

CONTRIBUIÇÃO ACERCA DOS PARÂMETROS GEOMECÂNICOS DO FILITO ITABERABA EM CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

Felipe Alves Fernandes Garcia ¹; Wilson Shoji Iyomasa ²

Resumo – O presente trabalho tem o objetivo de apresentar os resultados laboratoriais como contribuição técnica para caracterização geológica-geotécnica de solos residuais de filito da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP. A campanha realizada de ensaios laboratoriais teve como finalidade a determinação de parâmetros para avaliação técnica visando a aplicação do solo residual de filito na construção de uma rodovia classe 0, salientando que esse tipo de solo, em geral, são preteridos em obras civis pelas suas características e propriedades técnicas. Os estudos foram desenvolvidos a partir de amostras extraídas de blocos indeformados, que foram submetidos aos ensaios geotécnicos convencionais, bem como aos ensaios para determinação da resistência dos materiais, tanto de cisalhamento direto quanto triaxiais, em condições específicas. Os resultados alcançados nesses ensaios permitiram auxiliar na definição dos projetos executivos das obras referentes aos cortes de encostas naturais, aos aterros compactados e aos taludes de emboques de túneis.

Abstract – This paper aims to present laboratory test results as a technical contribution to the geological-geotechnical characterization of residual phyllite soils in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP). The laboratory testing campaign was conducted to determine parameters for technical evaluation, with the objective of assessing the feasibility of using residual phyllite soil in the construction of a Class 0 highway. It is important to emphasize that this type of soil is generally overlooked in civil engineering projects due to its characteristics and technical properties. The study was carried out using samples extracted from undisturbed blocks, which were subjected to conventional geotechnical tests, as well as strength tests, including direct shear and triaxial tests, under specific conditions. The results obtained from these tests contributed to the definition of executive designs for works related to natural slope cuts, compacted embankments, and tunnel portal slopes.

Palavras-Chave – Filito; Formação Itaberaba; Solo Residual; Cisalhamento; Resistência.

¹ Eng., Esp, Msc (andamento) - THEMAG Engenharia e Gerenciamento Tel. (11) 97012-3672, felipe.fernandesgarcia@gmail.com

² Geól., Dr. pela EESC-USP, Tel. (11) 3767-4372 - IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do ESP, SP, wsi@ipt.br

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço urbano em São Paulo, e com intuito de melhorar a mobilidade urbana na capital, o governo do estado frequentemente propõe projetos de novas vias para utilização de veículos leves e pesados. Diante disso, há em andamento, nos limites da cidade de São Paulo, situado na região norte e junto ao município de Guarulhos, a construção de uma rodovia do tipo classe 0, segundo os critérios do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. A referida região, sob o aspecto do transporte de cargas pesadas é tido como complexo, uma vez que unem rodovias expressas de intensos fluxos como: Ayrton Senna (SP-070); Presidente Dutra (BR-116); Fernão Dias (BR-381); Bandeirantes (SP-348) e Anhanguera (SP-330).

É neste contexto que são executadas obras de aterros, corte em taludes naturais e escavação dos espelhos de emboques de túneis, que são sustentados por solos residuais de rochas do tipo filito, bem como utilizados como materiais de construção. No presente trabalho destacam-se os resultados obtidos em ensaios laboratoriais realizados em amostras de solo residual de filito.

É importante mencionar que o filito e os solos de alteração possuem características peculiares que requer atenção especial durante a etapa de prospecção do terreno para elaboração de projetos, sobretudo, para cortes de encostas naturais, espelho de emboques de túneis e para uso em aterro compactado, já que esses materiais condicionam fortemente a estabilidade do maciço. Ressalta-se que tais características podem estar atreladas às condições mineralógicas e/ou às estruturas geológicas, presentes no filito, que se mantêm preservadas nos solos residuais, resultantes do processo de alteração da rocha (filito).

Dadas as condicionantes mencionadas, e com o intuito em agregar novos dados técnicos sobre parâmetros de solos residuais de filito, no presente estudo são discutidos e apresentados os resultados obtidos para contribuição à comunidade técnica que atuam em obras de infraestrutura.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para o desenvolvimento deste trabalho, desde a coleta das amostras de campo até a execução de ensaios laboratoriais, adotaram-se os procedimentos técnicos, conforme estabelecido nas normas vigentes. Para execução dos ensaios laboratoriais em solos residuais de filito adotam-se os procedimentos técnicos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: NBR 7181:2016, NBR 6458:2016, NBR 6459:2016, NBR 7180:2016, NBR 16867:2020 e NBR ISSO 12957-1.

