

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Túnel sob shopping: utilização da estrutura do túnel como suporte de parte das fundações

C. E. M. Maffei

Phd, Full Professor University of São Paulo; Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil,
e-mail: maffei@maffeiengenharia.com.br

H. H. S. Gonçalves

Phd, Professor Associado University of São Paulo; Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil
e-mail: helesilv@usp.br

D. B. Prates

Engenheiro Civil: Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil
e-mail: davi@maffeiengenharia.com.br

RESUMO: O trabalho apresenta as principais características do projeto, do método executivo e da obra de um túnel com 5,6m de diâmetro equivalente e 70m de comprimento construído sob um grande shopping. Algumas estacas da fundação do shopping precisaram ser cortadas e suas cargas foram transferidas diretamente para a estrutura do túnel, assim como as tensões transmitidas por algumas sapatas com cargas de até 13000 kN, muito próximas ao túnel. O método construtivo foi concebido de modo a evitar a ocorrência de recalques significativos durante a obra, para não prejudicar a estrutura e não comprometer os acabamentos das lojas do shopping. Estão apresentados no artigo os resultados da instrumentação da obra, que mostram que o máximo recalque ocorrido durante a execução do túnel foi cerca de 1cm. O artigo também apresenta o projeto e a metodologia construtiva da vala e do poço, muito próximos das sapatas de fundação do shopping.

PALAVRAS-CHAVE: Túnel em solo, Túnel sob fundações, Túnel urbano.

ABSTRACT: It is presented the main characteristics of the design, executive method, and construction of a tunnel with an equivalent diameter of 5.6m and 70m in length built under a large shopping mall. Some piles of the foundation of the mall needed to be cut and their loads were transferred directly to the tunnel structure, analogous situation occurred with some isolated footing with loads of up to 13000 kN, awfully close to the tunnel (about 0.5m), that apply stress to the tunnel. The construction method was conceived to avoid the occurrence of significant displacements during the execution, so as not to damage the main structure and not compromise the shopping mall's stores. The results of the instrumentation of the work are presented in the article, which show that the maximum settlement occurred during the execution of the tunnel was about 1cm. The article also presents the design and construction methodology of a ramp and a well, also close to the foundation footings of the shopping mall.

KEYWORDS: Soil Tunnel, Tunnel under foundations, Urban tunnels

1 Introdução

O artigo apresenta a solução para os problemas encontrados durante a construção de um túnel para pedestres com 5,6m de diâmetro equivalente e 70m de comprimento, pelo método NATM, construído sob um grande shopping.

O autor principal deste artigo foi acionado durante a obra porque a construtora se deparou com uma estaca atravessando a seção do túnel. A obra foi iniciada com um projeto diferente, de outra autoria, o qual não considerava, ainda, as fundações existentes acima da calota do túnel, dentre as quais uma sapata sobre a projeção deste com distância mínima de 0,5 m e 13000 kN de carga com tensão aplicada de 500 kN/m².

A Figura 1 mostra uma seção transversal do túnel e uma projeção das sapatas de fundação do edifício, conforme projeto inicial. Foi desenvolvido novo projeto para suportar parte das cargas do shopping e para



atravessar a região da estaca (Figura 2) foi necessário demolir parte da seção construída e reforçar a seção do túnel, segundo o gabarito.

O artigo apresenta ainda as metodologias construtivas das valas e poço de elevadores, também muito próximos às sapatas das fundações do edifício.

O túnel foi dimensionado para o carregamento total obtido via modelo de elementos finitos. O revestimento primário, tratado como estrutura definitiva foi apoiado em sapatas executadas com dimensões adequadas. O maciço constituído por silte arenoso residual, de alta compactidade e NSPT superior a 30, de característica muito competente permitiu adoção de tensões admissíveis nas sapatas do túnel de até 800 kN/m². Para o projeto do túnel sob sapatas de fundação foi definido uma defasagem máxima do invert de um avanço equivalente a 0,5m.

