

Caracterização Geotécnica de argilas da Formação Serra de Santa Helena, em Montes Claros, MG.

Rodrigo Marques do Nascimento

Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, nascimento.rodrigo@aluno.unb.br

Newton Moreira de Souza

Professor, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, nmsouza@unb.br

Patrícia de Araújo Romão

Professor, Universidade Federal do Goiás, Goiás-GO, Brasil, patricia_gusmao@ufg.br

RESUMO: A caracterização dos solos é fundamental para qualquer projeto de engenharia que envolva a geotecnia. Esse processo se torna ainda mais necessário, haja vista a grande variabilidade espacial dos solos e rochas que é condicionada pelo intemperismo local. Diante disso, esse trabalho objetiva realizar caracterização geotécnica de argilas da Formação Serra de Santa Helena, localizadas na cidade de Montes Claros, norte de Minas Gerais. Para tanto, utilizam-se dados de ensaios de laboratório para determinação da massa específica, da umidade natural, da granulometria, dos limites de Atterberg e dos parâmetros de compactação. São analisadas 3 amostras, a partir das informações dos ensaios supracitados, e realizam-se considerações sobre a classificação textural, conforme os sistemas de classificação dos solos: SUCS - Sistema Unificado de Classificação dos Solos e TRB - *Transportation Research Board*. Além disso, os solos são analisados em relação à atividade da fração argila, com base em Skempton, e no que se refere às principais características das curvas de compactação. Constatou-se que as argilas possuem comportamento regular a mau, quando utilizadas como material de subleito, de acordo com a classificação TRB e possuem compressibilidade que se classifica em baixa ou alta, pelo sistema de classificação SUCS. No que diz respeito à atividade, as argilas foram consideradas de baixa atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Geotécnica, Ensaios de Laboratório, Classificação Textural, Compactação.

ABSTRACT: Soil characterization is essential for any engineering projects involving geotechnics. This process becomes even more critical due to the significant spatial variability of soils and rocks influenced by local weathering. Therefore, this study aims to perform geotechnical characterization of clays from the Serra de Santa Helena Formation, located in Montes Claros, northern Minas Gerais. To achieve this, laboratory test data are used to determine specific gravity, natural moisture content, particle size distribution, Atterberg limits, and compaction parameters. Three samples are analyzed based on the aforementioned tests, and considerations are made regarding textural classification according to soil classification systems: SUCS (Unified Soil Classification System) and TRB (Transportation Research Board). Additionally, the soils are analyzed in terms of clay fraction activity and the main characteristics of compaction curves are assessed. It is observed that the clays exhibit fair to poor behavior when used as subgrade material, according to the TRB classification, and have compressibility that varies from low to high according to the SUCS classification system. With respect to activity, the clays were classified as having low activity.

KEYWORDS: Geotechnical Analysis, Laboratory Tests, Textural Classification, Compaction.

1 INTRODUÇÃO

A concepção e o dimensionamento de qualquer obra geotécnica devem ser antecedidos pelo estudo geológico-geotécnico do terreno onde se implantará a estrutura em questão. Essa etapa de caracterização ou prospecção geotécnica é responsável, em suma, por indicar os parâmetros que controlam o comportamento

mecânico e hidráulico do material que compõe o terreno e suas nuances em relação aos tipos de solicitações existentes no projeto.

A partir da caracterização, tem-se um série de classificações que visam agrupar o material em um conjunto onde se possam atribuir propriedades ao material analisado. Essas classificações se devem à grande variabilidade dos solos e, assim, busca-se reunir em determinados grupos os materiais que possuam características semelhantes, na tentativa de prever o comportamento do solo.

Dentre as classificações, destacam-se o Sistema Unificado de Classificação (SUCS), o Sistema Rodoviário de Classificação, denominado de *Transportation Research Board* (TRB) e o sistema Miniatura Compactada Tropical (MCT). É importante salientar que essas classificações possuem particularidades e foram idealizadas a partir da análise de grupos específicos de solos formados por clima, temperatura e litologia distintos. Portanto, ao utiliza esses sistemas para compreender o comportamento do solo, e crucial considerar essas limitações.

