DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/3

Caracterização e determinação de topo rochoso de rochas brandas

Henrique de Oliveira Ramos
Geólogo Geotécnico, MZ Geológica LTDA, Cuiabá - MT, Brasil, mzgeologica@gmail.com

Ilço Ribeiro Junior
Professor, Instituto Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil, ilco.ribeiro@ifmt.edu.br

Cristiano Zandoná dos Santos
Engenheiro Civil, Zandoná Consultoria Ltda, Cuiaba -MT, Brasil, cristianozandona@uol.com.br

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo caracterizar o topo rochoso interceptado por campanha de escavações para implantação de passagem de nível em obra de infraestrutura urbana localizada no município de Cuiabá, estado de Mato Grosso. A geologia predominante no local é definida pela presença de metassedimentos pelíticos do Grupo Cuiabá, caracterizadas como rochas brandas compostas de filitos sericíticos ardosianos. Trazemos uma reflexão teórica acerca da caracterização dos substratos caracterizados pelas investigações geotécnicas preliminares (sondagens SPT e mista) e exposições de rochas desconfinadas, com base nas normas ABGE Nº 109/2024, ABNT NBR 6484/2020 e referências da geologia clássica, uma vez que em cotas rasas das escavações afloravam substratos de rocha em contraposição as cotas do topo rochoso até então estabelecidas pelas sondagens.

PALAVRAS-CHAVE: Topo Rochoso, rochas brandas, filitos, sondagens, escavação.

ABSTRACT: This work aims to characterize the rocky top intercepted by an excavation campaign for the implementation of a level crossing in an urban infrastructure project located in the municipality of Cuiabá, Mato Grosso state. The predominant geology at the site is defined by the presence of pelitic metasediments of the Cuiabá Group, characterized as soft rocks composed of slaty sericitic phyllites. We present a theoretical reflection on the characterization of the substrates characterized by preliminary geotechnical investigations (SPT and mixed soundings) and exposures of unconfined rocks, based on ABGE standards No. 109/2024, ABNT NBR 6484/2020 and references from classical geology, since at shallow excavation levels rock substrates outcropped in contrast to the rocky top levels established by the soundings.

KEYWORDS: Bedrock, soft rocks, phyllites, boreholes, excavation.

1 INTRODUÇÃO

Durante as perfurações das estacas tipo raiz que compõem as estruturas de sustentação do tabuleiro e da cortina da trincheira do viaduto do Complexo Leblon, no município de Cuiabá, foram observadas divergências nas cotas dos topos rochosos dos metassedimentos indicados nos relatórios de sondagem, uma vez que houve a necessidade precoce de utilização de martelo de fundo para o avanço das perfurações, equipamento este utilizado para perfuração de materiais rochosos e/ou de resistência equivalente. Não obstante, amostras retiradas das perfurações das estacas armazenadas no canteiro de obras do consórcio construtor e caracterizações geotécnicas das frentes de escavação da trincheira corroboraram com a diferenciação nas cotas do topo rochoso estabelecidos pelas sondagens preliminares, fator este que impacta diretamente nos custos projetados para a implantação das fundações da obra.

Segundo Lacerda Filho *et al.* (2004), o contexto geológico do local de implantação da obra é definido pela presença de metassedimentos pelíticos do Grupo Cuiabá, caracterizado pelos filitos sericíticos ardosianos associados a fraturas controladas e intrusões de veios de quartzo. Rochas brandas como os filitos e ardósias, segundo Leão (2017) são definidas como material geológico pouco competente, mecanicamente complexo, de alta deformabilidade e baixa resistência, que se situam, em uma escala de propriedades, entre solos e rochas

duras, fator este que influencia diretamente no estabelecimento dos parâmetros de classificação do substrato para este contexto.

Entendemos a existência de uma interface complexa na determinação do topo rochoso em se tratar de rochas brandas, pois com o desconfinamento e relaxamento do maciço, os desplacamentos tendem a facilitar as escavações com equipamentos tipo escavadeiras, escarificadores e similares. Mas em se tratando do material em estado confinado no caso de estacas e tirantes, este desconfinamento não ocorre, sendo necessária técnicas de perfuração adotadas em substratos rochosos.

Antecedendo as evidências, provocamos uma reflexão teórica acerca da classificação das rochas bandas locais pelos parâmetros das investigações geotécnicas preliminares (sondagens) em contraponto com caracterizações geotécnicas das exposições rochosas desconfinadas pelas escavações durante a implantação da obra viária, com materialização e comparação dos perfis geotécnicos definidos por ambos os estudos.