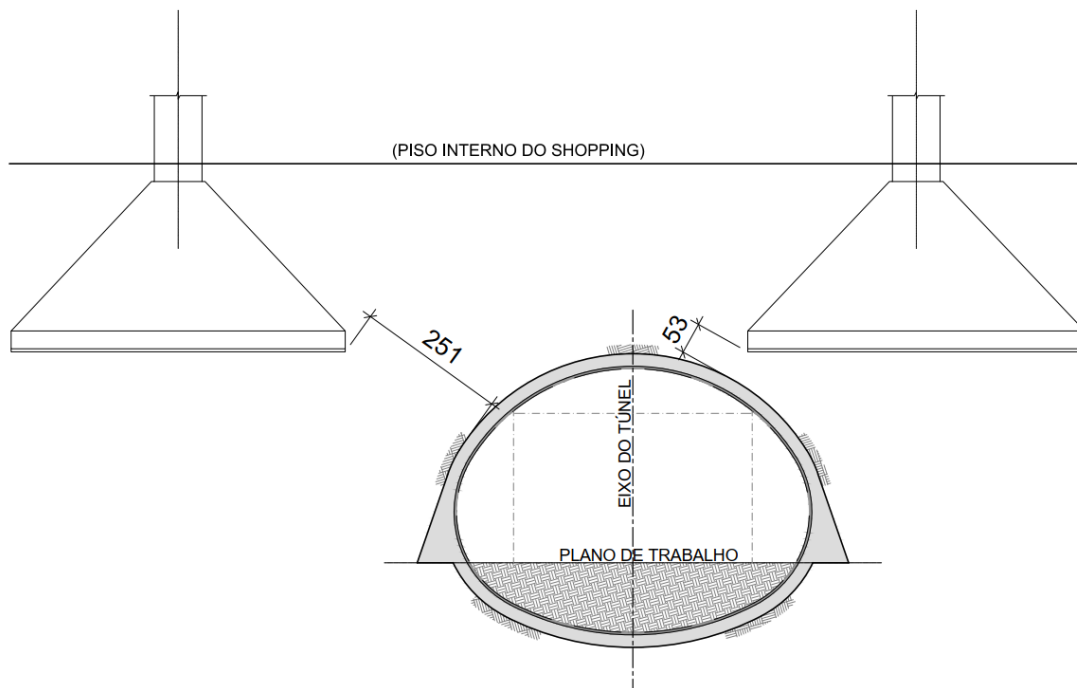


Figura 1. Seção transversal do túnel no projeto inicial.

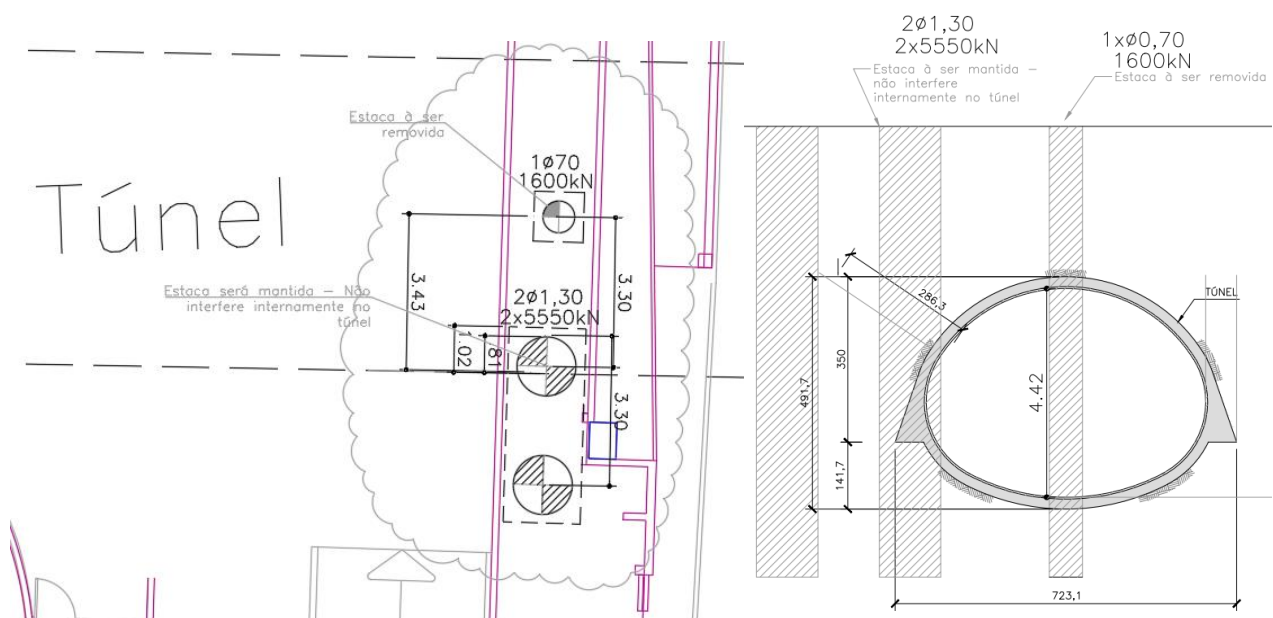


Figura 2. Planta e seção de interferência com estacas de fundação conforme projeto inicial.



