

## Características Geotécnicas e Geológicas de Solo Residual de Gnaiss Heterogêneo com Camadas Reliquiárias de Baixa Resistência em Niterói (RJ)

Antonio Alves do Couto Junior

Engenheiro Civil, Terrae Projetos e Consultoria Ltda, Niterói, Brasil, antoniocoutojr2@gmail.com

Maurício Ehrlich

Professor Titular, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, me@coc.ufrj.br

Robson Palhas Saramago

Professor Associado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil, robsonsaramago@id.uff.br

**RESUMO:** Em Niterói, RJ, a região costeira compreendida pelo morro da Boa Viagem e de Icaraí é caracterizada por solo residual de gnaiss marcado por múltiplas foliações e planos reliquiários de baixa resistência, características identificadas em obras anteriores na região e documentadas na literatura de referência. Escavações profundas de até 40 m de profundidade são previstas na região para a implantação de um novo empreendimento residencial. O trabalho apresenta as principais características geológicas e geotécnicas do maciço em questão. O programa de investigação geotécnica incluiu amostragem contínua com amostrador tipo Denison, escavação de poço de inspeção e a realização de ensaios triaxiais e de cisalhamento direto. A heterogeneidade é um aspecto marcante do maciço, composto por múltiplas foliações com camadas distintas de solo. Camadas de argila cinza e plástica foram observadas na abertura das amostras. Foliações centimétricas compostas por material plástico de baixa resistência também foram observadas durante os serviços de escavação, com registros de deslizamentos localizados sobre os referidos planos. Constatou-se ainda a presença de foliações com mergulhos de 50° a 60°, apresentando espaçamento e direções variáveis ao longo do terreno. Os resultados reforçam a necessidade de instrumentação e monitoramento para manutenção das condições de estabilidade e segurança em maciços com características similares, principalmente quando na presença de planos reliquiários de baixa resistência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Camadas reliquiárias, planos de fraqueza, solo residual, heterogeneidade.

**ABSTRACT:** In Niterói, RJ, the coastal region encompassing the Boa Viagem and Icaraí hills is characterized by a residual gneissic soil marked by multiple foliations and reduced shear strength reliquiae planes, characteristics identified in previous constructions in the region and documented in the reference literature. 40 m deep excavations are planned in the region for the development of a new residential complex. The work presents the main geological and geotechnical characteristics of the referred soil. The geotechnical investigation program included continuous Denison sampling, excavation of inspection well and the development of triaxial and direct shear laboratory tests. Heterogeneity is a strong aspect of the local soil, composed by multiple foliations with different portions of soil. Layers of grey plastic clay were observed during the opening of the collected samples. Centimetric foliations composed by plastic material with reduced shear strength were also observed during excavations procedures, with registers of local slides over the referred planes. In addition, foliations with dips of 50° to 60° were identified, presenting variable spacing and directions throughout the terrain. The results highlight the need for instrumentation and monitoring to assess stability and safety conditions of soils with similar characteristics, especially with the presence of reliquiae planes with reduced shear strength.

**KEYWORDS:** Reliquiae layers, weak planes, residual soil, heterogeneity

## 1 INTRODUÇÃO

Na rua Antonio Parreiras 101-B, localizada no bairro da Boa Viagem, em Niterói/RJ, é previsto um novo empreendimento caracterizado pela presença de múltiplas edificações residenciais. Para sua implantação, escavações profundas de até 40 m de profundidade serão realizadas junto ao maciço local, cuja estabilização será garantida pela execução de várias cortinas atirantadas e grampeamento do solo. O presente trabalho tem como objetivo apresentar as principais características geológicas e geotécnicas do maciço em questão.

A região costeira compreendida pelos bairros da Boa Viagem e de Icaraí é citada na literatura de referência por diferentes autores (Ehrlich & Silva, 2015; Lima, 2007; Moura et al., 2023; Saramago et al., 2010). Camadas reliquias de baixa resistência já foram identificadas ao longo da região, diferindo totalmente do pacote espesso de solo residual local. As referidas falhas geológicas foram encontradas em porções de material cujos resultados de ensaios SPT superam 40 golpes. Tais características geológicas reforçam a importância do presente trabalho pois, além de apresentarem influência direta no comportamento das escavações projetadas, não são identificadas em investigações típicas como sondagens com ensaio SPT.

