse, com bandas métricas ricas em biotita (mica) intercaladas a bandas decimétricas a métricas de quartzo e feldspato; predominam as direções NE e NW como caimento geral do bandamento. As bandas apresentam-se redobradas e a rocha bastante fraturada. O perfil mostra a presença de pelo menos dois blocos distintos com deslocamentos de grande componente vertical. No primeiro bloco, entre as ruas Rio Bonito e Imbaúba, o gnaisse é aflorante, estando pouco a nada alterado, o que obrigou ao desmonte a fogo. Dentro desse bloco pode-se observar uma falha normal, possível reativação de uma antiga falha reversa, com orientação N25W/22NE. Nota-se a intensa milonitização do gnaisse, próximo ao plano deste falhamento. O segundo bloco, abatido em relação ao anterior, apresenta um gnaisse bastante alterado, de baixa resistência, desagregando-se facilmente na forma de areia grossa, instável sob a ação de baixos gradientes hidráulicos. Sobre este bloco encontram-se depósitos de cascalhos do Quaternário antigo e argilas orgânicas moles de deposição mais recente.

Comparando o perfil geológico-geotécnico desse túnel com o perfil da linha NS do Metrô, Figuras 2 e 3, nota-se que o alto estrutural do embasamento e o afloramento no perfil da linha NS, sob o rio Tamanduateí, definiria um bloco contínuo, elevado por falhamentos que se desenvolveriam paralelamente ao vale do rio Tietê (vide Fig1).

A partir da rua Bom Jardim até a Marginal Esquerda, encontramos uma argila arenosa cinza esverdeada com concreções de limonita marrom e cinza esverdeada, litificadas, constituindo-se em "lamito" argiloso ou arenoso, assente sobre gnaisse pouco alterado. Nesse contato observa-se blocos de gnaisse arrancados da paleosuperfície e envolvidos pelo "lamito". Sobrejacente ao "lamito" encontra-se uma camada de cascalhos na base e outra de argila

orgânica mole, preta, no topo.

Entre a Marginal Esquerda do rio Tietê, até pouco além da alça da ponte da Vila Guilherme, na margem direita do rio, onde se inicia o túnel, descobriu-se uma "micro-bacia do rio Tietê". É bastante claro no perfil (Figs.2 e 6), que a partir da margem esquerda ocorre um mergulho brusco do embasamento gnáissico, o que só pode ser explicado por uma falha, com grande deslocamento vertical, estando o leito atual do rio Tietê sobre um bloco do embasamento bastante abatido. A elevação do embasamento na margem esquerda e o abatimento do bloco sob o rio Tietê, criou nessa margem uma feição localizada, típica de deposição de borda ativa. Junto ao embasamento foram encontrados "lamitos" com matriz argilo-arenosa, ricos em seixos e blocos de quartzo cinza e gnaisse alterado, angulosos e subangulosos. Em meio a matriz também são encontrados cristais centimétricos de quartzo e feldspato róseo e branco pouco alterados. Estes sedimentos imaturos, textural e mineralogicamente, indicam uma deposição rápida com transporte por pequena distância, resultante de movimentos tectônicos sinsedimentares. Os "lamitos" assentam-se diretamente sobre o embasamento, em contato erosivo bastante irregular. A cor predominante desses "lamitos" é o cinza claro a esbranquiçado, embora nas proximidades da Marginal Esquerda apresentasse cor cinza azulada a esverdeada. Uma característica que chamou a atenção neste material foi sua grande resistência mecânica.

Os sedimentos na margem esquerda diferem substancialmente da margem direita. Avançando-se em direção a margem direita observa-se a diminuição gradual dos blocos dispersos e do teor de argila da matriz, transformando-se em areia argilosa (vide Fig. 6). Sobre o "lamito" foi depositada uma camada de areia grossa com pedregulhos; próximo a borda esta camada possui uma espessura de apenas 5 a 10 cm, mas no centro desta "micro-bacia" atinge a espessura de até 1m, gradando para areia média a grossa com pedregulhos esparsos. Entre os pedregulhos encontram-se blocos de "lamito", argila cinza azulada, gnaisse e quartzo cinza. A partir do centro do rio Tietê em direção a margem direita predominam as areias com estratificações cruzadas, sendo a sedimentação de borda ativa de bacia substituída por uma sedimentação fluvial, com camadas de argila siltosa cinza esverdeado, duras, intercaladas a camadas de areia. A presença dos "lamitos" indica que estes sedimentos pertencem a Formação Resende "fácie proximal", tendendo para "fácie fluvial" a partir da marginal direita.