2 Perfil geotécnico

O túnel começou a ser construído numa camada de silte arenoso pouco micáceo com SPT variando entre 14 e 22 e foi aprofundado até uma camada de silte arenoso pouco micáceo e pouco caulínítico com SPT muito alto, superior a 40. Na Figura 3 está apresentado o perfil geotécnico do final do túnel. As sapatas do shopping estão apoiadas na segunda camada de silte arenoso. O nível de água na região estava no nível da geratriz superior do túnel, o que não gerou um problema executivo, dado que o túnel já havia sido executado nessas condições, sendo previsto drenagem permanente.

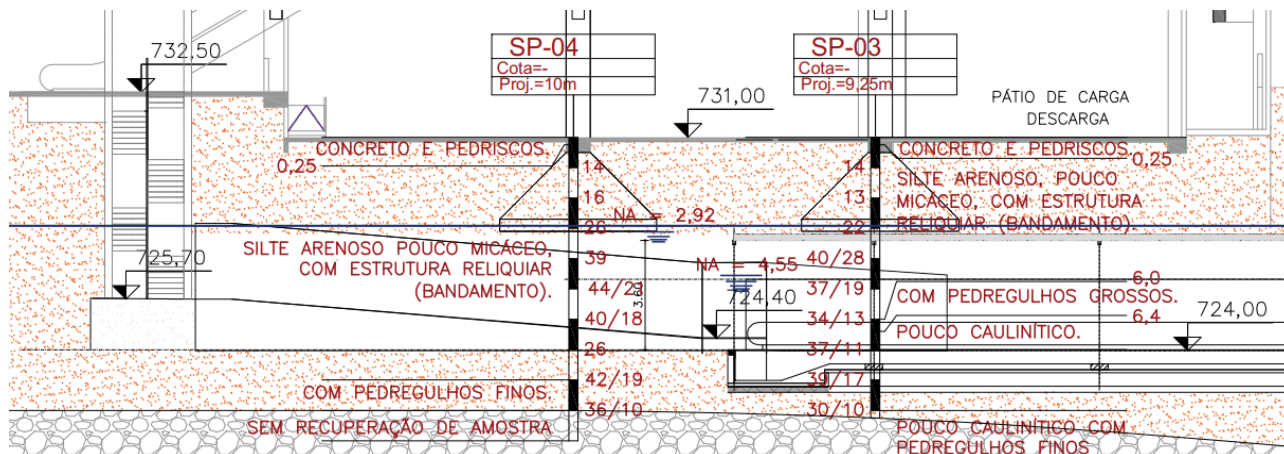


Figura 3. Perfil geotécnico sob o shopping, final do túnel.

3 Características do projeto

3.1 Túnel - Sob sapatas

A adequação do projeto iniciou-se pela elaboração de nova seção transversal, reproduzida na Figura 4, com capacidade resistente suficiente para suportar os esforços decorrentes das sapatas, e limitar os deslocamentos relativos máximos, evitando distorções prejudiciais. Para acompanhar este comportamento as fundações foram instrumentadas com pinos de recalque e tassômetros chumbados nas sapatas, instrumentação utilizada em outros casos, como descrito em EDUARDO et al. (2021) e OLIVEIRA et al. (2018). Os problemas de estabilidade foram tratados conforme MAFFEI; GONÇALVES (2021).

O dimensionamento desta seção se deu com a elaboração de modelos de meio contínuo com software de elementos finitos, sendo a seção armada integralmente com barras longitudinais e estribos com cambotas especiais de seção retangular, tendo sido elaborado método construtivo condizente com a situação da escavação com baixa cobertura sob elemento de fundação e de execução das armações.