Para implantação do referido empreendimento, um programa de investigação geotécnica foi elaborado antes dos serviços de escavação para análise do maciço local, que incluiu: múltiplas campanhas de sondagem à percussão e mista, amostragem contínua com barrilete triplo (amostrador tipo Denison), execução de poço de inspeção e a realização de ensaios de laboratório (caracterização completa, triaxiais e cisalhamento direto). A análise da estratigrafia local foi complementada pelo método observacional adotado no decorrer das escavações projetadas. A Figura 1a apresenta a planta de localização das contenções previstas no local com a locação das diferentes etapas do programa de investigação geotécnica. A Figura 1b apresenta uma seção esquemática do trecho de maior altura de escavação (40 m) projetado na região.

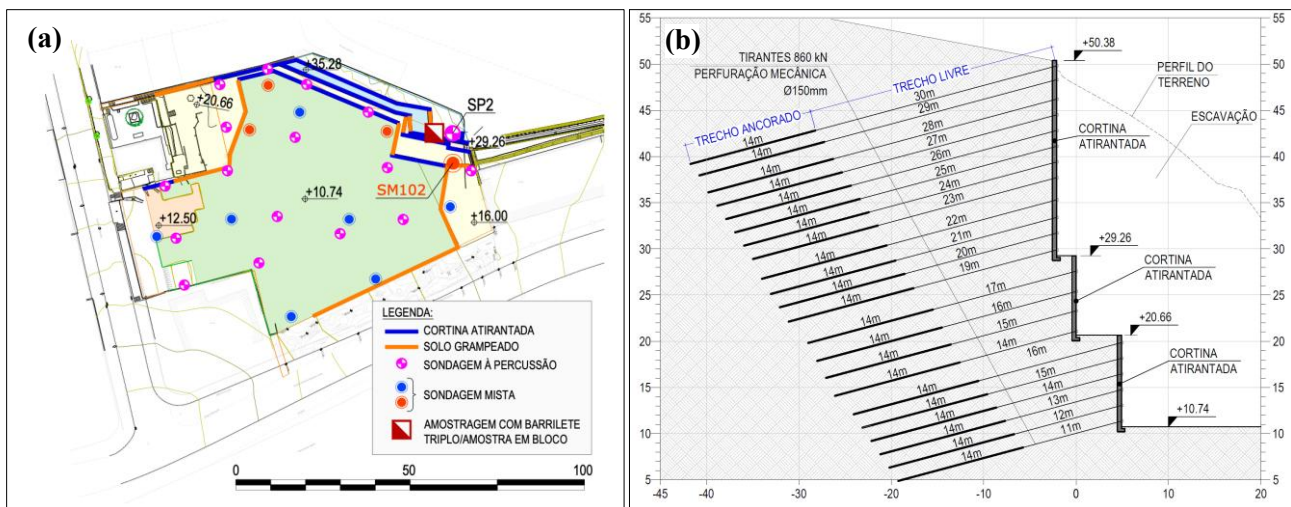


Figura 1. (a) Planta de localização das contenções e etapas de investigação geotécnica e (b) seção esquemática referente ao trecho de maior altura de escavação

## 2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA REGIÃO

De acordo com o mapeamento geológico realizado pela UFF (2004), a região costeira compreendida pelo Morro da Boa Viagem e do Caniço situa-se na unidade litológica do Ingá e é caracterizada por uma zona de cisalhamento, com a presença de falhas geológicas que se estendem até a Baía de Guanabara. Processos de intemperização diferencial ao longo dos anos deram origem a formações geológicas peculiares (Gomes da Silva, 2006; Suarez, 2005), dadas por porções de solo com características muito distintas quando em comparação com o pacote de solo residual de gnaiss existente na região. A Figura 2 apresenta a localização do presente estudo de caso e sua respectiva unidade litológica, conforme mapeamento realizado pela UFF (2004).