Este artigo tem como objetivo caracterizar e determinar o topo rochoso das escavações da trincheira localizada na obra do Complexo Leblon, a luz das condicionantes geológicas e geotécnicas da região, fomentando subsídios em termos de engenharia, para determinação de resistência e escavabilidade do litotipo interceptado.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA DOS FILITOS, ARDÓSIAS E ROCHAS BRANDAS

As rochas brandas como as ardósias e os filitos são suscetíveis a inúmeras influências intempéricas físico-químicas gerando perfis de intemperismo espessos de até centenas de metros, além da deterioração e enfraquecimento dos materiais pela modificação do estado inicial de tensões, associadas a processos tectônicos (LEÃO, 2017).

Aspectos como a desagregabilidade e expansibilidade, em função da textura da rocha, mineralogia e presença de minerais argilosos são importantes características para classificação das rochas brandas, exercendo influência sobre o comportamento mecânico desses materiais, devido a variação do teor de umidade e estado de tensões (PINHO, 2003). Segundo Taylor (1988), as principais condicionantes para os processos de desagregação das rochas brandas são: Presença de estruturas e descontinuidades (foliações, clivagens e fraturas); Desagregabilidade da rocha motivada pela alternância de umedecimento e secagem; Presença de minerais argilosos expansivos.

Na mecânica das rochas, são empregadas classificações para rochas duras, não considerando o fato de que a rocha branda alterada é mais dúctil, menos resistente e as pressões intersticiais têm grande influência em seu comportamento (PINHO, 2003), tendendo a fornecer parâmetros erráticos para esta variedade de rocha. A ISMR (1981) propõe os termos *"soft"* para rocha de baixa resistência e *"low strength rock"* para rochas brandas fraturadas e alteradas.

Para solos e rochas, de origem sedimentar e metamórfica, Rocha (1977) concluiu que a resistência à compressão uniaxial e a coesão são as propriedades mais adequadas para definir os limites entre solo/rocha, quando nebulosa a sua determinação (SPINK e NORBURY, 1993).

3 GEOLOGIA LOCAL

No contexto regional os metassedimentos do Grupo Cuiabá, localizados na porção centro-sul do Estado de Mato Grosso, mais especificamente na Zona Interna da Faixa Paraguai (1,85 e 1,53 Ga), apresentam evolução associada a um orógeno Neoproterozóico, correlata as faixas móveis Araguaia e Brasília, que compõem a Província Tocantins (LACERDA FILHO *et al.,* 2004).

Segundo Luz *et al.* (1980), afloram na área de estudo as rochas da subunidade 5 do Grupo Cuiabá, composto basicamente por filitos e filitos sericíticos com intercalações de lentes de metaconglomerados, metamorfizadas na fácies xisto verde, conforme observa-se na Figura 1. O material encontrado na obra, confirma a geologia regional das folheações de filitos do Grupo Cuiabá. Vecchiato (1993) descreve que o Grupo Cuiabá propõe 4 fases de deformação regionais associados a metamorfismo de grau fraco. As Fases D1, D2 e D3 apresentam *trend* NE-SW com estruturas mergulhando preferencialmente para NW.