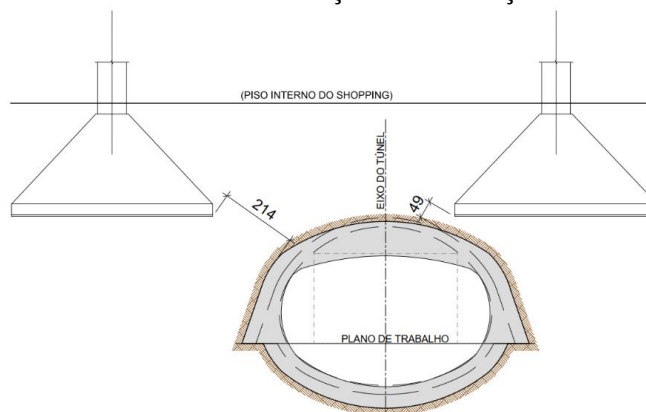


Figura 4. Seção transversal adotada sobreposta à seção do projeto inicial, atendendo ao gabarito.



As fotos a seguir mostram a etapa de execução deste reforço e após corte das estacas, nestas está destacado o bloco de concreto das estacas laterais que foi exposto durante a escavação e as estacas a serem cortadas, seguido da seção finalizada após o corte (Figura 8).



Figura 7. Seção escavada sendo preparadas as estacas para concretagem.



Figura 8. Seção finalizada após corte das estacas.

3.3 Vala e poço

Além da alteração no projeto dos túneis, também foi necessária adequação do projeto de acesso sob o shopping com a execução de uma vala, um poço e um túnel interno de seção reduzida; esta foi concebida e executada com uso de estacas raiz de 20cm que serviram para suporte do solo durante escavações parciais seguidas da execução de paredes de concreto armado sustentadas por estroncas metálicas. (Figura 9).

Na Figura 10 estão reproduzidas algumas imagens da obra, evidenciando as dificuldades executivas em um canteiro estreito, sendo necessário uso de emendas soldadas dos ferros e estroncamentos metálicos para suportar os empuxos laterais provenientes das sapatas de fundação.

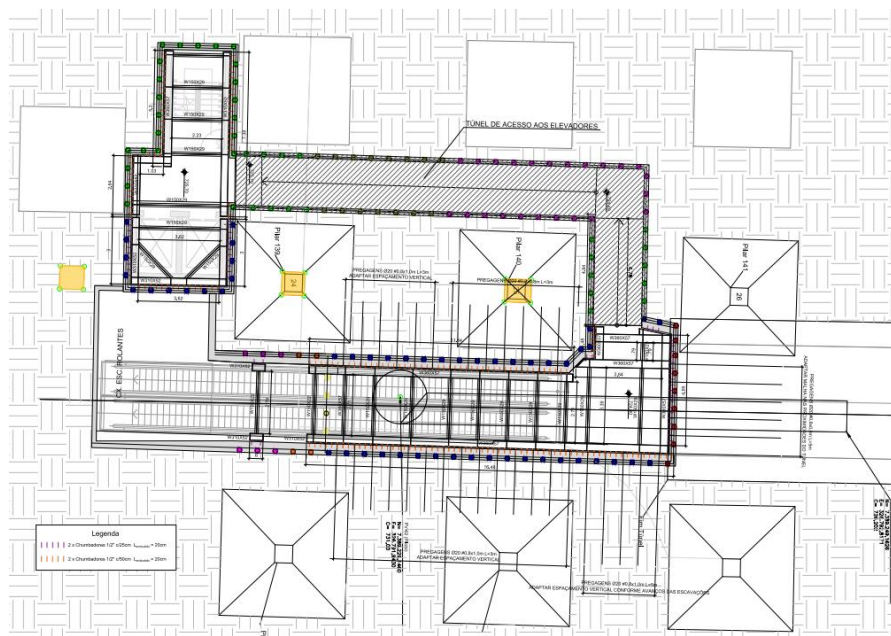


Figura 9. Implantação da obra de contenção das valas e poços, os escoramentos indicados são em parte provisórios e em parte definitivos.



Figura 10. Fotos da obra, no lado superior direito está a seção no encontro com o túnel, no lado superior esquerdo e inferior direito estão mostrados detalhes da rampa e seu escoramento e no canto inferior direito a fase de acabamento do poço de elevadores e escadas rolantes.