As denominadas camadas reliquias já foram identificadas e discutidas por diferentes autores na literatura de referência (Ehrlich & Silva, 2015; Lima, 2007; Moura et al., 2023; Saramago et al., 2010).

As referidas falhas geológicas apresentam um importante grau de heterogeneidade, com múltiplas características (parâmetros de resistência, consistência, mergulho, direção e persistência) variáveis ao longo da mesma região costeira.

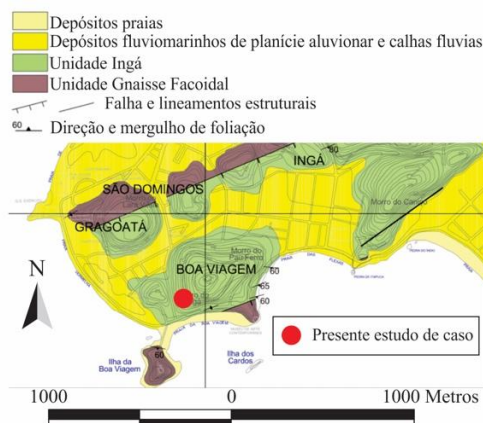


Figura 2. Mapa geológico (UFF, 2004) e localização do estudo de caso

### 3 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

#### 3.1 Campanhas de Sondagem

Para análise prévia do maciço local, três campanhas de sondagem foram realizadas, com duas campanhas de sondagem mista (ensaio SPT e rotativa) e uma campanha de sondagem apenas com ensaio SPT. Os perfis apresentados nos boletins de sondagem indicaram solo residual com etapas de intemperização bem definidas, dadas por um solo maduro argilo-arenoso e um solo saprolítico silto-arenoso e silto-argilo-arenoso. A Figura 3 apresenta o resultado das sondagens SP2 e SM102 (ver locação na Figura 1a), distantes entre si de cerca de 15 m. A sondagem SM102 apresenta porções de solo residual jovem com  $N_{spt}$  superior a 40 golpes a partir de 22 m de profundidade, com o ensaio prosseguindo até 40 m de profundidade. A sondagem SP2 apresentou porções de solo saprolítico a partir de 5 m de profundidade, com impenetrável à percussão constatado a 13 m de profundidade.

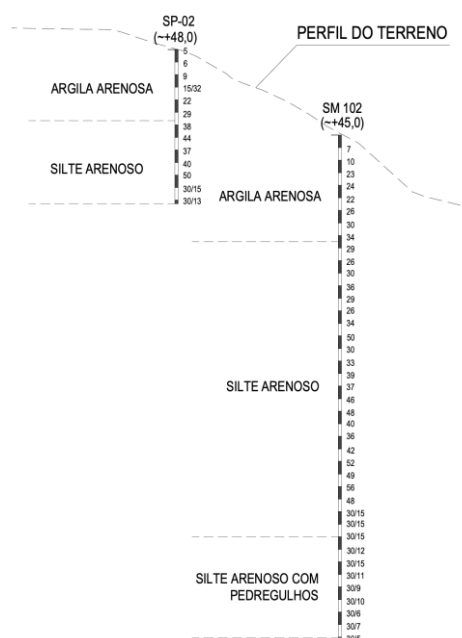


Figura 3. Resultados apresentados nos boletins das sondagens SP2 e SM102



### 3.2 Amostragem com barrilete triplo

Próximo ao local onde foi realizada a sondagem SP2, amostras foram coletadas de forma contínua por meio da utilização de barrilete triplo (amostrador tipo Denison) para complementar a análise estratigráfica do maciço antes do início das escavações. Inicialmente, as amostras foram coletadas utilizando barrilete com diâmetro de 50 mm até 26 m de profundidade. Diante da pouca recuperação de material, uma nova amostragem foi feita utilizando diâmetro de 75 mm, com coleta de amostras entre as profundidades de 13 até 24 m. A abertura das amostras foi realizada no laboratório de geotecnia da COPPE/UFRJ. Materiais com características distintas foram observados durante a abertura das amostras. A Figura 4 apresenta uma amostra coletada entre 19,50 e 20,40 m de profundidade. Camadas de argila plástica foram observadas em conjunto com material silto arenoso, o último marcado pela presença de foliações. A Figura 5 apresenta camadas reliquias plásticas observadas no interior do solo residual a 10,50 e 25 m de profundidade. Ressalta-se que a sondagem mais próxima (SP2) indicou a presença de um material silto-arenoso com valores de  $N_{spt}$  superiores a 30 golpes a 5 m de profundidade.



Figura 4. Camadas de argila plástica e material silto-arenoso com foliações, identificadas entre 19,50 e 20,40 m de profundidade

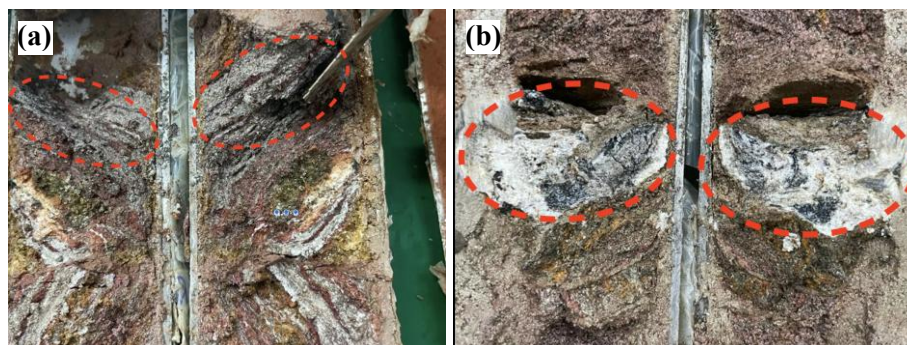


Figura 5. Camadas reliquias plásticas encontradas no interior do maciço nas profundidades de (a) 10,50 m e (b) 25 m

### 3.3 Abertura de poço de inspeção

No mesmo trecho onde foram coletadas as amostras com barrilete triplo, um poço de inspeção de 15 m de profundidade foi executado, com análise tátil-visual dos trechos entre 13 e 15 m de profundidade por um geólogo. A Figura 6a mostra a presença de camadas argilo-siltosa (2mm de espessura) com tom cinza-claro e muito sedosa, acompanhando a foliação observada no pacote de solo residual local, com atitude de 162/48, 168/56 e 190/60. Com atitude de 118/86, nódulos de granada e quartzo foram observados no interior do maciço (Figura 6b), marcado por sua heterogeneidade e foliações centimétricas com mergulho em geral superior a 50°.

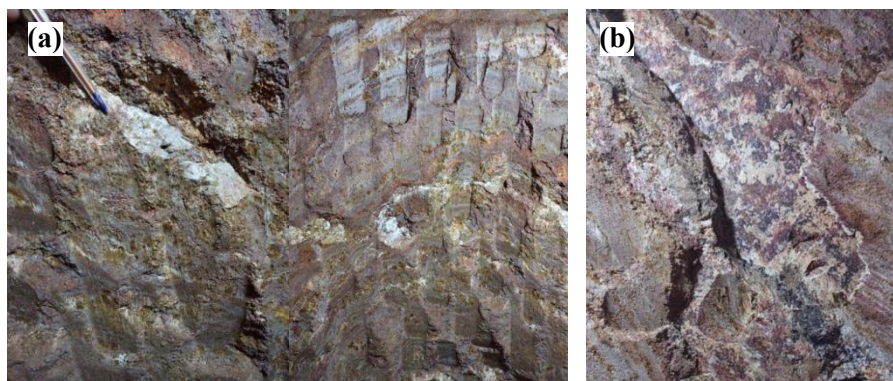


Figura 6. Poço de inspeção: (a) camadas silto-argilosas muito sedosas com tom cinza-claro com atitude observada de 162/48, 168/56 e 190/60; (b) nódulos de granada e quartzo com atitude de 118/86

### 3.4 Ensaios de laboratório

Ensaios de laboratório foram realizados em amostras indeformadas coletadas na região. Além das amostras coletadas por meio do barrilete triplo, foi realizada uma amostragem em bloco no interior do poço de inspeção a 15 m de profundidade. Ensaios de caracterização completa foram realizados em três amostras coletadas com barrilete triplo e na amostra em formato de bloco. Na Figura 7a até a Figura 7c, são apresentadas as amostras coletadas com barrilete triplo selecionadas para realização dos referidos ensaios de caracterização. A Figura 7d apresenta a amostra em bloco coletada no interior do poço, cuja abertura foi realizada no laboratório de geotécnica da COPPE/UFRJ. A Tabela 1 resume os resultados apresentados nos ensaios de caracterização completa.