Da rua Rio Bonito até a rua Victor Hugo (vide Fig.2) aparece uma camada de argila siltosa, pouco arenosa, cinza esverdeada, dura a muito dura, com 4 a 8 m de espessura, sob a qual há uma camada uniforme de areia fina muito argilosa, cinza, marrom e amarelada, compacta a muito compacta. A presença de grandes espessuras de argila siltosa e areias finas uniformes muito argilosas, indicariam um ambiente de deposição tipo "lago" a uma grande distância da área fonte, o que levou-nos a classificar esses sedimentos como pertencentes à Formação Resende "fácie distal", no qual as torrentes aqüosas chegariam com pouca força, carregando apenas as partículas mais finas. Outra descrição possível seria a existência de uma grande área alagada com sedimentação semelhante a de um lago. A grande continuidade lateral das camadas de argila siltosa na várzea do rio Tietê é confirmada pelo perfil geotécnico de Yassuda et al (1992), Figura 4.

Próximo à rua Rio Bonito, a camada da argila siltosa está em contato com a falha do embasamento. A partir desse contato, numa distância aproximada de 50 m adjacente, a argila siltosa se apresenta endurecida, "litificada" , com resistência a penetração SPT da ordem de 50 golpes, podendo ser considerada, em termos geotécnicos correntes, como um "argilito". Nesta região, a argila siltosa apresenta manchas de óxido de ferro, de um vermelho muito vivo. Aparentemente, os movimentos que soergueram o embasamento nesta região foram posteriores a deposição Terciária, pois esses sedimentos são substancialmente diferentes daqueles de borda ativa. A ausência de sedimentos grosseiros próximos à falha, bem como a interrupção brusca de todas as camadas, indicam que estes sedimentos já estavam depositados quando o embasamento foi soerguido.

Da rua Victor Hugo até a rua Oriente temos uma região de transição entre uma área de deposição distal ou lacustre para outra de deposição fluvial, de um ambiente de deposição calmo, de sedimentação homogênea, para um ambiente onde predominam os materiais arenosos e as camadas de argila siltosa são menos espessas e sem continuidade lateral. A Formação Resende "fácie fluvial", que praticamente entulhou os paleovales de areias médias e finas pouco argilosas ou siltosas, e de areias grossas e médias ou areias grossas com pedregulhos finos, corresponde às chamadas "areias basais".

A escavação do túnel neste trecho se desenvolveu principalmente em areias finas e médias argilosas, compactas, de cor marrom à cinza amarelado, sendo encontrados alguns extratos de areia grossa com pedregulhos finos, pouco argilosos. Durante a escavação do trecho próximo a rua Oriente foram encontrados, no maciço arenoso, grande número de