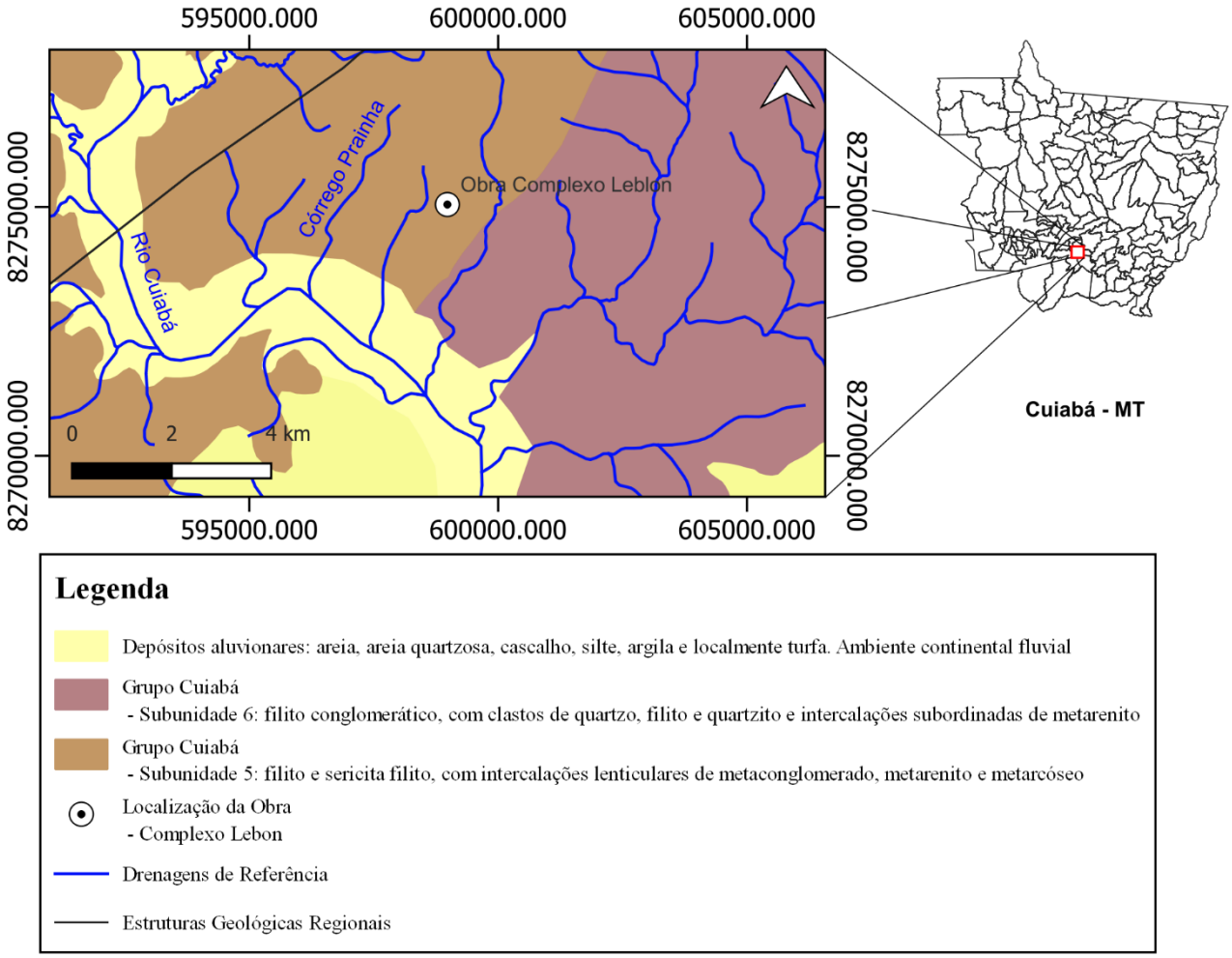


Figura 1. Mapa Geológico Regional da região central do município de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil (Alterado de Lacerda Filho *et al.*, 2006).

5 METODOLOGIA DE TRABALHO

5.1 Sondagens Rotativas

Na fase preliminar da obra foram realizadas 02 (duas) campanhas de sondagem para investigação geotécnica, colaborando para 05 (cinco) pontos de sondagem a percussão (SPT) e 06 (seis) pontos de sondagem mista (SPT + Rotativa), de acordo com as ABNT NBR 6484 (2020) e ABNT NBR 6490 (2016). Os dados das sondagens realizadas foram analisados e correlacionados com as litologias detectadas nos estudos de descrição das trincheiras e exposições de escavação, com o objetivo de reconstituir os pacotes em subsuperfície baseado em conceitos das vertentes geológica e geotécnica do local.

5.2 Descrição das Trincheiras e exposições

Compondo a fase de investigação deste estudo, para viabilidade da classificação e descrição direta do topo rochoso, foram abertas 02 (duas) trincheiras com auxílio de escavadeira hidráulica, com o objetivo de expor o contato do pacote de solo (superior) com as rochas alteradas da base.

A descrição do maciço foi realizada com base nas exposições das faces de escavação, em 04 (quatro) pontos, espaçados em aproximadamente 50 (cinquenta) metros, para cobertura/investigação total da área da obra. As descrições geotécnicas são baseadas em caracterizações qualitativas e quantitativas dos litotipos

presentes, com foco nas cotas de topo e base, grau de alteração, coerência, estruturas principais (acamamentos, foliações, fraturas) e disposição dos contatos.

Nos afloramentos descritos foram verificadas as profundidades dos contatos solo-rocha, auxiliado de equipamentos de aferição métrica, além das análises dos parâmetros físicos e estruturais dos pacotes, auxiliados de equipamentos como martelo de geólogo, lupa, bússola, caneta magnética e caderneta de campo.