Nesse sentido, o sistema de classificação TRB, ou sistema rodoviário, por exemplo, é utilizado na engenharia rodoviária de diversos países, embora tenha sido elaborado com base em solos de clima temperado dos Estados Unidos. Essa classificação leva em consideração a granulometria e os limites de Atterberg. Para classificar os solos, a metodologia inicialmente os divide em dois grandes grupos: solos finos, que têm mais de 35% passando pela peneira número 200 (0,075 mm); e solos grosseiros, que têm 35% ou menos passando por esta peneira. Os solos de granulação grosseira pertencem aos grupos A-1, A-2, A-3, que podem ser subdivididos de acordo com a porcentagem de solo que passa na peneira de malha número 10, 40 e 100, assim como pelo índice de plasticidade. Para os solos finos, os grupos são A-4, A-5, A-6 e A-7, também contendo subdivisões conforme variação do índice de plasticidade (PINTO, 2006).

Nessa classificação é adotada ainda o parâmetro denominado de índice de grupo (IG) para estimar a capacidade de suporte do material. Esse índice é calculado de conforme a Equação (1).

$$IG = 0,2a + 0,005ac + 0,01bd \quad (1)$$

Onde:

a = F – 35 (Valor varia de 0 a 40);

b = F – 15 (Valor varia de 0 a 40);

c = LL – 40 (Valor varia de 0 a 20);

d = IP – 10 (Valor varia de 0 a 20);

O valor de F corresponde à porcentagem de solo passante na peneira de número 200, o LL refere-se ao limite de liquidez e o IP ao índice de plasticidade. É importante destacar que, se o IG for negativo, adota-se o valor de IG igual a zero. Quanto menor o valor de IG, melhor será a capacidade de suporte do solo. Em geral, os solos granulares têm índice de grupo entre 0 e 4, os siltosos entre 1 e 12, e os argilosos entre 1 e 20.

O Sistema de Classificação Unificada divide inicialmente os solos em dois grupos, granulação grossa e fina. Ao contrário do TRB, estipula-se que a porcentagem de solos que passa na peneira número 200 seja igual ou maior que 50% para classificar os solos em finos. Grosso modo, essa classificação estabelece o principal tipo de solo, como pedregulho (G), areia (S), silte (M), argila (C), solo orgânico (O), se o solo é bem graduado (W) ou mal graduado (P) e se possui alta (H) ou baixa compressibilidade (L).

Na literatura geotécnica é possível encontrar também classificações para a plasticidade dos solos e em relação a atividade das argilas, com base em Skempton (1953). Esse conjunto de classificações é de grande valia para permitir um bom entendimento das propriedades geotécnicas do solo. Nesse contexto, foram analisados dados de ensaios de caracterização de três argilas da Formação Serra de Santa Helena, localizadas na cidade de Montes Claros, MG, com objetivo de identificar suas características e tecer comentários sobre suas propriedades geotécnicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os solos analisados foram extraídos da área mapeada pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB em relação a litologia como Formação Serra de Santa Helena, que é composta por rochas do tipo: Argilito, Folhelho, Siltito e Marga (CPRM, 2014; JUNIOR, 2016). As amostras foram coletadas como parte do estudo

realizado pelo Departamento de Estradas de Rodagem – DER/MG para o projeto de construção do contorno rodoviário norte da cidade. Essas amostras foram caracterizadas com base nos ensaios de granulometria (NBR 7181), teor de umidade (NBR 6457), massa específica dos grãos (NBR 6458), limite de liquidez (NBR 6459), limite de plasticidade (NBR 7180) e compactação dos solos (NBR 7182). É importante ressaltar que os ensaios foram realizados em 2009, seguindo as normas NBR mencionadas, vigentes na época.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos ensaios, elaborou-se a Tabela 1, que apresenta os índices e parâmetros encontrados para os solos analisados, quais sejam: solo A (Argila areno-siltosa de cor marrom), solo B (Argila silto-arenosa de cor avermelhada) e solo C (Argila silto-arenosa com pedregulho de cor avermelhada).

Tabela 1. Índices físicos dos solos analisados.

Propriedades	Solo (A)	Solo (B)	Solo (C)
Umidade Natural (%)	9,4	16,2	17,1
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,719	2,757	2,790
Limite de Liquidez (%)	29	48	52
Limite de Plasticidade (%)	12	32	32
Índice de Plasticidade (%)	17	16	20
Pedregulho (%)	0,24	3,19	10,43
Areia (%)	38,25	12,01	8,11
Silte (%)	20,98	18,73	29,58
Argila (%)	40,53	66,97	51,88
Índice de Atividade	0,42	0,24	0,38
Umidade Ótima	16,0	22,5	22,8
IG	7	12	14
Classificação T.R.B	A-6	A-7-5	A-7-5

Ainda de posse dos resultados dos ensaios de análise granulométrica, elaborou-se as curvas texturais dos solos A, B e C, apresentadas na Figura 1.