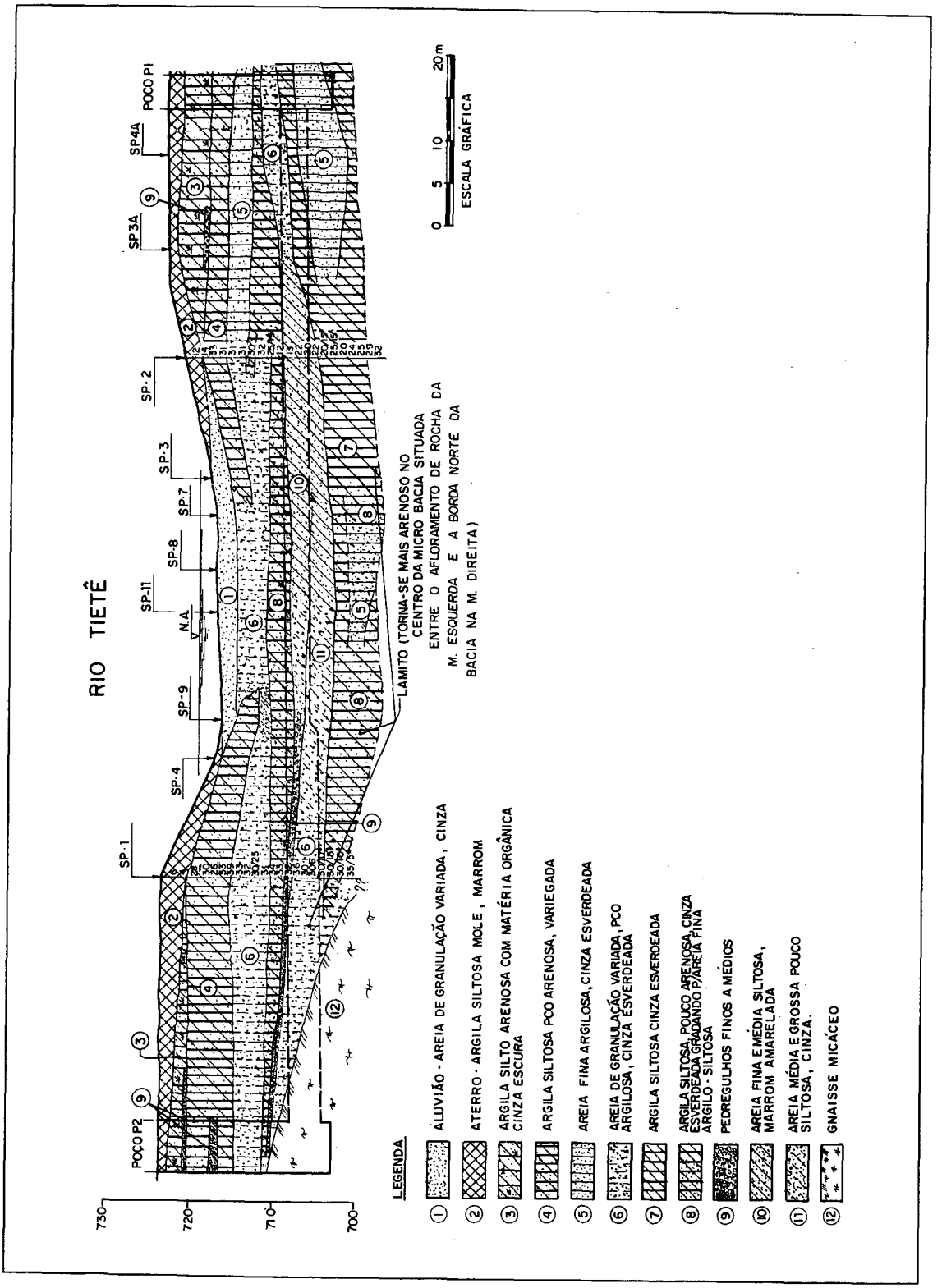

Fig.6 - Travessia sobre o Rio Tietê ao lado da Ponte Vila Guilherme - perfil geológico-geotécnico.

fragmentos arredondados de argila siltosa cinza esverdeada, com diâmetro da ordem de 10 cm, sendo que um deles, de forma esférica , apresentava-se com diâmetro de cerca de 1m. Os autores sugerem a possibilidade de que estes blocos tenham se desprendido das camadas de argila local durante abalos sísmicos e transportados por pequenas distâncias.

A partir da rua Oriente até a rua Claudino Pinto, nota-se claramente a passagem para as "areias basais" da Formação Resende, "fácie fluvial". A transição para o trecho de predominância de areias de granulação variada, pouco siltosas, cinza e amarelas, medianamente a pouco compactas até 15m de profundidade, torna-se mais evidente a partir da rua do Gasômetro, onde é mais rara a presença de lentes de argila. Nas proximidades da rua Monsenhor Andrade e da rua do Gasômetro foram encontrados troncos de árvores em processo de carbonização, parcialmente recobertos por pirita, depositados junto com areias grossas. Alguns segmentos de troncos apresentaram comprimentos de cerca de 1 m e diâmetros de até 80 cm, evidenciando que apesar do clima semi-árido, atribuído para maior parte do Terciário, havia vegetação de grande porte, pelo menos próximo aos canais, que teria sido arrancada pelas chuvas torrenciais e rapidamente encoberta pelo grande volume de material trazido por estas torrentes. Neste mesmo trecho encontra-se na base do túnel, a 19 m de profundidade, uma camada de argila orgânica Terciária, rica em fósseis vegetais. Inicialmente acreditou-se tratar de uma camada da Formação Tremembé (lacustre); no entanto, existem diversas dúvidas a respeito, pois a presença de areia não é compatível com o ambiente extremamente calmo de deposição da Formação Tremembé. Todo esse trecho foi escavado em areias pouco siltosas compactas (vide Fig.2).

Da rua Claudino Pinto até a av. Alcântara Machado, a Formação Resende , "fácie fluvial", com 10 a 15 m de profundidade, é constituída por areias de granulação variada, pouco siltosas, fofas a pouco compactas, de cor cinza clara ("areias basais"). Esta cor é devido a presença de grande número de grãos brancos de feldspato alterado-caulim. Acima do Terciário encontramos uma camada de areias grossas com cascalhos do Quaternário antigo, com espessura de 1,5 a 3,0 m, chegando a 5,0 m nas proximidades da rua Claudino Pinto. Nesse horizonte as areias também contém caulim desde a rua Monsenhor Andrade até a rua Rio Bonito.