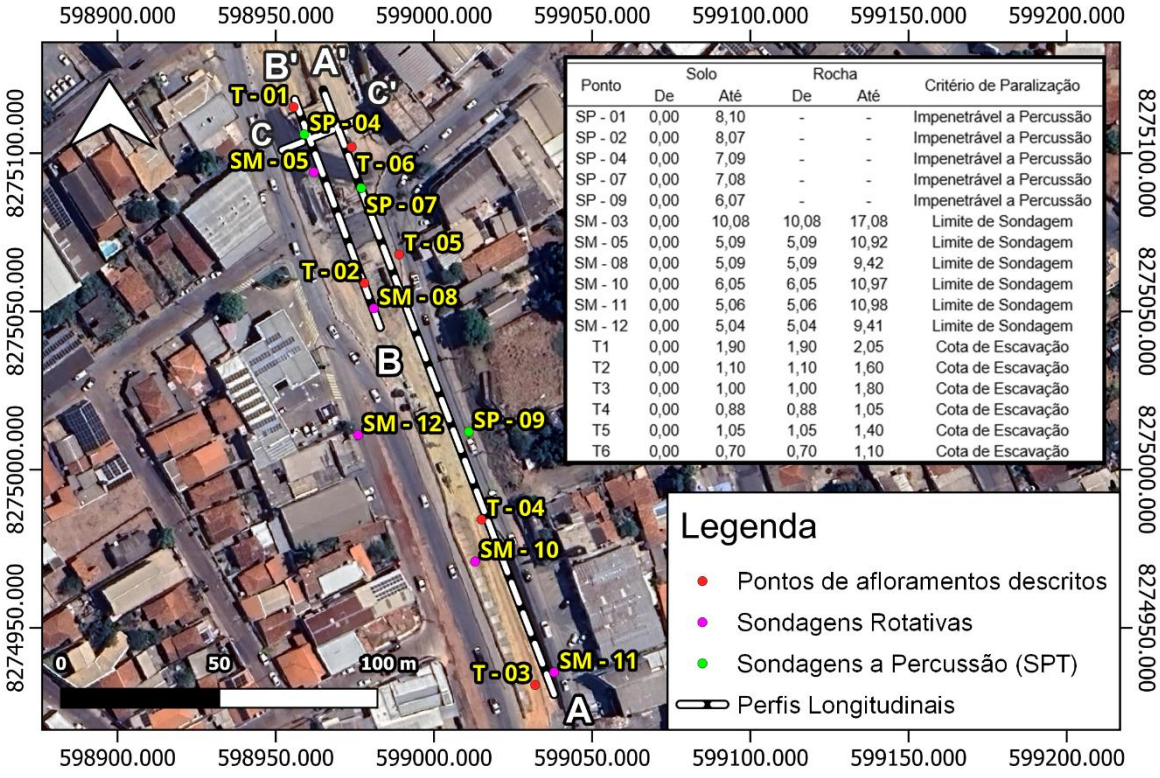
A classificação geológica geotécnica do topo rochoso obedeceu a norma da ABGE Nº 109 (2024) para simples classificação litológica macroscópica, considerando o grau de alteração, grau de coerência, grau de fraturamento e caracterização das descontinuidades como via plausível de correlação das exposições de rocha com as sondagens rotativas executadas inicialmente.

A ABGE (2021) define que o grau de alteração indica os estágios de modificação física e química da assembleia mineral de uma rocha decorrente de processos de intemperismo. As influências das ações intempéricas nos maciços rochosos colaboram com a perda de resistência mecânica do material. Durante as descrições geotécnicas de rochas brandas é importante avaliar a correlação do Grau de Alteração com o Grau de Coerência, devida a aplicação preferencial da coesão para esta litologia, para assim facilitar a identificação e distinção dos horizontes do perfil de intemperismo. O grau de coerência avalia a resistência da rocha por meio de esforços a compressão, resistência a risco e impacto do martelo de geólogo, descrevendo assim a sua fragilidade, dureza e tenacidade. O Grau de Fraturamento é o parâmetro que expressa a quantidade de descontinuidades (fraturas/juntas) contidas por metro linear, complementando com a caracterização da orientação destas estruturas e natureza das paredes das descontinuidades.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste estudo são referentes a correlação dos resultados da investigação das sondagens mistas associadas a caracterização geológica das exposições de rocha dos taludes de escavação, provocando uma discussão focada na qualificação e caracterização geotécnica destes materiais.

A Figura 2 mostra a locação dos pontos de sondagens mista e a percussão (SM e SP) realizados na etapa preliminar da obra, bem como os pontos de descrição de trincheira (T), com o resumo dos perfis estabelecidos por meio das investigações diretas, com foco nos contatos solo-rocha estabelecidos.