As amostras foram extraídas de blocos indeformados de solos residuais (ou de alteração) pertencente aos domínios filíticos da Formação Serra de Itaberaba. Os ensaios visaram extrair parâmetros dos materiais para entendimento do seu comportamento quando expostos aos cortes rodoviários e nos espelhos de emboques de túneis, assim como suas características físicas para uso nos aterros das construções.

A amostra 01 foi extraída do bloco retirado de um poço de inspeção, quando a escavação foi paralisada em 6,0m de profundidade. Nessa profundidade o terreno foi identificado como solos residuais e apresentava-se sobreposto em rocha alterada mole (RAM) de filito, que também foi coletada para ensaio. As amostras 02 e 03, também pertencentes ao mesmo domínio geológico, foram extraídas próximas à superfície do terreno em profundidades menores, respectivamente, a 1,5m e 1,2m, faixa com ocorrência apenas de solo residual. Desse modo, as amostras foram submetidas aos ensaios para caracterização granulométrica, limites de Atterberg e densidade dos grãos e aos ensaios de cisalhamento direto paralelo ao plano da foliação preservada.

Os resultados obtidos nos ensaios foram comparados com dados bibliográficos disponíveis na literatura técnica, conforme discutido nos itens que seguem.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO PERTENCENTE AO MATERIAL DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no contexto geológico regional da Faixa São Roque (Hasui *et al.* 1975), setor central da Província Estrutural Mantiqueira (Almeida e Hasui, 1984) pertencente ao Cinturão de Dobramentos Ribeira (Almeida *et al.*, 1973 *apud* Martin, 2000). Esta faixa de dobramentos ocorre como uma cunha alongada segundo a direção E-W e é caracterizada pela sequência metassedimentar dos Grupos São Roque e Serra de Itaberaba sobreposta ao embasamento gnáissico-migmatítico que aflora como faixas alongadas ou janelas irregulares (Dantas, 1990).

As observações locais, associados às características descritas na bibliografia (JULIANI, *et al.* - 1983), permitem afirmar que a área estuda é constituída por solos residuais decorrente da decomposição de rochas da Formação Serra de Itaberaba, sobretudo de rochas do tipo filitos. São solos siltosos e, localmente, ocorrem rocha alterada mole (RAM) de filito.

Na região há um importante agrupamento de estruturas geológicas, sendo as principais, as falhas denominadas por Falha Mandaqui, Falha do Cabuçu e Falha do Rio Jaguari, que interceptam por todo o traçado da rodovia. Tais estruturas estão preservadas nos solos residuais.

A **Figura 1**, **Figura 2** e **Figura 3** apresentam o contexto geológico (CPRM, 2007) e o local onde foram extraídas as amostras de solo, e ao lado da planta, são apresentados segmentos das seções geológico-geotécnicas da campanha de investigações.

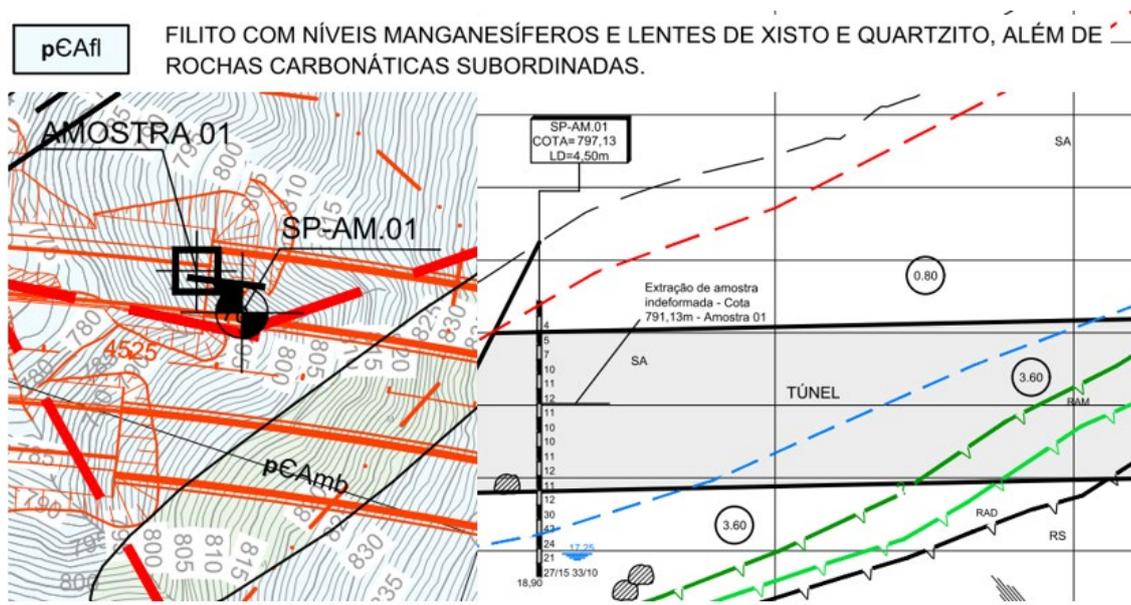


Figura 1 – Contexto geral da geologia e a localização da amostra 01, extraída para ensaios de resistência e caracterização geotécnica. Ao lado, são apresentados fragmentos das seções geológico-geotécnicas.