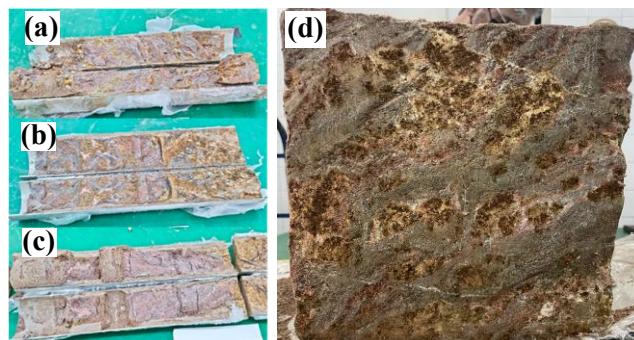


Figura 7. Amostras coletadas nas profundidades de (a) 13,10 m, (b) 17,00 a 18,00 m e (c) 19,50 a 20,40 m com barrilete triplo selecionadas para realização de ensaios de caracterização e (d) amostra em bloco coletada no interior do poço

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização realizados nas amostras selecionadas

| Amostra                 | Limites de Atterberg |                     | Percentual mais fino que |                  |                 | $G_s^3$ |
|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|------------------|-----------------|---------|
|                         | LL <sup>1</sup> (%)  | IP <sup>2</sup> (%) | 2<br>(mm)                | 20<br>( $\mu$ m) | 2<br>( $\mu$ m) |         |
| Denison (13,10 m)       | 44                   | 27                  | 11                       | 39               | 50              | 2,59    |
| Denison (17,00-18,00 m) | 59                   | 35                  | 12                       | 25               | 63              | 2,55    |
| Denison (19,50-20,40 m) | 50                   | 30                  | 10                       | 40               | 50              | 2,59    |
| Bloco (15,00 m)         | 58                   | 31                  | 15                       | 31               | 54              | 2,57    |

<sup>1</sup> Limite de liquidez; <sup>2</sup> Índice de plasticidade; <sup>3</sup> Densidade real dos grãos

Além dos ensaios de caracterização, ensaios de cisalhamento direto e triaxiais CD foram realizados na amostra indeformada em bloco. O ensaio de cisalhamento foi realizado na condição embebida, com o plano de ruptura definido com base nos resultados dos ensaios triaxiais. A Figura 8 apresenta as curvas  $q'$  vs.  $p'$  obtidas nos ensaios triaxiais CD e os referidos parâmetros de resistência. A Figura 9 mostra a curva  $\tau'$  vs.  $\sigma'$  oriunda do ensaio de cisalhamento direto realizado com os respectivos parâmetros de resistência obtidos. O maior valor de  $\phi'$  encontrado foi de  $26^\circ$ , a 15 m de profundidade, onde resultados dos ensaios SPT indicavam solo residual jovem com  $N_{spt}$  superior a 30 golpes (ver Figura 3), o que mostra o impacto da heterogeneidade do maciço e da presença das camadas reliquias na resistência ao cisalhamento do solo e nas considerações a serem realizadas na etapa de dimensionamento das estruturas de contenção.