Ponto	Solo De	Solo Até	Rocha De	Rocha Até	Critério de Paralização
SP - 01	0,00	8,10	-	-	Impenetrável a Percussão
SP - 02	0,00	8,07	-	-	Impenetrável a Percussão
SP - 04	0,00	7,09	-	-	Impenetrável a Percussão
SP - 07	0,00	7,08	-	-	Impenetrável a Percussão
SP - 09	0,00	6,07	-	-	Impenetrável a Percussão
SM - 03	0,00	10,08	10,08	17,08	Limite de Sondagem
SM - 05	0,00	5,09	5,09	10,92	Limite de Sondagem
SM - 08	0,00	5,09	5,09	9,42	Limite de Sondagem
SM - 10	0,00	6,05	6,05	10,97	Limite de Sondagem
SM - 11	0,00	5,06	5,06	10,98	Limite de Sondagem
SM - 12	0,00	5,04	5,04	9,41	Limite de Sondagem
T1	0,00	1,90	1,90	2,05	Cota de Escavação
T2	0,00	1,10	1,10	1,60	Cota de Escavação
T3	0,00	1,00	1,00	1,80	Cota de Escavação
T4	0,00	0,88	0,88	1,05	Cota de Escavação
T5	0,00	1,05	1,05	1,40	Cota de Escavação
T6	0,00	0,70	0,70	1,10	Cota de Escavação

Figura 2. Pontos de Afloramentos Descritos (T), Sondagens Rotativas (SM), Sondagens a Percussão (SP) e Perfis Longitudinais (A-A', B-B' e C-C'), anexa ao resumo de profundidades dos contatos solo-rocha.

Foram traçados perfis longitudinais A – A', B – B' e C – C', locados conforme a Figura 2 e expressos conforme Figura 3. Nos pontos T1 e T2 foram abertas trincheiras para acesso ao contato rocha-solo, enquanto nos pontos T3 a T6 foram descritos aproveitando as frentes de escavação.