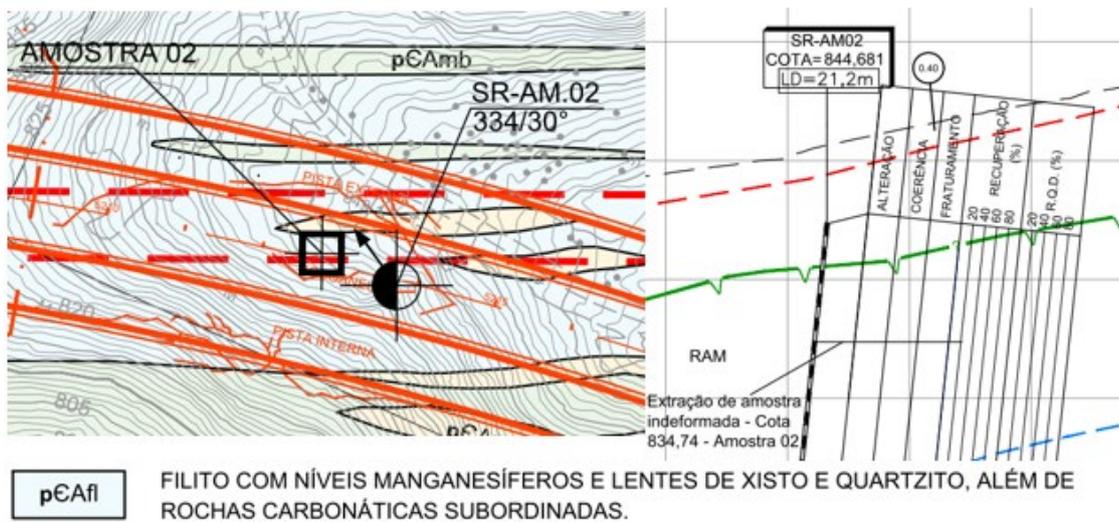


Figura 2 - Contexto geral da geologia e a localização da amostra 02, extraída para ensaios de resistência e caracterização geotécnica. Ao lado, são apresentados fragmentos das seções geológico-geotécnicas.

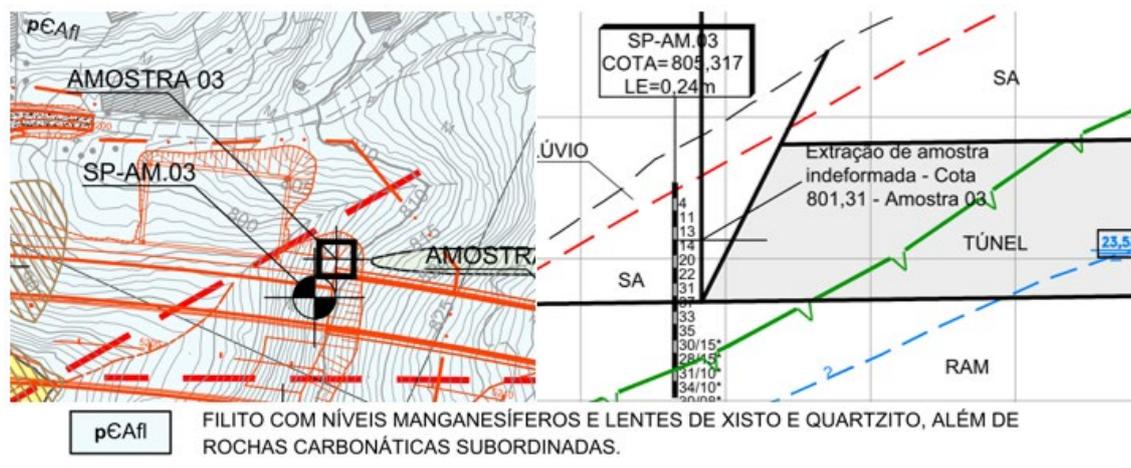


Figura 3 - Contexto geral da geologia e a localização da amostra 02, extraída para ensaios de resistência e caracterização geotécnica. Ao lado, são apresentados fragmentos das seções geológico-geotécnicas.