Foi neste trecho que começaram a aparecer no túnel infiltrações intensas de água por caminhos preferenciais de percolação e camadas de argila siltosa bruscamente interrompidas. A hipótese de que tais fatos estivessem relacionados com fissuramentos no maciço sedimentar, provocados por reativações tectônicas recentes, no embasamento rochoso, baseou-se inicialmente no fato de Riccomini et al. (1988) ter encontrado no Pq. D.Pedro II, na margem esquerda do rio Tamanduateí, sedimentos Terciários arenosos com cascalhos conglomeráticos, extremamente litificados por hidrotermalismo, assentes sobre o embasamento rochoso. Sondagens rotativas especiais levadas até a rocha, situada entre 9,8 e 16,8 m de profundidade, encontraram um milonito-gnaisse, exibindo planos cerosos e estriados, prováveis registros de reativações tectônicas pós-sedimentares, de falha no embasamento, sob a Bacia de São Paulo, que segundo Riccomini e Coimbra (1992), teria uma orientação EW. Uma linha reta traçada na direção EW, a partir do 2º Batalhão de Guardas (vide Fig.1), corta o túnel exatamente no cruzamento da av. Alcântara Machado com a rua Carneiro Leão.

O estudo das contribuições recentes da Geologia, na área da estratigrafia e tectonismo da Bacia de São Paulo, apresentados por Takyia (1989) em sua dissertação de Mestrado, na qual comprova a continuidade das falhas existentes nos arredores da cidade, no embasamento rochoso, sob os sedimentos da Bacia, somente vem reforçar a hipótese de que o maciço sedimentar é fissurado, entre a rua Claudino Pinto e o canal do rio Tamanduateí, com rupturas e afundamentos de blocos das camadas de argila siltosa, devido a reativações tectônicas pós-sedimentares de falhas do embasamento.

Junto à margem direita do rio Tamanduateí, entre o poço P.15 (vide Fig.2) e o canal do rio, uma série de sondagens, espaçadas de 15 a 30 m, indicaram que uma camada de argila siltosa dura, cinza e amarela, com 3,5 m de espessura, situada a 23,5 m de profundidade, se encontrava interrompida e rebaixada de 4,5 m em relação ao outro bloco. Isso demonstra que o maciço sedimentar continua a se apresentar fissurado e descontínuo até grandes profundidades.

Na escavação do túnel a partir do emboque no poço P.16 em direção ao poço P.15, margem esquerda do rio Tamanduateí, sob a rua Prof. Demostenes (vide Fig. 2), o Geólogo Buono (1993), a 200 m do leito do rio, havia encontrado e fotografado a ocorrência de "sismitos" (earthquake record ou paleoseismogram, segundo o Glossary of Geology, 1987), o que confirmaria a hipótese de origem tectônica para as fissuras no maciço sedimentar e a interrupção brusca, vertical, das camadas de argila siltosa, no trecho em questão. O "sismito" é uma feição geológica que consiste em se encontrar fragmentos de uma camada delgada de argila, transportadas a alguns decímetros de distância, por uma "língua de

areia". Isto ocorre devido a liquefação da areia, durante abalos sísmicos violentos. Uma estrutura da mesma natureza foi observada pelo Geólogo Buono em área adjacente, numa camada de argila siltosa roxa e vermelha, rija, de 3 m de espessura, situada na geratriz superior do túnel, cuja base estava rompida por veios subverticais de areia com 20 a 30 cm de espessura.

Recentemente foi encontrada por Riccomini e Coimbra (1992) uma nova ocorrência de sedimentos arenosos, localmente conglomeráticos, hidrotermalizados, na av. Prof. Ignácio de Anhaia Mello (Vila Prudente), na margem esquerda do vale do rio Tamanduateí (ainda não analisada). Segundo os autores, a associação desta nova ocorrência na Vila Prudente com a do Pq. D. Pedro II, definiria uma falha na direção NW, nitidamente delineada pela distribuição dos sedimentos Quaternários ao longo do rio Tamanduateí. Concluindo, pode-se observar que o trecho do túnel, em que o maciço sedimentar se apresenta fissurado, situa-se exatamente entre essas duas direções de falhamentos, EW e NW (vide Figs. 1 e 2).

Da margem esquerda do rio Tamanduateí, até a rua Lavapés, onde se encontra a ETT Miguel Reale, as camadas de argila siltosa se apresentam novamente com continuidade longitudinal e apesar de se situarem abaixo da cota 720 m, apresentam cores roxas, vermelhas e amarelas. Como se sabe, essas cores são secundárias e provenientes de fenômenos de oxidação e hidrólise, o que só poderia ocorrer na zona de percolação da Bacia, acima do nível de base situado na cota 718 m, na confluência dos rios Tietê e Pinheiros, e portanto pertencente à Formação São Paulo. Abaixo dessa cota, ou da cota