4 Cuidados construtivos

Com o que foi exposto acima, fica evidente a necessidade de uma metodologia construtiva adequada para que as interferências fossem superadas com segurança. Na execução dos túneis sob as sapatas, foi aproximado o invert da frente de escavação, trabalhando quase que com uma seção plena, dando pouca margem para deformações diferenciais entre as sapatas e recalques gerais. Esta medida não interferiu significativamente na obra, visto que para a conclusão da concretagem de um avanço máximo de 0,8m era necessário um tempo considerável para que o concreto adquirisse resistência, gerando intervalos de no mínimo 1 dia entre escavações sucessivas da frente. Além disso, os trabalhos da obra não estavam limitados à execução dos túneis, sendo demandado atenção para execução das estacas raiz para o desemboque no shopping, que trabalhavam de forma simultânea.

Para solucionar o problema da estaca no interior do túnel foi desenvolvido um trabalho à parte, que requereu a demolição cuidadosa da seção existente, escavação em condições pouco favoráveis, seguida da aplicação de camada inicial de concreto projetado, com única função de estabilizar a seção temporariamente, apicoamento e preparação das estacas e elementos de interferências, montagem das armações, formas e concretagem com uso de grout estrutural.

A baixa cobertura não era preocupação visto que esta estava quase que integralmente contida com blocos de fundação e laje do piso interno do shopping; a demolição da estaca foi autorizada apenas após atingida resistência de projeto.

5 Resultados da Instrumentação

Como principais instrumentações, foram executados pinos de recalque nos pilares e tassômetros chumbados nas sapatas, estes serviram para identificar deslocamentos, distorções relativas e rotações das fundações, não havendo mudanças abruptas em nenhuma das leituras, a Figura 11 mostra as leituras realizadas na forma de uma bacia de deflexões (curvas de nível) para a última leitura das instrumentações que se encontravam estabilizadas (Figura 12).

As estacas de fundação que foram cortadas foram monitoradas com pinos de recalque chegando a valores de até 2mm, entende-se que os recalques devem ter sido maiores antes da demolição devido à execução da seção sem medidas de tratamento adequadas.

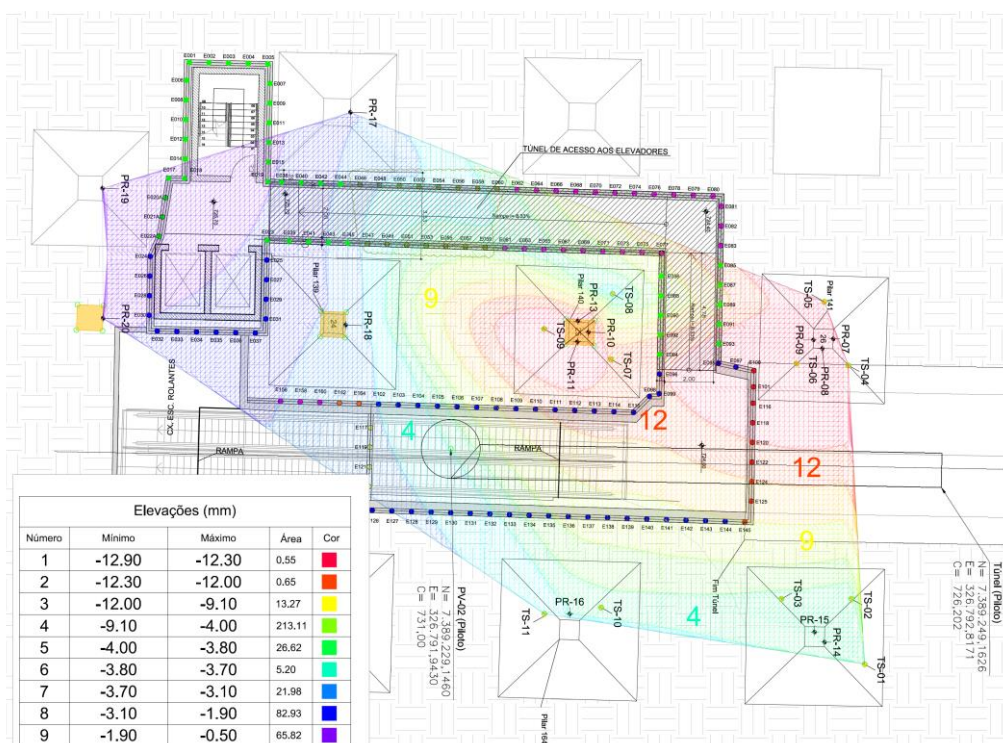


Figura 11. Banda de cores de recalques com tassômetros e pinos de recalque instalados nos pilares e sapatas.