4. ENSAIOS LABORATORIAIS – RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física do solo residual, submetidos aos ensaios laboratoriais, estão representados na **Figura 4** e **Tabelas 1 a 2**.

A **Figura 4** apresenta as curvas granulométricas das três amostras ensaiadas de solo residual que, de forma geral, corresponde a um solo essencialmente siltoso, pouco arenoso (F) com raros fragmentos de pedregulhos. A **Tabela 1** contém os resultados dos ensaios de caracterização geral do material, como densidade e limites de Atterberg obtidos nos ensaios executados. Nessa tabela são apresentados também os dados extraídos da literatura para facilitar as comparações. Já a **Tabela 2**, apresentam-se os parâmetros de resistência, na condição inundada e em umidade natural, paralelo às feições estruturais do material. Foram adicionados os dados obtidos na bibliografia para facilitar o comparativo.

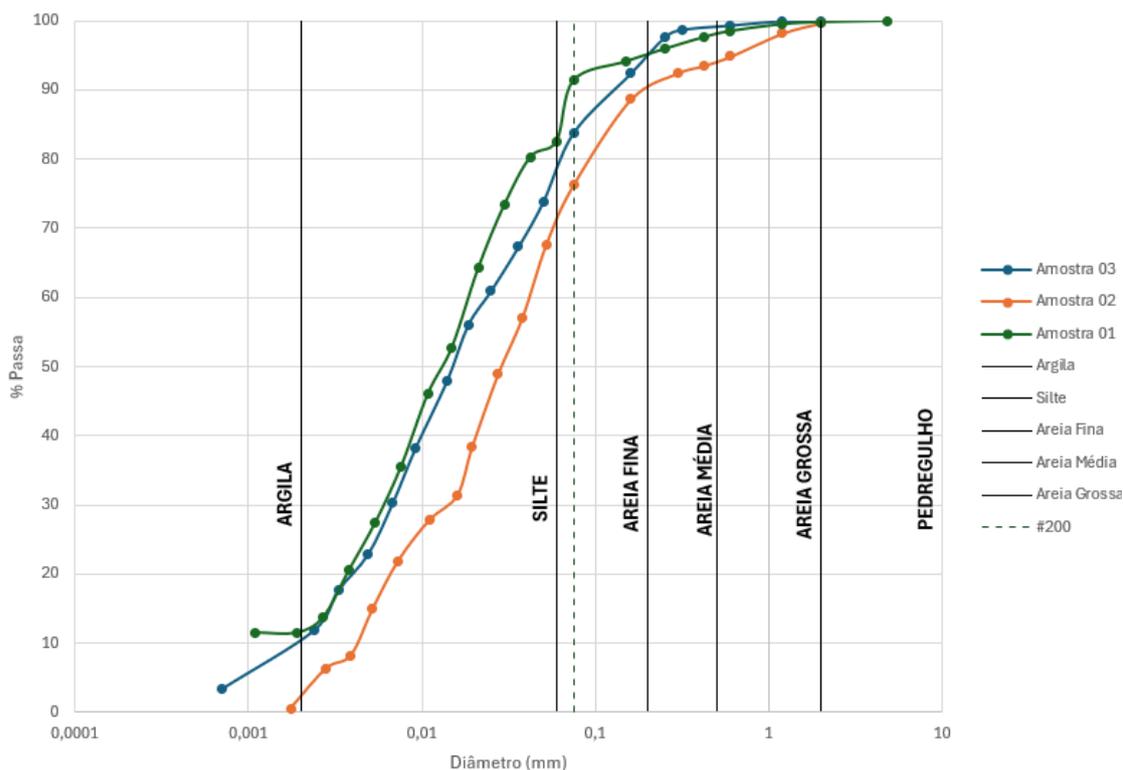


Figura 4 – Curva granulométrica das amostras 01, 02 e 03.

Tabela 1 – Parâmetros de caracterização e limites de Atterberg obtidos nos ensaios realizados.