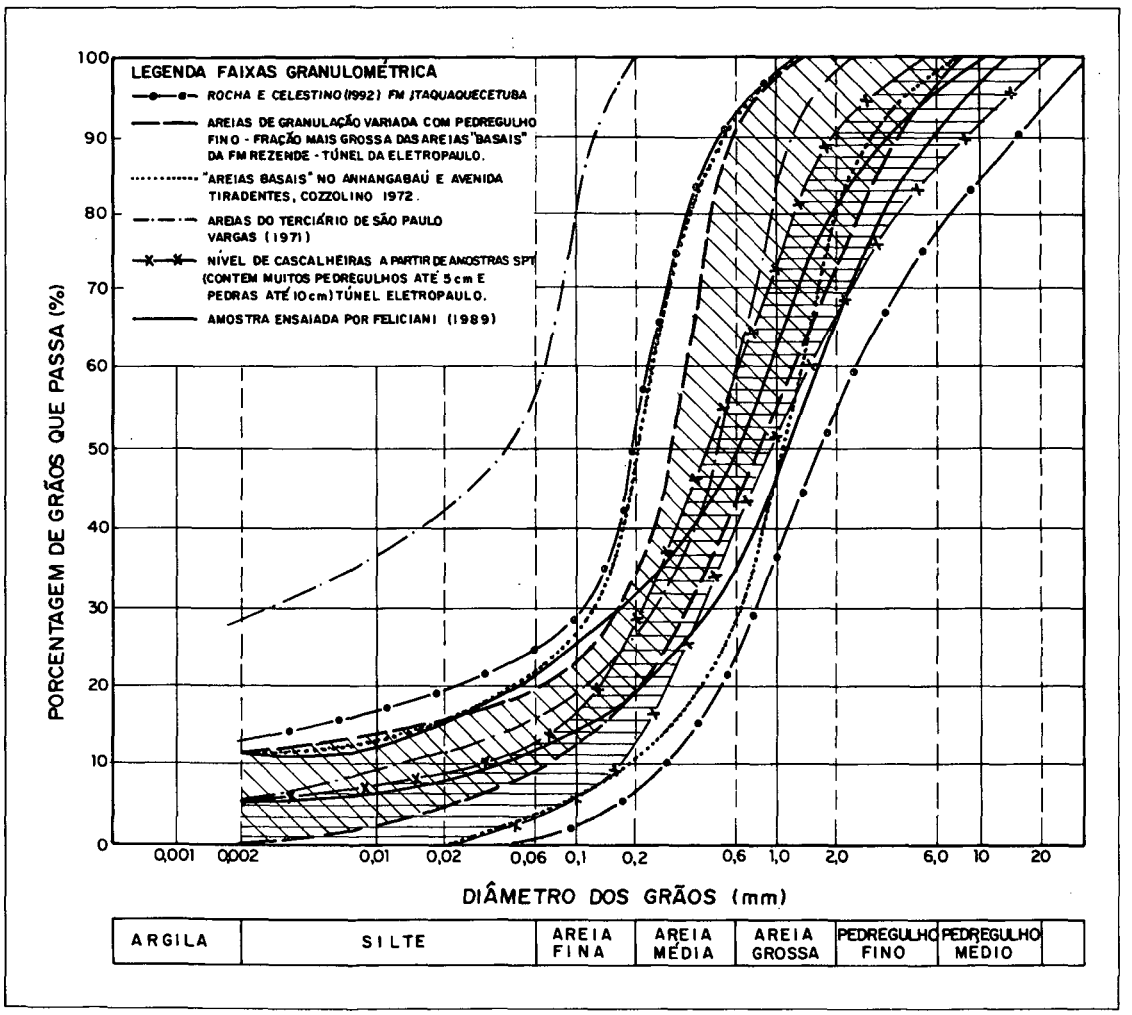

Fig.7 - Granulometria das areias do Terciário de São Paulo.

710 m, correspondente ao nível em que o rio Tietê transpõe a soleira granítica de Barueri, os sedimentos da Bacia de São Paulo permaneceram sempre abaixo do nível d'água, e apresentariam sua cor original cinza ou cinza amarelado e cinza marrom, devido à presença de depósitos de óxidos de ferro - limonita. Portanto, a existência de camadas de argilas roxas e vermelhas desde a margem direita do rio Tamanduateí até a Várzea do Glicério poderia confirmar a hipótese feita por Fernando de Almeida, na década de 50, de que teria havido um abatimento de bloco na região central da cidade, que inclusive teria dado origem à formação da Várzea do Glicério. Isto explicaria porque enquanto as argilas siltosas duras dos vales dos rios Tietê e Pinheiros apresentam um pré-adensamento compatível com o nível de preenchimento da Bacia, cota 835 m, na região central da cidade, o pré-adensamento das camadas de argila siltosa variegada corresponde a uma cota de preenchimento de aproximadamente 745 m. Esse fato levou Mílton Vargas (1953,1971) a supor que na região central da cidade houvera uma grande erosão e um segundo ciclo de sedimentação.