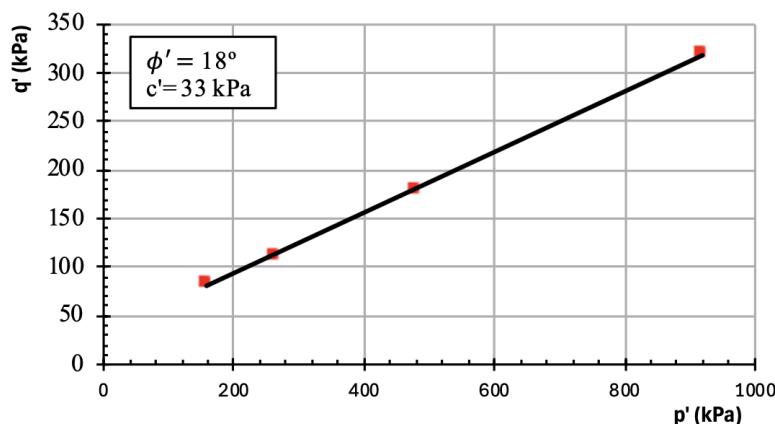


Figura 8. Ensaio triaxial CD: curva  $q'$  vs.  $p'$  e parâmetros de resistência obtidos

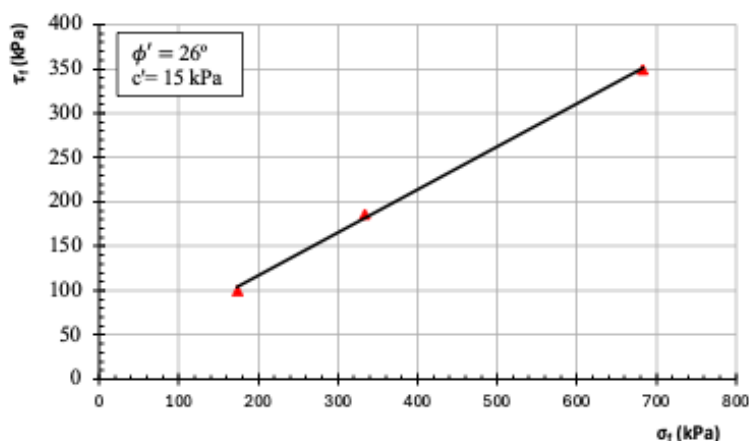


Figura 9. Ensaio de cisalhamento direto: curva  $\tau_f$  vs.  $\sigma_f$  e parâmetros de resistência obtidos

#### 4 ANÁLISE TÁTIL-VISUAL DO MACIÇO LOCAL

Durante os serviços de escavação para implantação das estruturas de contenção, foram avaliadas de forma tátil-visual as características geotécnicas apresentadas pelo maciço local. A estratigrafia do terreno é marcada pela presença de inúmeras foliações, com inclinações variando entre  $45^\circ$  e  $60^\circ$ . A Figura 10 ilustra o perfil do terreno local com a presença das referidas foliações a 25 m de profundidade da escavação. Observa-se que as foliações não seguem um único padrão de inclinação, com variações em suas declividades em uma mesma frente de escavação, como apresentado na Figura 10.





Figura 10. Foliações com inclinações variadas a 25 m de profundidade

Dentre as variadas foliações presentes no solo local, camadas reliquias de baixa resistência foram identificadas em inúmeras frentes de escavação. A Figura 11a mostra uma foliação identificada a 27 m de profundidade, caracterizada por uma camada milimétrica de material argiloso vermelho e marrom plástico, com elevado teor de umidade, apresentando superfície com brilho sedoso. A consistência do referido material destoa de forma importante em relação ao solo residual jovem local (silto-arenoso) com  $N_{spt}$  superior a 40 golpes (ver Figura 3), com a constatação de rupturas locais e deslizamentos de material sobre os referidos planos de fraqueza. A Figura 11b ilustra outra camada reliquia plástica, identificada a 18 m de profundidade. O material plástico é caracterizado por uma argila branca e cinza, com elevado teor de umidade. A referida foliação foi identificada com mergulho de cerca de 60° de inclinação, desfavorável à escavação, com o solo saprolítico adjacente com  $N_{spt}$  superior a 35 golpes.



Figura 11. Camadas reliquias identificadas durante a obra: (a) argila plástica vermelha e marrom com brilho sedoso (27 m de profundidade) e (b) argila plástica branca e cinza com mergulho de 60° desfavorável à escavação

## 5 COMENTÁRIOS FINAIS

O maciço referente ao estudo de caso é caracterizado geotecnicamente pela presença de um pacote espesso de solo residual de gnaiss com a importante presença de foliações e camadas reliquias de baixa



resistência. Desde as etapas iniciais de investigação geotécnica até a análise tátil-visual do material durante os serviços de escavação, o solo local é marcado fortemente por um alto grau de heterogeneidade.

Apesar dos resultados apresentados nos boletins de sondagem, amostras recolhidas durante a execução do programa de investigação geotécnica já apontavam para a heterogeneidade do maciço local e para a presença de formações geológicas peculiares (Figura 4 até a Figura 6). Durante a inspeção no interior do poço, porções de material plástico e sedoso já haviam sido identificadas. Em adição, teores de argila acima de 50% foram constatados pelos ensaios de caracterização, até mesmo em amostras coletadas a 20 m de profundidade (material classificado como silto-arenoso pelos boletins de sondagem).

Conforme análise tátil-visual realizada durante os serviços de escavação, observou-se a continuidade da heterogeneidade do maciço local. As foliações observadas em campo não seguem um único padrão, com mergulho variando em uma mesma frente de escavação, por exemplo (ver Figura 10). Além disso, planos reliquiais milimétricos foram identificados a elevadas profundidades de escavação, caracterizados por materiais plásticos com superfícies brilhosas e sedosas, destoando de forma importante (quanto à consistência e aos parâmetros de resistência) do solo residual adjacente. Essas superfícies reliquiais comandam os mecanismos de instabilidade referentes às escavações verticais realizadas no maciço. Em adição, rupturas locais sob tais planos foram constatadas durante a execução de alguns nichos das cortinas atirantadas.

As constatações realizadas têm sua importância amplificada ao irem de encontro com os resultados observados pelas campanhas de sondagem realizadas previamente. A natureza heterogênea do solo e a presença de planos reliquiais de fraqueza são observadas em profundidades cujos valores de  $N_{spt}$  chegam a superar 40 golpes. O presente trabalho reforça a necessidade da consideração das camadas reliquiais de baixa resistência no dimensionamento das contenções, diante da disparidade das características de resistência das foliações em relação ao pacote de solo residual como um todo. Tais planos reliquiais de fraqueza (com mergulho desfavorável ao plano de corte) comandarão o comportamento da escavação, além de controlar os mecanismos de instabilidade dos cortes.

Dessa forma, mostra-se a importância da implementação de um programa de investigação geotécnica adequado, de forma a investigar de forma profunda as características de um maciço como o descrito no trabalho. Ademais, em maciços com características geotécnicas e geológicas similares às apresentadas no presente trabalho, torna-se indispensável a implementação de um programa de monitoramento para acompanhamento da escavação e contenções, com inclinômetros, células de carga, entre outros dispositivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ehrlich, M., & Silva, R. C. (2015). Behavior of a 31 m high excavation supported by anchoring and nailing in residual soil of gneiss. *Engineering Geology*, 191, 48–60.
- Gomes da Silva, A. M. B. (2006). *Condicionantes Geológico-Geotécnicas de Escavação Grampeada em Solo Residual de Gnaiss* [2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)]. Rio de Janeiro.
- Lima, A. P. (2007). *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss* André Pereira Lima *Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)]. Rio de Janeiro, 431f
- Moura, M. V. S., Ehrlich, M., & Mirmoradi, S. H. (2023). Effects of reliquiaie layer and excavation procedure on the behaviour of anchored structures. *Acta Geotechnica*, 18(11), 6111–6122.
- Saramago, R. P., Ehrlich, M., Silva, L. J. R. O. B. da, Mendonça, M. B. de, & Júnior, J. A. F. (2010). Características Geotécnicas de uma Escavação em Região de Falha Geológica. In: *XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (COBRAMSEG)*, 1–8.
- Suarez, B. E. S. (2005). *Análise morfotectônica e morfométrica do município de Niterói-RJ* [2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Niterói].
- UFF. (2004). *Projeto Avaliação das Encostas de Niterói com Vista aos fenômenos de Deslizamentos – Setor I (Zonas Centro, Norte e Sul)*.