PARÂMETROS	RESULTADOS OBTIDOS			BIBLIOGRAFIA		
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Filito Tremembé (ABMS, 2012)	Filito interior (SP) mínimo (ABMS, 1992)	Filito interior (SP) máximo (ABMS, 1992)
$\gamma_{\text{grãos}} \text{ (kN/m}^3\text{)}$	2,71	2,75	2,96	-	-	-
W (%)	-	17,4	43,9	-	-	-
$\gamma_{\text{Nat}} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$	-	1958	1720	1740	1870	1870
e	-	0,65	1,46	0,78	0,94	0,94
S (%)	-	74	59	-	-	-
LL	47	43	67	48	68,9	68,9
LP	30	30	47	32	34,5	34,5
IP	17	13	20	16	34,4	34,4

Onde: $\gamma_{\text{grãos}}$ – peso específico dos grãos; γ_{nat} – peso específico natural; e – índice de vazios; w – teor de umidade; Sr – grau de saturação; LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; IP – Índice de plasticidade

Tabela 2 - Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de cisalhamento direto em diferentes condições, paralelos às feições geológicas estruturais.

PARÂMETROS (PARALELO)	RESULTADOS OBTIDOS			BIBLIOGRAFIA					
	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Filito (Cruz, 2004)	Filito Micáceo (Cruz, 2004)	Filito Tremembé (ABMS, 2012)	Filito interior (SP) mínimo (ABMS, 1992)	Filito interior (SP) máximo (ABMS, 1992)	
Umidade natural	c'	71,5	44	47	0	60	15	5	60
	ϕ'	30	25	22	24	41	29	24	32
Inundado	c'	36	82	30	-	-	-	-	-
	ϕ'	31	21	24	-	-	-	-	-

Onde: c' – coesão; ϕ – ângulo de atrito; em diferentes condições.

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados na condição de umidade natural e inundado, e promovendo-se variações na tensão atuante nos carregamentos uniaxiais. As rupturas resultantes ocorreram de forma paralela à estrutura reliquiar, sobretudo da foliação das amostras. Conseqüentemente, os resultados obtidos foram associados à resistência desse plano de fragilidade.

As **Figuras 5 a 7** mostram as relações entre as tensões de cisalhamento e as tensões axiais, contendo os resultados dos ensaios realizados e os parâmetros das envoltórias de resistência.

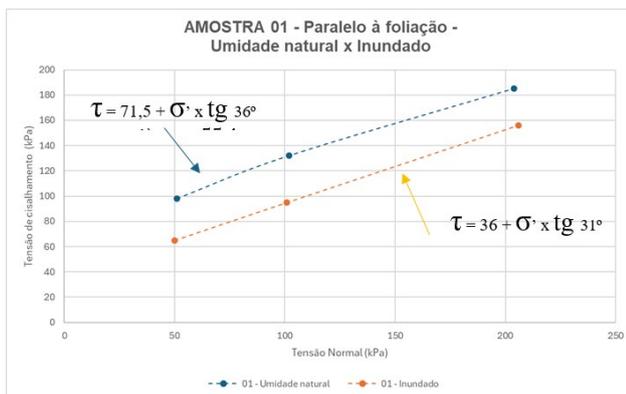


Figura 5 - Resultados obtidos da amostra 01 para a condição inundada e em umidade natural com indicação das envoltórias de resistência.

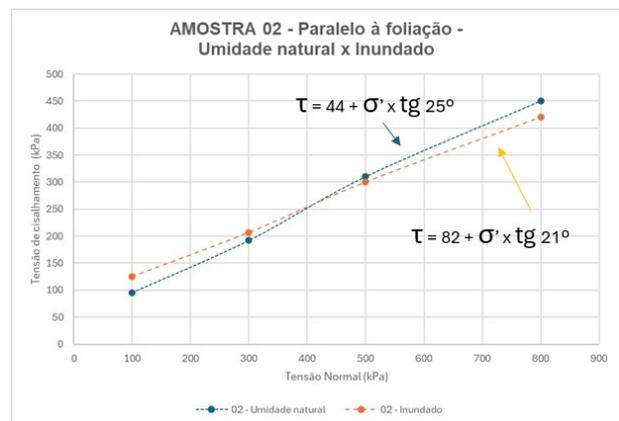


Figura 6 - Resultados obtidos da amostra 02 para a condição inundada e em umidade natural com indicação das envoltórias de resistência.

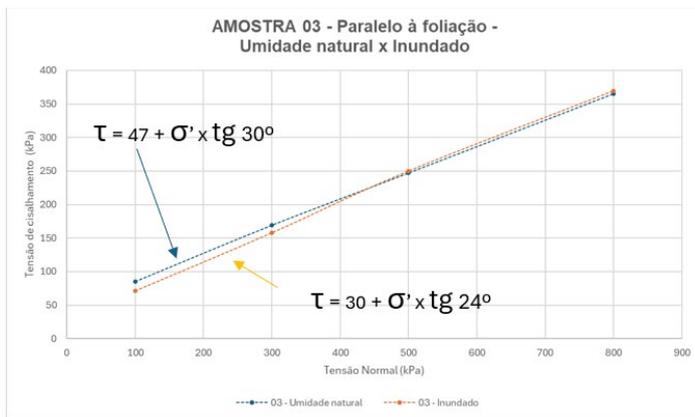


Figura 7 - Resultados obtidos da amostra 03 para a condição inundada e em umidade natural com indicação das envoltórias de resistência.

5. VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DE RESISTÊNCIA

5.1. CISALHAMENTO DIRETO

Para efetuar as comparações entre resultados alcançados e com os dados disponibilizados na literatura, destacam-se:

- Cruz (2004), faz a exposição de alguns parâmetros obtidos para filitos e filitos micáceos, submetidos aos ensaios de cisalhamento direto, na condição de umidade natural e com plano de ruptura disposto paralelamente à foliação do maciço. Para ambos os materiais, obtiveram-se as equações 1 e 2, referente à resistência pelo método de Mohr Coulomb:

$$\text{Filito} - \tau = \sigma' \text{tg} 24^\circ \quad (\text{eq. 1})$$

$$\text{Filito Micáceo} - \tau = 60,0 + \sigma' \text{tg} 41^\circ \quad (\text{eq. 2})$$

- A publicação da ABMS (1992 e 2012) apresenta os resultados de estudos de solos do interior de São Paulo, bem como da cidade de São Paulo, referente aos filitos estudados. Tais publicações apresentam as equações 3, 4 e 5 com os dados de resistência para os materiais estudados.

$$\text{Filito (interior de São Paulo) em condições mínimas obtidas: } \tau = 5,0 + \sigma' \text{tg} 24^\circ \quad (\text{eq. 3})$$

$$\text{Filito (interior de São Paulo) em condições máximas obtidas: } \tau = 60,0 + \sigma' \text{tg} 32^\circ \quad (\text{eq. 4})$$

$$\text{Filito (Cidade de São Paulo) na região do Tremembé: } \tau = 15,0 + \sigma' \text{tg} 29^\circ \quad (\text{eq. 5})$$

A seguir, é apresentado o compilado gráfico com o comparativo entre as envoltórias de resistência dos materiais ensaiados atrelado aos dados obtidos na bibliografia e exposto nas equações 1 a 5. Quando da comparação, percebe-se que as amostras ensaiadas possuem limites de resistência dentro do acervo técnico em comparação.

5.2. ENSAIO TRIAXIAL – PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA POR TRAJETÓRIA DE TENSÕES

Durante a realização de ensaios laboratoriais, a amostra 01 foi submetida à ensaios triaxiais do tipo CIUsat, com diferentes carregamentos para a determinação da envoltória de resistência do solo residual de filito, além da determinação de sua resistência por meio da trajetória de tensões. Quanto aos resultados obtidos, ressalta-se que há variações nos resultados em função da condição de análise, seja em termos de tensões totais, seja em termos de tensões efetivas. Já as tensões efetivas do ensaio CIU sat (considerado em todos os cenários deste estudo), apresentaram resultados considerados coerentes quando comparados aos ensaios de cisalhamento direto ou quando comparado aos dados da bibliografia.

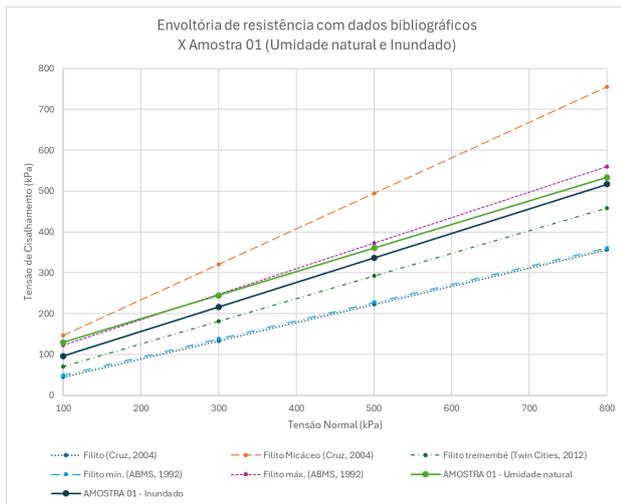


Figura 8 - As envoltórias de resistência da amostra 01, obtidas no ensaio de cisalhamento direto para diferentes condições (umidade natural e inundado) em comparação às envoltórias de resistência obtidas na bibliografia.

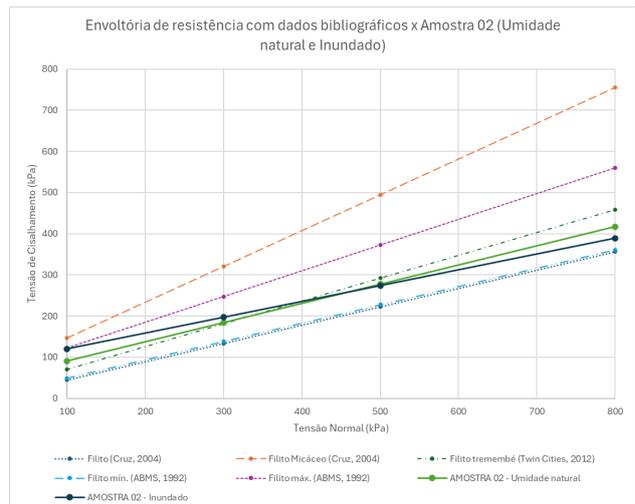


Figura 9 - As envoltórias de resistência da amostra 01, obtidas no ensaio de cisalhamento direto para diferentes condições (umidade natural e inundado) em comparação às envoltórias de resistência obtidas na bibliografia.

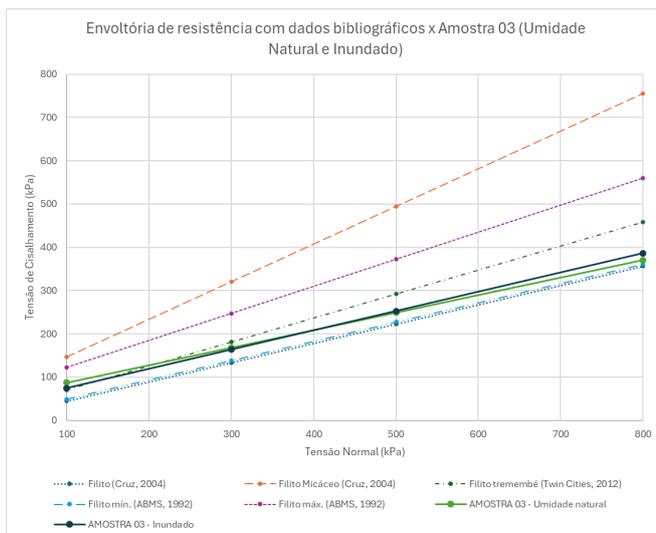


Figura 10 - As envoltórias de resistência da amostra 01, obtidas no ensaio de cisalhamento direto para diferentes condições (umidade natural e inundado) em comparação às envoltórias de resistência obtidas na bibliografia.

É necessário realçar que os resultados obtidos nos ensaios efetuados são bem similares aos encontrados na bibliografia, reforçando os dados da literatura no que se refere aos parâmetros obtidos no presente estudo.

$$\text{Filito - (AMOSTRA 01) critério de Mohr Coulomb: } \tau = 36,0 + \sigma' \text{tg}24^\circ \quad (\text{eq. 6})$$

$$\text{Filito - (AMOSTRA 01) Trajetória de tensões: } \tau = 40,0 + \sigma' \text{tg}25^\circ \quad (\text{eq. 7})$$

Ao lançar os dados das tensões normais e de cisalhamento obtidos nos ensaios triaxiais realizados, referente à eq. 7, pode-se notar que a envoltória resultante se aproxima dos critérios de trajetórias de Mohr-Coulomb, como mostra a **Figura 11**.