Na rua Lavapés, próximo à colina da Aclimação, o túnel atravessa camadas de argila siltosa e areias argilosas, variegadas, pertencentes à Formação São Paulo.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Com base no exposto acima, verifica-se que os conhecimentos adquiridos e as evidências observadas durante a escavação do túnel da Eletropaulo se constituem numa contribuição substancial para o estudo geológico e geotécnico da Bacia de São Paulo, e que certamente servirão de subsídio para novos projetos de obras subterrâneas. A seguir são apresentados alguns comentários, sobre os assuntos tratados neste artigo.

1. Percebe-se claramente com este trabalho que as evidências de tectonismo na Bacia de São Paulo, que recentemente começaram a ganhar importância nas publicações técnicas, não podem ser desprezadas no planejamento e execução de obras subterrâneas, pois apresentam uma influência marcante na estrutura do maciço sedimentar e sobre seu comportamento hidro-geotécnico.

2. Durante a escavação do túnel foram encontradas situações e comportamentos particulares do solo, que não poderiam ser previstas a partir das amostras obtidas no amostrador SPT e da resistência à penetração. A presença de sedimentos endurecidos de matriz argilosa ("lamitos") e de rochas metamórficas, que necessitam para sua escavação de equipamentos mais pesados ou explosivos, não são facilmente identificados a partir do índice SPT ou do material recuperado no amostrador.

3. Os conhecimentos geológicos disponíveis até 1989 eram insuficientes para explicar a presença de fissuras no maciço, a interrupção brusca de camadas de argila e a existência de argilas pedologicamente evoluídas, de cores roxa, vermelha e amarela, abaixo da cota 720 ou 710 m, como ocorre na rua Carneiro Leão e Luiz Gama, entre a av. Alcântara Machado e a margem esquerda do rio Tamanduateí.

4. A descoberta realizada por Riccomini et al (1988) de uma falha no embasamento junto à margem esquerda do rio Tamanduateí, em frente ao 2º Batalhão de Guardas, associada a sedimentos Terciários hidrotermalizados, levaram esses autores a pensarem numa possível junção dos falhamentos do rio Pirajussara e Caucaia, com direção EW. O aparecimento de infiltrações por caminhos preferenciais de percolação, e camadas de argila interrompidas segundo uma linha vertical, surgiram na região da av. Alcântara Machado, justamente o ponto onde a falha, com direção provável EW, interceptaria o alinhamento do túnel, partindo do ponto pesquisado por Riccomini et al (1988). Já a ruptura e abatimento de camadas de argila sob o canal atual do rio Tamanduateí estariam associadas à reativações recentes de falha ao longo do vale do rio Tamanduateí (Riccomini e Coimbra, 1992).

5. A autora senior considera que, face à comprovação de movimentos tectônicos pós-sedimentares na escavação do túnel, como os "sismitos" (earthquake records ou paleoseismogram), estaria confirmada a hipótese de Fernando de Almeida, de que um abalo sísmico com abatimento de blocos teria ocorrido na região do centro da cidade, inclusive dando origem à Várzea do Glicério. Isto explicaria o fato das pressões de pré-adensamento das argilas siltosas variegadas do centro da cidade se correlacionarem à cota 745 m, enquanto as argilas siltosas duras , cinza esverdeadas, apresentam um pré-adensamento que corresponde aproximadamente a cota 835 m, Vargas (1953, 1971).

Provavelmente esses abalos tectônicos teriam também sido responsáveis pela existência, no centro da cidade, de um alinhamento passando pela rua Carneiro Leão, esquina com a av. Alcântara Machado; Pq. D.Pedro II, defronte ao 2º Batalhão de Guardas; edifício novo da Faculdade de Direito da USP, no Largo São Francisco e rua da Consolação, entre a av. Ipiranga e a rua Rego Freitas, onde são encontradas "areias basais" fofas a pouco compactas, com resistência à penetração da ordem de 6 a 7 golpes SPT, até as profundidades atingindas pelas sondagens,

(40 m na Rua Rego Freitas, segundo Rocha - Linha Consolação-Rebouças do Metrô). A presença dessas areias fofas a pouco compactas, no centro da cidade, causaram muitos problemas de fundações, como foi relatado por Vargas (1948, 1953, 1971, 1989) e Teixeira (1970), entre outros.