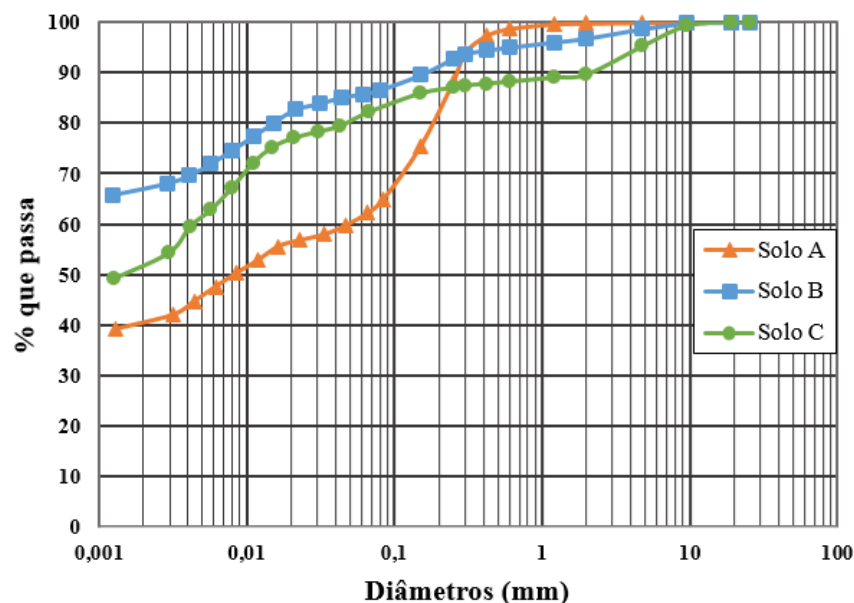


Figura 1. Curvas granulométricas dos solos analisados.

Diante dessas informações, são descritos análises e comentários na tentativa de descrever características geotécnicas básicas dos solos, a começar pela plasticidade das argilas.

Segundo a classificação proposta por Jenkins, conforme citado por Caputo (1981), os solos podem ser categorizados em fracamente plásticos ($1 < IP < 7$), medianamente plásticos ($7 < IP < 15$) e altamente plásticos ($IP > 15$). Portanto, pode-se afirmar que os solos são altamente plásticos. Além disso, segundo a relação estabelecida por Lambe e Whitman (1969), que comparou os tipos de minerais (montmorilonita, illita e caulinita) dos solos com seus respectivos valores de limites de Atterberg, o mineral predominante nas argilas estudadas é a caulinita. Esses minerais estão associados a solos de clima temperado, que possuem um alto grau de intemperismo e são pouco expansivos.

No que se refere a atividade dos solos, os solos A, B e C possuem índice de atividade (A_c) igual a 0,42, 0,24 e 0,38, respectivamente, conforme Equação (2), desenvolvida por Skempton (1953).

$$A_c = IP / (\% \text{ fração de partículas } < 2\mu) \quad (2)$$

Para Skempton (1953) as argilas que possuem índice de atividade entre 0,75 e 1,25 são classificadas em normais. As que possuem o índice superior a 1,25, são consideradas ativas e as que têm índices menores que 0,75 são consideradas inativas. Com base nos referidos valores pode-se qualificar os solos analisados em inativos, o que demonstra que provavelmente eles não apresentam significativa expansão quando umidificados, nem consideráveis contrações no processo de secagem.

Considerando os valores dos limites de Atterberg, os materiais foram classificados de acordo com a classificação SUCS, resultando na classificação do solo A como CL (argilas de baixa compressibilidade), solo B como ML (silte de baixa compressibilidade) ou OL (solos orgânicos de baixa compressibilidade) e o solo C como MH (silte de alta compressibilidade) ou OH (solo orgânico de alta compressibilidade), conforme Figura 2. Dado que os solos não apresentam evidências de serem solos orgânicos, exclui-se a classificação OL e OH, e os solos A, B e C, exibem comportamento típicos de argila de baixa compressibilidade, silte de baixa compressibilidade e silte de alta compressibilidade, respectivamente. Observa-se que, embora os solos B e C tenham argila como fração predominante, foram classificados com comportamento provável de silte. Conforme destacado por Pinto (2006), a designação M(silte), C(argila) não depende apenas da porcentagem das frações de silte e argila, pois o comportamento do solo depende também da atividade da fração argila.