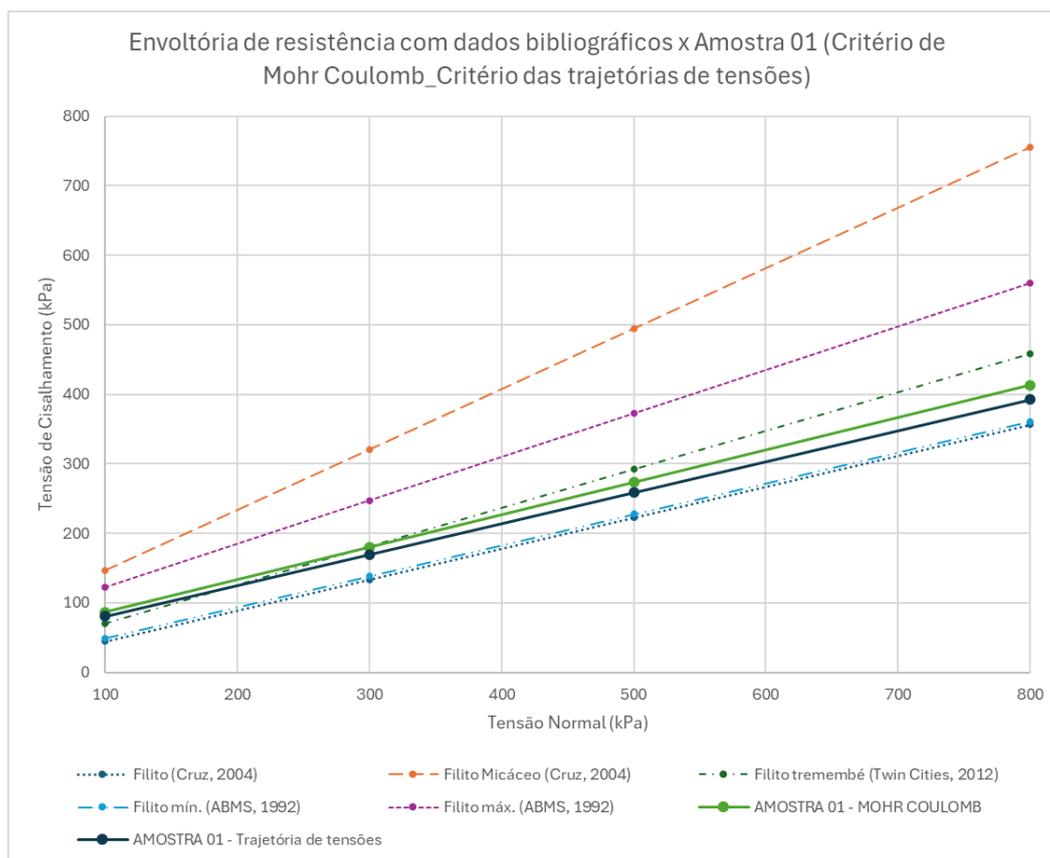


Figura 11 – Parâmetros de resistência da Amostra 01 obtidos em cisalhamento direto e em trajetória de tensões em comparação com dados bibliográficos.

6. CONCLUSÕES

Os dados apresentados no presente trabalho levam à algumas conclusões e reflexões, como descrito a seguir:

- As amostras em estudo (Amostra 01, 02 e 03), em ambas as condições de estudo (umidade natural e inundada) e quando solicitadas de forma paralela à estrutura reliquiar do maciço (foliação) mostraram os resultados inseridos no intervalo de valores máximos e mínimos encontrados na literatura técnica (ABMS, 1992). Trata-se de resultados obtidos por meio de ensaios de cisalhamento direto e por meio de ensaios triaxiais realizado exclusivamente para a AMOSTRA 01;
- Quanto à coesão, os resultados das amostras ensaiadas mostraram valores razoáveis para o tipo de material ensaiado; e quando saturado, ocorre drástica queda do valor do parâmetro, indicando que, possivelmente, se trata de coesão aparente comumente desenvolvido nesse tipo de material. Ainda assim, mesmo com a queda, o valor obtido é significativo. Entende-se que a coesão obtida está atrelado ao agente cimentante existente na foliação do maciço, associado ao grau de intemperismo, que leva em consideração diversas variáveis sem a possibilidade de quantificação;
- O ângulo de atrito, como esperado, não sofre alteração significativa quando da inundação do material;
- Todas as amostras mostraram parâmetros coerente e de acordo com os dados existentes e disponível na bibliografia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FIPT – Fundação de Apoio ao IPT pelo suporte por meio de bolsa concedida durante o desenvolvimento do curso de Especialização em Investigação do subsolo: Geotecnia e Meio Ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7181: Solo – Análise granulométrica – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2025.

ABNT NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 6457: Solo – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Anexo A – Determinação do teor de umidade dos solos. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT NBR 10838: Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas de solo, utilizando balança hidrostática. Rio de Janeiro, 2015.

CRUZ, P. T. 100 Barragens Brasileiras: Casos históricos, materiais de construção, projeto. 1996.

SOUSA PINTO, C; GOBARA, W; PEREZ, J.E; NADER, J.J. Solos do interior de São Paulo: Propriedades dos solos residuais. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica-Núcleo Regional São Paulo. 1992.

JULIANI, C. & BELJAVSKIS, P. 1983. Geologia e Evolução Geológico-estrutural Preliminar do Grupo São Roque na Região da Serra de Itaberaba (SP). In: Simpósio Regional de Geologia, 4, São Paulo, 1983. Atas. São Paulo, SBG-NSP, p. 113-126.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M. & PRANDINI, F. L. 1981. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. IPT/Pró-Minério. (Monografias, 5), 94p. (Escala 1: 1.000.000).

CPRM – Perrota M.M et al, 2005 – Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo.

ABMS - Twin Cities Seminar apresenta: solos das regiões metropolitanas de São Paulo e Curitiba (2013)