

Aspectos geológicos da Travessia sob o Rio Pinheiros para linha de transmissão na região da Vila Olímpia em São Paulo

Magali Dubas Gurgueira

Geóloga, MAISGEO Consultoria em Geologia, São Paulo, Brasil, magali@maisgeo.com.br

Adinan Jarouche

Geólogo, JS Geologia Aplicada, São Paulo, Brasil, ajarouche@jsgeo.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta os aspectos geológicos de um túnel de pequeno diâmetro executado em São Paulo para uma linha de transmissão subterrânea, incluindo a travessia sob o Rio Pinheiros, linha da CPTM, Marginal Pinheiros e um túnel existente (IPI-6). As obras incluíram dois poços de acesso com profundidade entre 15 e 37 metros (escavados em aterros, aluviões, solo de alteração e rochas gnáissicas) e um túnel com 280 metros de comprimento escavados em solos e rochas do Complexo Embu. O projeto foi elaborado com base em sondagens e geofísica e todas as frentes de escavação foram mapeadas, incluindo a classificação geomecânica RMR e levantamento estrutural das descontinuidades.

PALAVRAS-CHAVE: Túnel de pequeno diâmetro, Linha de transmissão subterrânea, Geologia, Rio Pinheiros.

ABSTRACT: This paper presents the geological aspects of a small diameter tunnel executed in São Paulo, Brazil, for an underground transmission line, including the crossing over the Pinheiros River, train line, main avenue and an existing tunnel. The site included two access wells with 15 and 37 meters (excavated in fill, alluviums, residual soil and gneissic rocks) and a 280 meter-long tunnel in residual soil and rocks of the Embu Complex. The design was based on borehole surveys and geophysics. All of the excavation fronts were mapped, including a geomechanical classification (RMR) and structural discontinuity survey.

KEYWORDS: Small diameter tunnel, Underground transmission line, Geology, Pinheiros river.

1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo apresentar os aspectos geológicos da Travessia Subterrânea sob o Rio Pinheiros, localizada na região da Vila Olímpia, zona sul de São Paulo. São apresentados os dados geológicos obtidos tanto na fase de projeto, como durante a execução da obra a partir dos mapeamentos realizados pela equipe de geologia do ATO (Acompanhamento Técnico de Obra).

A travessia sob o Rio Pinheiros faz parte das obras de uma Linha de Transmissão Subterrânea de 345 kV, composta por 2 circuitos com aproximadamente 15 km de extensão, interligando duas subestações existentes na zona sul do município de São Paulo/SP.

A travessia foi executada a partir da escavação de poços e túneis em NATM, com acompanhamento por instrumentação geotécnica para controle de deformações.

Os poços de acesso tem forma elíptica, com eixos mínimos internos (acabados) de 4,00m x 3,24m. Possuem mureta guia superior com viga de enrijecimento, sendo escavados pelo método NATM em fases sucessivas com avanços médios de 1,00m, protegendo-se as paredes escavadas com concreto projetado com fibras metálicas (espessura de 20 cm e $f_{ck} = 30\text{MPa}$).

O túnel também possui forma elíptica com eixos mínimos internos (acabados) de 2,30m x 2,04m, sendo embocado a partir dos poços de acesso, com duas frentes de escavação simultâneas. O túnel é desenvolvido

em seção plena, ou calota-bancada com pequena defasagem, com avanços entre 0,80 e 1,50m, possuindo aproximadamente 280 metros de extensão.

Ao longo da escavação do túnel foi aplicado concreto projetado a cada avanço, sendo que as condições geomecânicas e os dados de acompanhamento das escavações determinaram o avanço seguro e ideal para a produção, além da aplicação de eventuais tratamentos, a cada mapeamento.

Além da Travessia sob o Rio Pinheiros, este túnel também cruzou a Linha 9 – Esmeralda da CPTM, a pista expressa da Marginal Pinheiros sentido Castelo Branco, a Av. das Nações Unidas e o túnel IPI-6 da Sabesp (o túnel passou 14,5m abaixo do IPI-6).

A Figura 1 apresenta a localização dos Poços e do Túnel.



Figura 1 - Croqui de localização dos Poços e do Túnel sob o Rio Pinheiros.