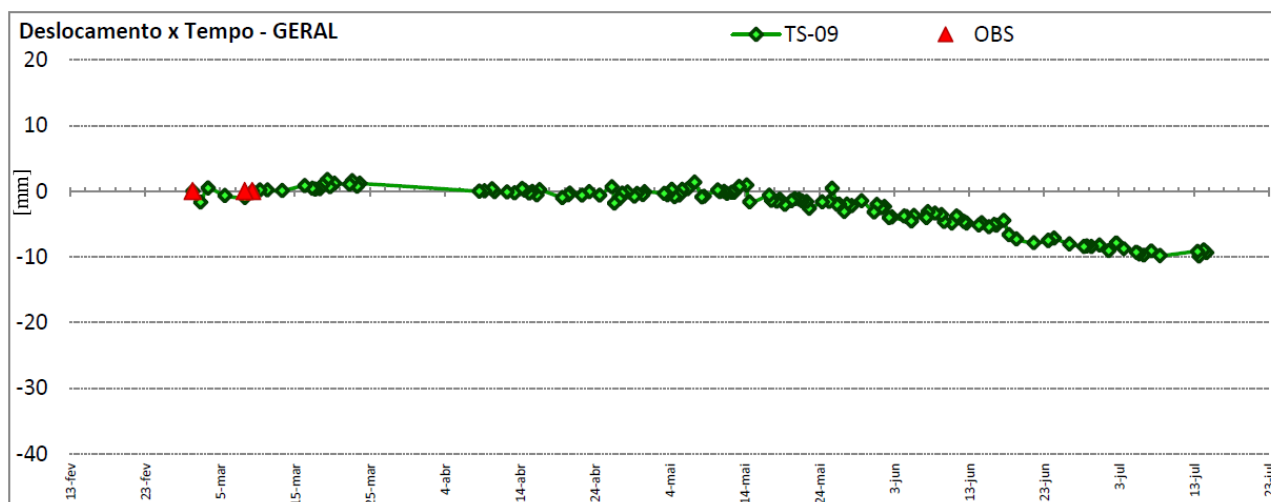


Figura 12. Exemplo de estabilização ao final da obra tassômetro 09.

6 Conclusões

A execução de estruturas enterradas sob ou nas proximidades de estruturas de fundação requer análises cuidadosas para uma definição satisfatória do comportamento do maciço e das estruturas, as incertezas de ordem geotécnicas da capacidade de carga e resistência dos solos, bem como as incertezas de carregamento aumentam o nível de segurança requerido para estes tipos de estruturas.

As alterações no projeto foram suficientes para conclusão da obra com segurança dentro de um prazo aceitável para o cliente sem ocasionar recalques diferenciais significativos e patologias estruturais, sendo de fundamental importância o monitoramento e a definição de metodologia construtiva compatível com o fundamento dos túneis NATM que, como todos túneis, são estruturas construídas aos poucos com avanços tão pequenos quanto desejável para que o maciço suporte uma redistribuição de carga minimizando deslocamentos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os profissionais envolvidos na concretização da obra, em especial ao acompanhamento de obra do geólogo Bruno Rodrigues Leite pelas fotos reproduzidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Eduardo, J. L. P. Silva, A. E. Filho, D. C. Campos, M. M. R. Robbe, G. B. Hatori, A. C. A. (2021) Projeto de Fundação Profunda de um Edifício sobre a linha 4 do metrô de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas – 5º CBT, São Paulo. *Anais CBT*. p. 401-410.
- Maffei, C. E. M. Gonçalves, H. H. S. (2021) Túneis de baixa cobertura: da teoria à prática. In: Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas – 5º CBT, São Paulo. *Anais CBT*. p. 571-580.
- Oliveira, K. G. Rocha, H. C. Scodeler, B. M. G. Robbe, G. B. Maffei, C. E. M. Neto F. V. (2018) Implantação de edifício e sua interface com as estruturas metroviárias. *Revista Engenharia*. p. 126-131.