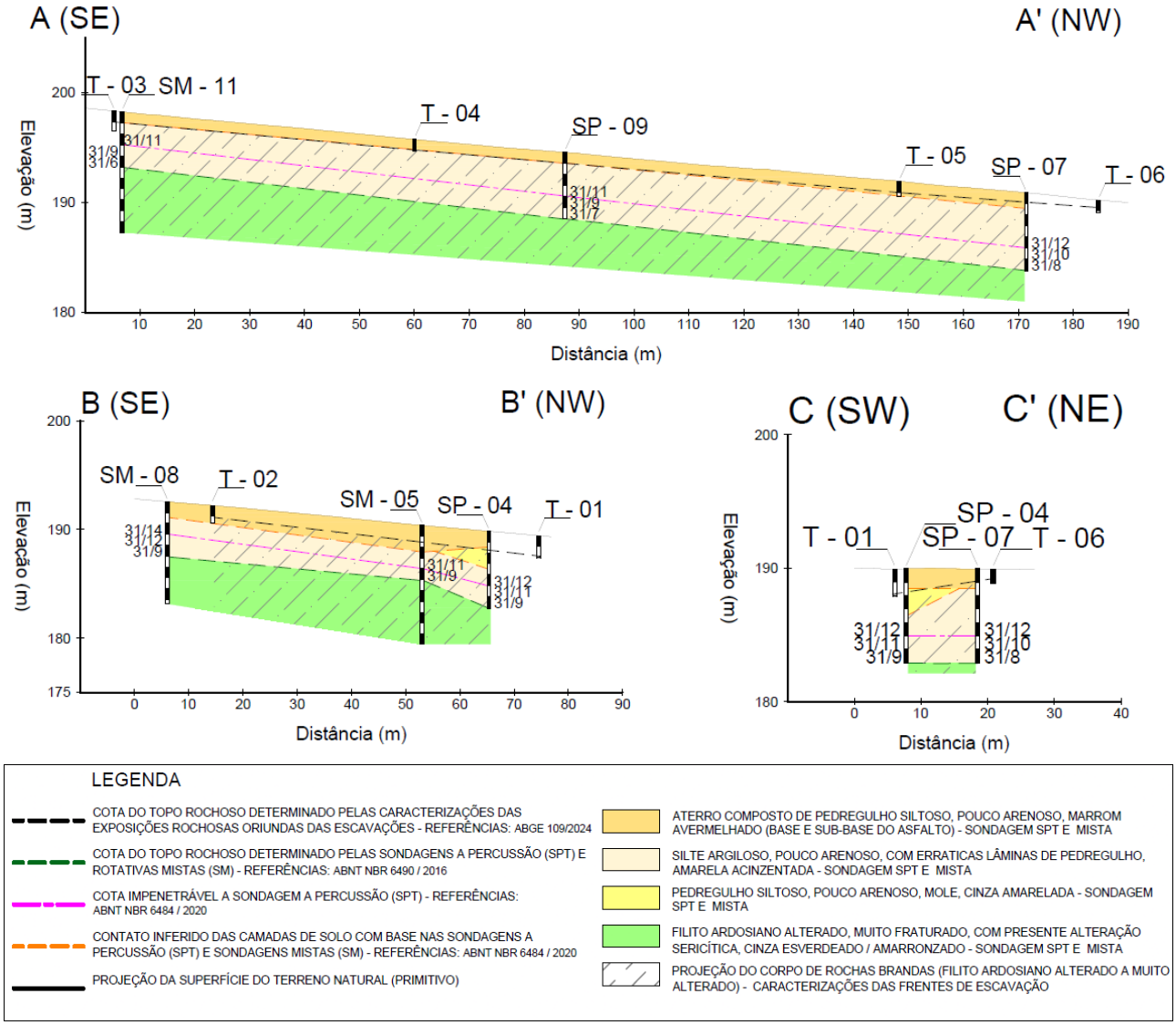


Figura 3. Perfis longitudinais A-A', B-B' e C-C' com legenda correspondente.

Baseado nos resultados de SPT e das sondagens mistas, neste primeiro momento se estabelece as cotas de transição entre solo e rocha no nível "Impenetrável a Percussão" dos perfis.

Segundo a ABNT NBR 6484 (2020), o nível de solo será considerado "Impenetrável a Percussão" quando na cota de fundo da manobra, em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar de 30 ou se não for observado o avanço do amostrador durante a aplicação de 5 golpes sucessivos do martelo. Considerando estas definições, foram observados estes cenários nos perfis de sondagem entre as profundidades de 3 e 4 metros, com exceção do SM – 3, nos permitindo constatar o início de níveis "duros" nestas profundidades, em razão da interceptação de pacotes menos alterados das rochas brandas, possibilitando o avanço do ensaio somente por meio de lavagem do furo.

A sondagem SPT caracteriza a resistência a penetração do amostrador padrão, entretanto em função do ângulo de mergulho da foliação pode haver maior facilidade em relação à penetração, maculando a interpretação do topo rochoso (PINHO, 2003).

Os pontos de descrição das escavações foram posicionados a montante e jusante dos pontos investigados previamente por meio das sondagens (SPT e Rotativa), com o objetivo de correlacionar lateralmente as litologias observadas nos dois momentos.

Nos perfis longitudinais da Figura 3 podem ser observados os dados coletados a partir dos pontos sondados em contraponto com o observado nas escavações iniciais da obra, com a exposição dos filitos da Baixada Cuiabana.

Os contatos solo-rocha nos pontos das sondagens variaram entre as profundidades de 5,04 m e 10,08 m, em relação a cota de boca de cada furo, dados estes que variam de acordo com a sua locação, ocorrendo solos mais rasos no SM – 11 (cota alta do terreno) e os mais espessos no SM – 03 (cota baixa do terreno).

De maneira global, as sondagens mistas executadas caracterizam o substrato rochoso como filitos sericíticos, com planos de foliação bem definidos, por vezes ocorrendo clivagem ardosiana, muito a extremamente alterada (A3/A4), pouco coerente a incoerente (C3/C4), com *Rock Quality Designation* (RQD) de grau 5 (muito pobre), extremamente fraturada (F5), com planos das descontinuidades preferencialmente lisas (S2) e de inclinações suborizontais a Inclinadas (SH/I), e colorações variando entre verde e cinza.

Com relação às descrições das paredes escavadas e trincheiras foram detectados níveis de solo mais rasos quando comparados aos ensaios de sondagem, com o topo rochoso variando entre 0,7 m e 1,90 m de profundidade, sobrepostas por camadas de aterro altamente compactadas que compõem a base e sub-base da pavimentação da Avenida Miguel Sutil, como pode ser visto nas Figuras 4A.

Os afloramentos são compostos de filito ardosiano, parcialmente oxidado, com presente alteração sericítica e planos de foliação/clivagem bem definidos mergulhando para noroeste em médio ângulo (*trend* NE-SW), ocorrendo rochas alteradas moles (A3), pouco a mediamente coerente (C2 - C3), mediamente fraturada (F3), com planos das descontinuidades preferencialmente lisas (S2) representados por fraturamentos inclinados a subverticais (I - SV) preferencialmente preenchidas por película de oxidação (Figura 4B) mergulhando em alto ângulo para nordeste (*trend* NW-SE), perfazendo colorações que variam entre marrom acinzentada a esverdeada.