2 Contexto geológico local e Metodologia

A travessia sob o Rio Pinheiros está inserida no contexto geológico do Complexo Embu, cujos litotipos predominantes são gnaisses, por vezes milonitizados, com ocorrências localizadas de anfibolito (Monteiro et al., 2012). As escavações ocorreram em material tecnogênico (aterros), depósitos sedimentares quaternários (aluviões), solos de alteração e rochas do Complexo Embu. Foi utilizado como referência a classificação de solos apresentada por Vaz (1996) e Vaz & Gurgueira (2018).

A etapa de projeto da Travessia foi elaborada com base em 12 sondagens mistas totalizando 345 m de sondagens além de 13 linhas geofísicas (sísmica de refração). As obras ocorreram com mapeamento geológico de todas as frentes de escavação nos poços e nas frentes do túnel, sendo realizada a descrição tátil-visual, identificação da unidade geológico-geotécnica, medidas estruturais de descontinuidades e classificação geomecânica segundo a metodologia RMR – Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989).

3 Resultados e Análises

O Poço 1 (EMAE) foi escavado em aterro até 3,00m de profundidade, seguido por aluvião argiloso até 5,00m e aluvião arenoso até 8,00m, solo de alteração (SA) até 10,00m e rocha alterada mole (RAM) até o final, conforme ilustrado no mapeamento (Figura 2).

O Poço 2 (Bandeirantes) apresentou aterro até 2,50m de profundidade, seguido por aluvião argiloso até 8,00m e aluvião arenoso até 9,50m, SA até 12,50m, RAM até 18,00m e rocha alterada dura (RAD) até o final conforme ilustrado no mapeamento (Figura 2).

O túnel foi escavado integralmente no Complexo Embu, em gnaíse com passagens localizadas de anfíbolito. A escavação ocorreu predominantemente em RAD (161 m ou 57%), com longos trechos em RAM (114 m ou 41% e uma passagem localizada em SA (5 m ou 2%) conforme ilustrado no mapeamento (Figura 2). Em relação as características geomecânicas, o maciço apresentou classes RMR entre III e V, sendo: 65% classe IV, 18% classe V e 17% classe III.

O trecho com a pior condição geomecânica ocorreu abaixo do Rio Pinheiros, onde ocorreu materiais mais alterados (SA e RAM), classe RMR V, elevado fraturamento e presença de fluxo de água, levando a necessidade de uso de Drenos Horizontais Profundos (DHPs), além de enfilagens no teto e cambotas.

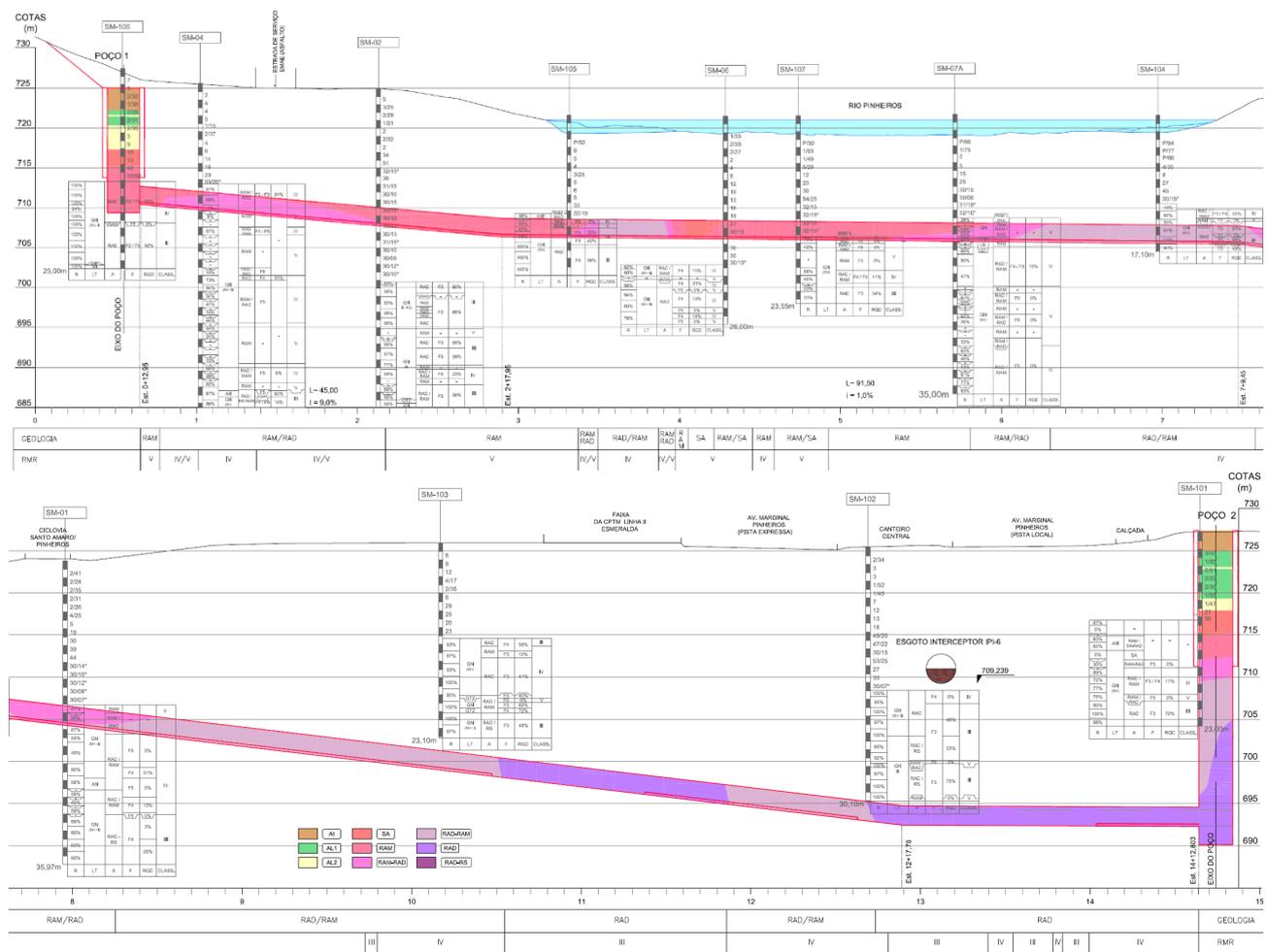


Figura 2 - Mapeamento Geológico dos Poços e Túnel.

As fotografias a seguir apresentam exemplos de frentes típicas em cada classe de maciço mapeada no túnel: III, IV e V.



Figura 3 – Fotografia das frentes de escavação em classes III (seção plena), IV (seção parcializada com cambota) e V (seção parcializada com cambota, DHPs e enfilagens).

A cada mapeamento de frente de escavação realizado foram obtidos dados estruturais tanto da foliação da rocha quanto da fraturas existentes no maciço. Em geral, a foliação apresenta rumo de mergulho para leste com atitudes variando, em geral, entre $120^{\circ}\sim 150^{\circ}/35^{\circ}\sim 50^{\circ}$ sendo, portanto, desfavorável à escavação na frente a partir do Poço 2. Também foram mapeadas fraturas subverticais no maciço com mergulho variando entre 85° e 89° e rumos de mergulho ora para SW ($210^{\circ}\sim 240^{\circ}$), ora para NE ($50^{\circ}\sim 85^{\circ}$) que, associadas aos planos da foliação contribuíram para a ocorrência de overbreaks nos primeiros avanços da escavação. As Figuras 4 e 5 ilustram a projeção estereográfica dos dados coletados para foliação (em vermelho) e fraturas (em verde), e o alinhamento aproximado do túnel (em preto).

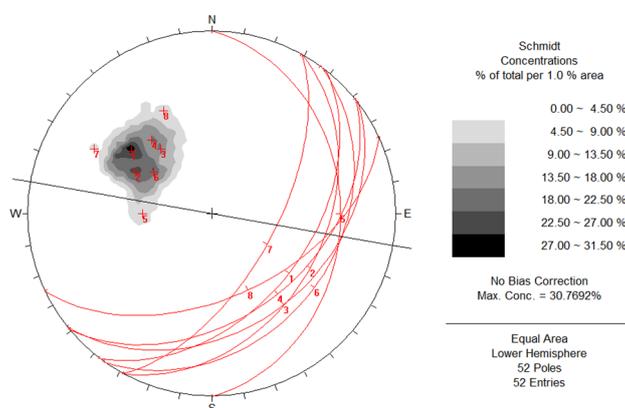


Figura 4 - Estereograma com dados da foliação obtidos nos mapeamentos.

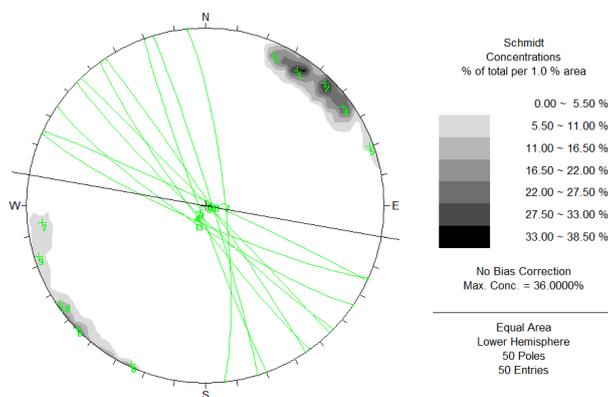


Figura 5 - Projeção estereográfica com dados das fraturas obtidas nos mapeamentos de frente.

4 Conclusão / Comentários Finais

As obras dos Poços de acesso ao túnel foram executadas inicialmente em solos de baixa resistência (aterros e aluviões argilosos e arenosos) saturados, protegidos por tratamento com Jet Grouting (JG) até o contato com o solo de alteração ou rocha alterada do embasamento cristalino, sendo que no Poço 2 (situado a leste) foi atingida a rocha com elevada resistência, escavada com a utilização de explosivos.

A escavação do túnel Travessia sob o Rio Pinheiros foi executada em duas frentes de escavação, sendo executada em rocha gnáissica com passagens de anfíbolito (Complexo Embu), em maciço pobre (RMR – Classe IV), muito pobre (RMR – Classe V) e razoável (RMR – Classe III), predominantemente em Rocha Alterada Mole (RAM) com passagens de Solo de Alteração (SA) e Rocha Alterada Dura (RAD) na frente a partir do Poço 1 (sentido leste) e predominantemente em RAD com passagens de RAM na frente a partir do Poço 2 (sentido oeste). Os mapeamentos das escavações resultaram em grande aderência ao projeto elaborado a partir da campanha de sondagens e geofísica.

Em relação a geologia estrutural, foi identificada a foliação gnáissica e famílias de fraturas. A foliação foi mapeada com mergulho inclinado (entre 35° e 50°) no sentido sudeste, ou seja, desfavorável em uma das frentes (a que partiu do Poço 2 no sentido oeste). As fraturas eram predominantemente subverticais (com mergulho entre 50° e 85°) com direção NE-SW.

Foi identificada a presença de fluxo de água em alguns trechos de escavação no embasamento, em especial no alinhamento do Rio Pinheiros, nos trechos com RMR classe V ou classe IV, controladas a partir da utilização de Drenos Horizontais Profundos a gravidade. A conclusão das escavações ocorreu no segundo semestre de 2019, sendo que durante as escavações não foram registrados eventos atípicos, como deformações relevantes ou instabilizações de frente ou teto do túnel.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a toda equipe envolvida no gerenciamento, projeto, acompanhamento e execução da obra, em especial aos senhores Eduardo Fechio, Mario Medrano, Celso Andrade, João Fidalgo, José Roberto, Renan Abreu, Rômulo Solto, Guilherme Menossi, Mario Lopes, Diego Schimidt, Tarcísio Celestino e Giacomo Re.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. T. (1989) *Engineering Rock Mass Classification*, New York: John Wiley & Sons, 251 p.
- Monteiro, M.D.; Gurgueira, M.D.; Rocha, H.C. (2012) Geologia da Região Metropolitana de São Paulo. In: *Twin Cities – Solos das cidades de São Paulo e Curitiba*. ABMS, São Paulo, p. 15-44.
- Vaz, L.F. (1996) Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. In: *Revista Solos e Rochas*, vol. 19, n. 2, p. 117-136.
- Vaz, L.F., Gurgueira, M.D. (2018) Solos em Geologia de Engenharia. In: *Geologia de Engenharia e Ambiental*, 2ª ed., vol. 2, ABGE, São Paulo, SP, p. 39-52.