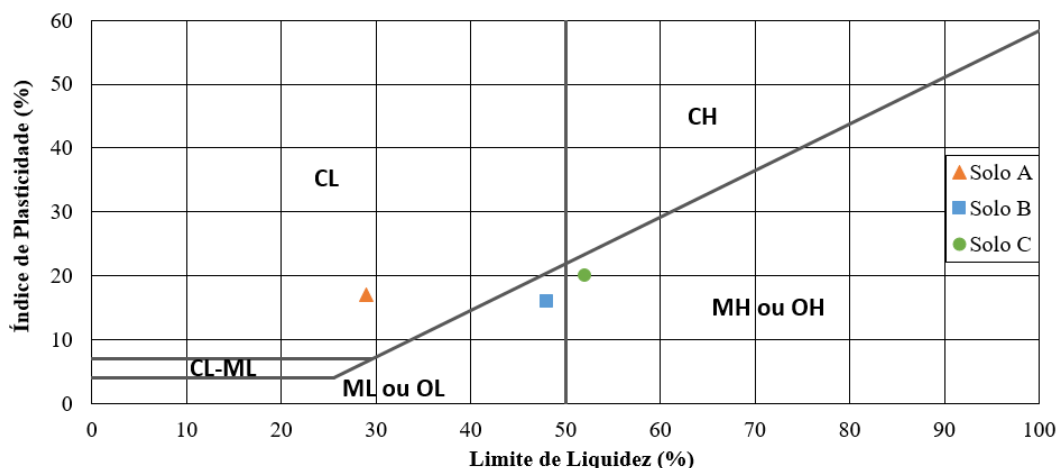


Figura 2. Carta de plasticidade de Casagrande.

Em relação a compressibilidade, uma vez que o solo A e B, possuem LL inferior a 50, são classificados como solos de baixa compressibilidade, enquanto o solo C, se enquadra na classificação de solo de alta compressibilidade, por apresentar LL superior a 50.

Com os resultados do ensaios de granulometria e limites de Atterberg, os solos A, B e C foram classificados também pelo sistema TRB, conforme Figura 3. As classificações para os solos A, B e C, foram A-6, A-7-5 e A-7-5, respectivamente. A categorização A-6 se refere a solos finos siltosos e a A-7-5 a solos argilosos.

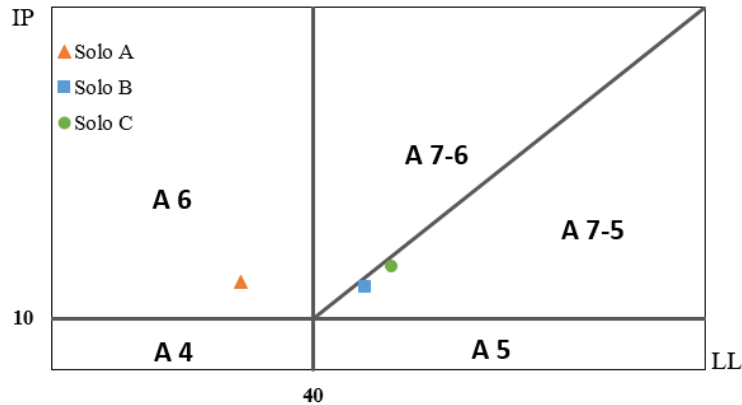


Figura 3. Classificação pelo sistema TRB.

Em síntese, o sistema indica que esses grupos de solo apresentam mau comportamento quando utilizados em subleitos de pavimentos e, portanto, não são indicados para tal uso.

Na Figura 4 estão representados os resultados do ensaio de compactação e a curva de saturação ($S = 100\%$) de cada solo. Esse ensaio é executado para identificar a umidade que confere a densidade seca máxima ao solo, a partir de uma energia de compactação definida e, com isso, melhorar as propriedades de resistência, compressibilidade e permeabilidade do solo.