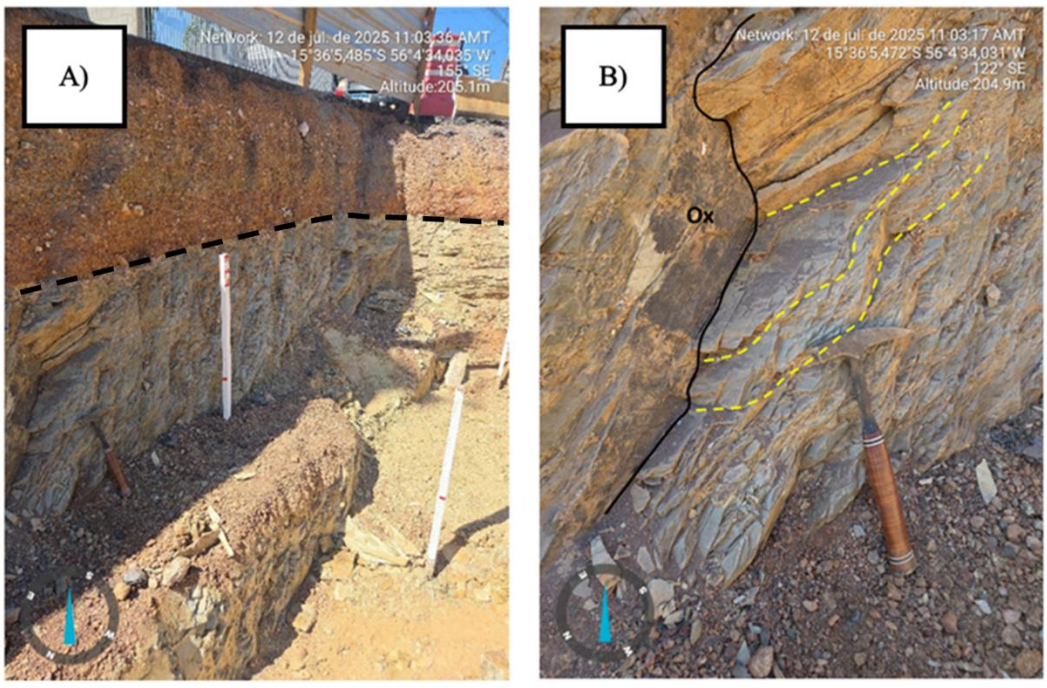


Figura 4. A) Contato (linha tracejada preta) da base de solo compactado do pavimento asfáltico sobrepondo os filitos sericíticos do Grupo Cuiabá em cotas rasas do terreno. B) Detalhe da clivagem ardosiana (linha tracejada amarela) do metassedimento e fraturamento perpendicularizado (linha preta) preenchidos por oxidação.

Os níveis do filito caracterizado são escaváveis com escarificadores (característica restrita das rochas brandas), com intensa transformação físico-química, quebrável ao golpe de martelo de geólogo, onde a lâmina provoca sulcamento na superfície durante o teste de coesão.

Nos planos de clivagem, por se tratar de zonas de fraqueza da rocha, observa-se veios de quartzo concordantes com estas estruturas, além do fraturamento penetrativo próximo a estas zonas. As estruturas de deformação (foliação, clivagem) observadas nos filitos expostos pelas escavações da obra, geometricamente, apresentam relação angular com as estruturas reliquiares (acamamentos – S_0) do protólito destas rochas.

Ao longo das descrições dos afloramentos foi possível observar que nas bordas das frentes de escavação ocorrem desplacamentos expressivos concordantes aos planos de clivagem e de fratura. Segundo Ribeiro Junior (2022) a instabilidade, ou desplacamento, dos solos e metassedimentos da Baixada Cuiabana podem ser ativados devido ao acréscimo de umidade, presença de argilominerais expansivos ou alívio das tensões de confinamento sobre o material, fatos estes que colaboram para o desmonte dos níveis saprolíticos durante atividades de escavação.

Exclusivamente no ponto de sondagem SPT – 04, foi descrito um nível de "Pedregulho argiloso, variegado, mole", com número máximo de SPT igual a "2", situação similar com a observada em T – 01, devido a ocorrência do saprólito muito alterado, mole, com expressiva umidade, amarelo a esverdeado, apresentando surgência e fortes sinais de fluxo d'água. Também foi observada a surgência de água no ponto investigado T – 02, a partir de 1,40 m, porém com a surgência d'água associada ao topo rochoso.