6. Cabe aqui alguns comentários sobre as espessas camadas de argilas cinza esverdeadas que ocorrem nos vales do rio Tietê e Pinheiros, encontradas sempre abaixo da cota 710 m. No caso do túnel da Eletropaulo, a espessura máxima encontrada foi de 8,0 m, em comparação aos 12 m encontrados sob a calha do rio Tietê e 15 m no vale do rio Pinheiros. Comparando o perfil geológico-geotécnico da linha Pari do Metrô (Fig. 4), que corta o túnel da Eletropaulo na altura da rua Oriente, com o perfil deste último (Fig. 2), pode-se observar a grande continuidade lateral dessas camadas de argila. As argilas siltosas cinza esverdeado, duras, se apresentam fissuradas, com fissuras fechadas, com desenvolvimento que vai de poucos milímetros a quase 1,0 m, com faces geralmente oxidadas, Baillot et al (1981). Sadowski (1982) refere-se também a juntas com superfícies polidas e estriadas. O autor atribui grande parte dessas fissuras a fenômenos atectônicos, como o produzido pelo alívio de tensões verticais, devido à erosão das camadas superiores e a manutenção das tensões horizontais. Já outras fissuras que segundo Sadowski (1982) afetam também as rochas do embasamento e os pacotes sedimentares sobrejacentes poderiam, segundo nós, serem atribuídas a movimentos tectônicos pós-sedimentares.

7. O comportamento hidro-geotécnico da camada de cascalhos (depósitos aluvionares Quaternários antigos) não pode ser previsto a partir das amostras obtidas no amostrador SPT, já que seixos maiores, de 2 a 10 cm de diâmetro não são recuperados, dando uma idéia que estes sedimentos são constituídos apenas por areias grossas com pedregulhos finos e médios. Após a escavação dos poços de acesso ao túnel, em locais onde o nível de cascalhos era bastante espesso, confirmou-se a importância desses sedimentos como aquífero, capaz de fornecer vazões altíssimas e permeabilidade da ordem de 10^{-1}cm/seg.

8. Por fim, deve-se comentar que as escavações de túneis em N.A.T.M. ao longo da Bacia de São Paulo, especialmente nas partes baixas, onde se situam as "areias basais", continua a ser um desafio à engenharia de túneis, exigindo dos especialistas a adoção de soluções inovadoras e criativas. A distribuição errática dos depósitos atravessados pelo túnel da Eletropaulo demonstraram a dificuldade em se estabelecer um modelo único para cada tipo de formação, exigindo um acompanhamento técnico preciso e diário, com tomadas de decisões baseadas no conhecimento adquirido junto a frente de escavação.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Moreira Maffei, projetista do túnel, e sua equipe pelo apoio recebido para a publicação deste artigo, assim como aos geólogos Claudio Riccomini e Hugo Cassio Rocha pela valiosa troca de informações sobre a geologia da Bacia de São Paulo. Os autores também agradecem a Eletropaulo pela autorização para utilização dos dados, sem os quais não seria possível realizar este trabalho.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo. **Boletim de Geografia,** n.219, São Paulo, 1957.

BAILLOT, R.T., SANTUCCI, H.A., KOELLN, M. Investigações Geológicas-geotécnicas para um túnel urbano raso. **Anais do III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia,** Itapema, Santa Catarina, 1981.

BUONO, A.V.D. Uma evidência de sismicidade no Terciário da Bacia de São Paulo. A ser submetido a apreciação na **Revista Brasileira de Geociências,** 1993.

COZZOLINO, V.M.N. Tipos de Sedimentos que constituem a Bacia de São Paulo. **Tese de Doutoramento,** Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1972.

COZZOLINO, V.M.N. Considerações sobre o conceito de camadas, sob ponto de vista geotécnico, na Bacia de São Paulo. **Mesa Redonda sobre os Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia de São Paulo,** ABGE - SBG, São Paulo, 1980.

COZZOLINO, V.M.N. Perfil Geotécnico ao longo do túnel da Eletropaulo entre a Várzea do Glicério e a Ponte de Vila Guilherme - Aspectos da construção do túnel em areias do Terciário de São Paulo. **Revista Solos e Rochas,** São Paulo, vol. 15, n. 1, p. 11-19, 1992.

GLOSSARY OF GEOLOGY - American Geological Institute, R.L. Bates e J. A. Jackson, Alexandria, Virgínia, 1987.

HASUI, Y., SADOWSKI, G.R., CARNEIRO, C.D.R. Considerações sobre a estratigrafia do Pré-Cambriano na região de São Paulo. **Boletim do Instituto de Geociências da USP,** Série Científica n. 7, São Paulo, 1976 (a).

HASUI, Y., CARNEIRO, C.D.R., GIANCURSI,

F.D., GUSSO, G.L.N. Condicionamento tectônico da Bacia Sedimentar de São Paulo. **XXIX Congresso Brasileiro de Geologia**, V.4, Ouro Preto, 1976(b).

INST. DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO EST. DE S. PAULO - IPT Tectônica e sedimentação cenozóica na área da soleira entre as Bacias de São Paulo e Taubaté. **Relatório 23.724**, 2 vol., São Paulo, 1986.

JARDINE, R.J., SYMES, M.J., BURLAND, J.B. The Measurement of soil stiffness in the triaxial apparatus. **Geotecnique**, vol. 34, n. 3, p. 323-340, 1984.

LEINZ, V. Decomposição das rochas cristalinas na Bacia de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** vol. 27, Rio de Janeiro, 1955.

MAWE, J. Travels in the interior of Brazil, particularly in the gold and diamond districts, by authority of prince Regent of Portugal. **Patternoster-Row**, 368 p., London, 1812.

MELO, M.S; CAETANO, S.L.V., COIMBRA, A.M. Tectônica e Sedimentação nas áreas das Bacias de São Paulo e Taubaté. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 34, vol. 1, Goiânia, 1986.

MORAES REGO, L.F. As formações cenozóicas de São Paulo. **Anuário da Escola Politécnica de São Paulo**, vol. 2, p. 231-267, São Paulo, 1933.

PISSIS, A. (a) Considérations générales sur les terrains du Brésil. **Bulletin de la Societé Géologique de France**, vol. 13, p. 282-290, Paris, 1842.

PISSIS,A.(b) Memoire sur la position géologique des terrains de la partie australe du Brésil et sur les soulevements qui, à diverses époques, ont change le relief de cette contres. **Compte rendus de la Académie des Sciences,** vol. 14, p.353-413, Paris, 1842(b).

RICCOMINI, C. et al. Evidências de hidrotermalismo em sedimentos da Bacia de São Paulo: Considerações Genéticas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 60(1): 105-106, 1988.

RICCOMINI, C. O Rift continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, **Instituto de Geociências da USP**, 1989.

RICCOMINI,C., COIMBRA, A.M. Geologia da Bacia Sedimentar. **Solos da Cidade de São Paulo**, ABMS e ABEF, São Paulo, 1992.

RICCOMINI, C., COIMBRA, A.M, TAKIYA, H. Tectônica e sedimentação na Bacia de São Paulo. In: **Mesa Redonda: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo,** ABAS, ABGE e SBG, São Paulo, 1992.

ROCHA, H.C., CELESTINO, T.B. Conhecimentos recentes sobre a Bacia de São Paulo e o projeto e construção de túneis. In: **Mesa Redonda: Problemas Geológicos e Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo,** ABAS, ABGE e SBG, São Paulo, 1992.

SADOWSKI, G.R. Origem de juntas de cisalhamento em sedimentos da Bacia de São Paulo. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, Salvador, 32, Bahia, vol. 4, 1982.

SUGUIO, K. Síntese dos conhecimentos sobre a sedimentação da Bacia de São Paulo. In: **Mesa Redonda sobre os Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia de São Paulo**, ABGE - SBG, São Paulo, 1980.

TAKYIA, H. **Aplicação de métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo.** Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da USP, 1991.

TEIXEIRA, A.H. Alguns aspectos do comportamento geotécnico de areias argilosas de baixa compacidade como apoio de fundações. In: **Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, 4, vol. 1, Tomo 1, Guanabara, 1970.

VARGAS, M. Building settlements observations in São Paulo. In: ICSMFE, 2, Rotterdam, vol. 4, 1948.

VARGAS, M. Problemas de fundações de edifícios em São Paulo e sua relação com a Formação geológica local. **Anais da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos**, ABMS, vol. 1, São Paulo, 1953.

VARGAS, M. Fundações de Edifícios em São Paulo e Santos. **Separata da palestra realizada na Fundação Álvares Penteado,** FAAP, São Paulo, 1971.

VARGAS, M. Long term settlements of tall buildings on sand. In: **ICSMFE**, 12, vol. 1, Rio de Janeiro, 1989.

VARGAS, M. Os solos da cidade de São Paulo. **Palestra apresentada na Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência**, SBPC, São Paulo, 1992.

WERNICK, E. Análise granulométrica dos sedimentos da Bacia de São Paulo. **Engenharia, Mineração e Metarlugia**. vol. 43, São Paulo, 1966.

YASSUDA, C.T., HORI, K., ROCHA, H.C. Água do subsolo. **Solos da Cidade de São Paulo.** ABMS e ABEF, São Paulo, 1992.

Recebido em 28/04/93.
Aceitação final em 30/09/93.
Discussões abertas até 30/06/94.