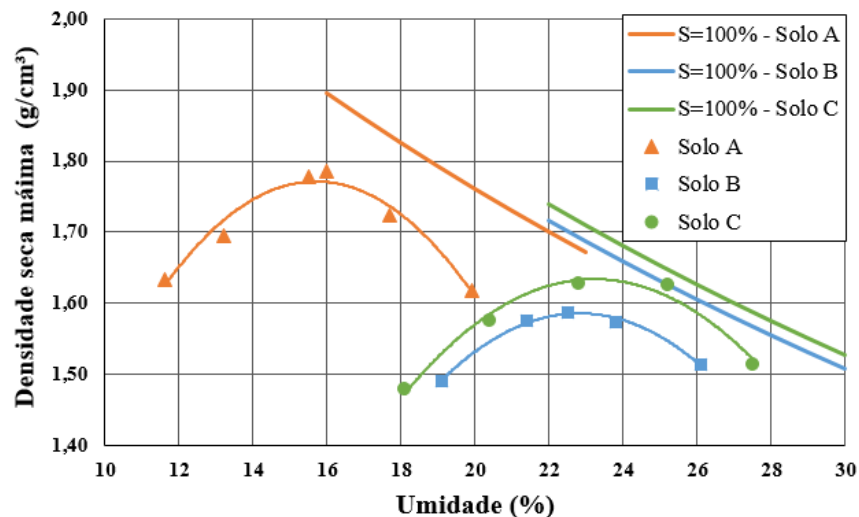


Figura 4. Curvas de compactação dos solos analisados.

Observa-se que o solo A possui teor de umidade ótimo de 16,0%, enquanto o solo B tem 22,5% e o solo C, 22,8%. Em relação à densidade seca máxima, o solo A atinge 1,775 g/cm³, o solo B alcança 1,591 g/cm³ e o solo C possui 1,639 g/cm³.

Ao analisar as curvas de compactação, nota-se que o solo A, composto principalmente por solos finos e com um percentual significativo de areia, apresenta a maior densidade seca máxima e o menor valor de umidade ótimo. Por outro lado, os solos B e C, predominantemente compostos por finos e com baixo percentual de areia, necessitam de maior umidade para atingir a densidade seca máxima, a qual é menor em comparação ao solo A.

De acordo com Massad (2010), considerando uma mesma energia de compactação, solos arenosos possuem teores de umidade ótima menores e densidades secas máximas maiores do que os solos siltsos e argilosos, o que é compatível com os resultados observados.

Constata-se também que os solos com predominância de argila e silte, solo B e C, apresentam curvas de compactação com maior abatimento, em comparação à curva do solo A (argila arenosa), indicando que são menos sensíveis ao teor de umidade durante o processo de compactação.

5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitiu identificar as principais características dos solos analisados. Embora possuam localização próximas e estejam inseridos num contexto geológico semelhante, apresentam diferenças, sobretudo, em relação à plasticidade e à composição textural, que variam entre as amostras. A amostra de solo C, argila silto-arenosa com pedregulhos é apontada a partir da carta de plasticidade de Casagrande como sendo de alta compressibilidade, sugerindo a necessidade de ensaios específicos para quantificar essa propriedade.

Quanto à atividade, constatou-se que as argilas são inativas, o que diminui o risco de aparecimento de trincas em edificações que possuam fundações sob influência desse solo, visto que a possibilidade de expansão e contração do material se mostra reduzida.

Dessa forma, a partir do cumprimento dos objetivos do trabalho, as análises elaboradas contribuem para expandir o conhecimento sobre os solos da região, colaborando com profissionais e estudantes ligados à geotecnia, tendo em vista que o conhecimento das características dos solos permite melhor embasamento para soluções de problemas no âmbito da engenharia geotécnica.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Departamento de Estradas e Rodagens – DER do estado de Minas Gerais pela disponibilização dos dados para que esse estudo fosse realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo – Determinação do limite de liquidez - procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2024). NBR 6457. *Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458. *Solo – Determinação da massa específica dos grãos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo – Análise Granulométrica – método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Caputo, H. P., 1981, *Mecânica dos Solos e suas Aplicações*. Ed. Livros Técnicos e Científicos S.A., 5ª Ed. Rio de Janeiro, 219 p.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (2014). UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Geologia e Recursos Minerais da Folha Montes Claros* SE.23-X-A-VI. Programa geologia do Brasil. Belo Horizonte.
- Pinto, C. de S. (2016). *Curso básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos.
- Junior, W. R. (2016). Caracterização das unidades geotécnicas da porção leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. 2016. 163 f. 96 Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Lambe, T. W.; Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. New York: J. Wile.
- Massad, F. (2010). *Mecânica dos solos experimental*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Santos, E. F. dos., Parreira, A. B. (2015). *Estudo Comparativo de Diferentes Sistemas de Classificações Geotécnicas Aplicadas aos Solos Tropicais*. São Carlos.
- Skempton, A.W. (1953). The colloidal activity of clays. In: *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics on Foundation Engineering*. London (UK). 3 (1): 587-595.