Segundo os estudos de classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em ambientes tropicais de Vaz (1996), nos permite classificar como RAM (Rocha alterada mole) as rochas interceptadas pelas frentes de escavação, onde o autor descreve este horizonte como sendo um intervalo que pode ser escavado manualmente com auxílio de picareta e martelo de geólogo, ou mecanicamente. Vaz (1996) complementa que estes níveis são perfuráveis pelo processo de lavagem da sondagem a percussão, se assemelhando aos materiais de 2ª categoria nos níveis de escavabilidade.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve sua concepção a partir da dificuldade sobre a definição do topo rochoso dos metassedimentos nas fases de perfuração das estacas raiz, utilizadas como fundação do tabuleiro da trincheira do complexo Leblon, na Cidade de Cuiabá – MT. As amostras extraídas em cotas rasas das perfurações das estacas perfaziam características de rocha em contraposição aos níveis do topo rochoso até então estabelecidas pelos *logs* de sondagens preliminares. Com a escavação da trincheira propriamente dita, foi possível observar com clareza o topo rochoso existente, possibilitando a assertividade nos resultados, com base na ABGE Nº 109 (2024) e ABGE (2021).

Segundo autores, a divergência de cotas encontradas entre as sondagens e a visualização em campo está relacionada com o próprio processo de execução das sondagens, pois os filitos possuem diferentes resistências conforme o plano de clivagem ardosiana, face ao ângulo de penetração do amostrador em relação à superfície, bem como a perda de resistência por percussão com lavagem, induzindo a classificação do topo rochoso como material inconsolidado.

É perfeitamente visível nas paredes/faces das escavações a presença dos filitos do Grupo Cuiabá, seja pelas estruturas primárias da rocha (foliações e clivagens) e/ou pelas descontinuidades presentes (juntas e fraturas), produzindo desprendimentos em blocos, divergindo de eventos naturais observados em solos residuais.

Se tratando de rocha RAM (Rocha Alterada Mole), são mantidas as características matrizes da rocha mãe, necessitando ainda de processos de intemperização e/ou alterações físico-químicas, para transformar-se em solo residual jovem, diferenciando assim as rochas alteradas dos saprólitos em relação a resistência ao golpe do martelo de geólogo e pressão dos dedos.

A determinação do topo rochoso numa obra é fundamental pois define o tipo de escavabilidade do material, e por consequência o impacto financeiro, uma vez que é ponto crucial para a remuneração das escavações, determinação dos consumos de concreto nos processos de injeção e manutenção das faces de escavação devido ao alívio de tensões / relaxamento do rocha, bem como do ponto de vista estrutural, para obtenções das resistências do maciço e consequente capacidade de carga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2021) *Investigação geológico-geotécnicas: guia de boas práticas*. In: MONTICELLI, J. J. (Editor). São Paulo.

Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (2024). Norma ABGE 109/2024: *Descrição e classificação de sondagens.* 1ª ed. São Paulo.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020) NBR 6484 - Solo — *Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

ISRM (1981) Basic Geotechnical Description for Rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 18.

Lacerda Filho *et al.* (2004) Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso: texto explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. CPRM; SICME-MT. Mato Grosso.

Leão, M. F. (2017) *Comportamento Geomecânico de Frente de Intemperismo em Filito da Região do Quadrilátero Ferrífero.* Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

Luz, J. S. *et al.* (1980) *Projeto Coxipó*. DNPM/CPRM. Volume 136 P. (Relatório Final). Goiânia.

Pinho, A.B. (2003) *Caracterização geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência – o flysch do baixo alentejo. 2003. 283f.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia, Universidade de Évora, Évora.

Ribeiro Junior, I. (2022) *Influência da Estrutura Reliquiar no Comportamento Geomecânico de um Perfil de Solo Residual da Baixada Cuiabana*. Tese de Mestrado, Faculdade de Geociências (FAGEO), Universidade Federal de Mato Grosso. Mato Grosso.

Rocha, M. (1977) Alguns problemas relativos à Mecânica das Rochas dos materiais de baixa resistência. Memória n°491, LNEC, Lisboa.

Spink, T. W.; Norbury, D. R. (1993) The engineering geological description of weak rocks and overconsolidated soils. The Engineering Geology of Weak Rock. In: 26 Annual Conference of the Engineering Group of the Geological Society, *Anais...* Leeds, United Kingdom.

Taylor, R. K. (1988) Coal measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. *Quartely Journal Engineering Geology*, 21.

Vaz, L. F. (1996) Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Alteração de Rocha em Regiões Tropicais. Solos e Rochas, v.19, nº.2, São Paulo.

Vecchiato, A. B. (1993*) Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Cuiabá – MT (Escala 1:25.000).* Tese de Doutoramento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo.