

Caracterização Geotécnica de Solos para Subsídio ao Controle Tecnológico de Obras de Terraplanagem no Município de Curvelo-MG

Ana Lúcia Costa Rosa

Discente, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Curvelo, Brasil,
ana.lucia9566@gmail.com

Bruno Oliveira da Silva

Docente, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Curvelo, Brasil,
bruno.silva@cefetmg.br

Thiago Bomjardim Porto

Docente, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Curvelo, Brasil,
thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO: A escolha inadequada de materiais para a construção de terraplenos e estruturas de pavimentos frequentemente resulta da falta de estudos geotécnicos de caracterização de jazidas ou da realização inadequada ou insuficiente desses estudos. Em cidades de pequeno porte, especialmente devido ao tráfego leve e restrições orçamentárias específicas, os procedimentos de investigação geotécnica são frequentemente negligenciados. Isso pode resultar em projetos excessivamente simplificados e na contratação de obras de qualidade inferior. Este estudo teve como objetivo avaliar a adequabilidade geotécnica dos materiais provenientes de duas jazidas utilizadas pela Secretaria de Obras da cidade de Curvelo-MG para construção de aterros de vias urbanas do município. Foram realizados ensaios de caracterização física dos solos provenientes dessas duas jazidas, bem como ensaios de compactação, expansão e de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) para avaliar a adequabilidade desses solos como material para obras de terraplanagem. As duas jazidas analisadas foram classificadas nas classes A-2-7 e A-7-6 pelo sistema de classificação da AASHTO, apresentando Índices de Suporte Califórnia (ISC) de 10,7% e 12,5%, e expansão de 0,55% e 0,08%, respectivamente. Constatou-se, portanto, que os materiais de ambas as jazidas possuem características físicas e mecânicas adequadas para serem utilizados em obras de terraplanagem.

PALAVRAS-CHAVE: terraplanagem, caracterização geotécnica, sistemas de classificação geotécnica, compactação.

ABSTRACT: The inadequate selection of materials for embankments and pavement structures often results from the lack of geotechnical studies characterizing quarries or from inadequately conducted or insufficient studies. In small towns, especially due to light traffic and specific budget constraints, geotechnical investigation procedures are often overlooked. This can lead to overly simplified projects and the hiring of lower-quality construction work. This study aimed to assess the geotechnical suitability of materials from two quarries used by the Public Works Department of Curvelo-MG for urban road embankments. Physical characterization tests were conducted on soils from these quarries, as well as tests for compaction, expansion, and determination of the California Bearing Ratio (CBR) to evaluate their suitability for embankment construction. The two quarries analyzed were classified as A-2-7 and A-7-6 according to the AASHTO classification system, with California Bearing Ratios (CBRs) of 10.7% and 12.5%, and expansions of 0.55% and 0.08%, respectively. Therefore, it was found that materials from both quarries have adequate physical and mechanical characteristics for use in embankment construction.

KEYWORDS: Earthwork, geotechnical characterization, geotechnical classification systems, compaction.

1 INTRODUÇÃO

A ausência de investigações geotécnicas adequadas pode resultar em dimensionamento incorreto das estruturas, erros na previsão de custos das obras, atrasos na construção e litígios contratuais (Sorsa et al., 2020). No contexto específico da pavimentação urbana de cidades de pequeno porte, devido às magnitudes do tráfego e restrições orçamentárias, a falta de informações geotécnicas pode levar a obras com desempenho insatisfatório tanto em aspectos técnicos quanto econômicos. Este trabalho discute a importância dos estudos geotécnicos básicos no suporte técnico a obras de terraplenagem e pavimentação em áreas urbanas, exemplificado por um estudo de caso na cidade de Curvelo, em Minas Gerais.

Em novembro de 2022, houve uma ruptura de um bueiro de drenagem localizado na Avenida Lúcio Diniz Guimarães, região central de Curvelo-MG. Esse incidente resultou no carreamento progressivo do material do corpo de aterro e posterior colapso da estrutura do pavimento e de parte das calçadas destinadas ao trânsito de pedestres da referida avenida, conforme pode ser visto na Figura 1.



Figura 1. Fotografia do local da ruptura na Avenida Lúcio Diniz Guimarães.

Após contato com a Secretaria de Obras do município, verificou-se que esse departamento não possuía quaisquer informações técnicas sobre as propriedades e características geotécnicas dos solos que seriam utilizados na reconstrução do aterro no local do incidente. A escolha dos materiais foi baseada na experiência prática e empírica bem sucedida em obras de terraplanagem realizadas anteriormente. A motivação para o desenvolvimento deste estudo originou-se da necessidade de preenchimento dessa lacuna.

Conforme mencionado por Caputo (2022), iniciar uma obra sem o conhecimento adequado dos materiais utilizados representa uma condição indesejada e de grande risco na área da engenharia civil. Para a realização da obra de recomposição do aterro em questão e futuras obras de terraplanagem no município, é imprescindível que seja realizada a caracterização dos materiais provenientes das jazidas de empréstimo utilizadas.

Segundo Ribeiro (2008), as jazidas de empréstimo são necessárias para prover a obra com materiais de características adequadas, necessárias para a execução de aterros compactados e substituição de solos geotecnicamente inadequados. A execução de aterros compactados com materiais sem a devida caracterização geotécnica, pode resultar em problemas futuros graves resultantes de uma elevada deformabilidade ou a própria ruptura do mesmo.

Foram realizados nesta pesquisa ensaios de caracterização física dos solos em estudo, bem como ensaios de compactação, expansão e de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) para avaliação da adequabilidade destes na utilização como material de construção da obra. Desta forma, os resultados deste trabalho poderão servir de referência para a definição de critérios de aceitabilidade e qualidade dos materiais estudados para realização de futuras obras no município de Curvelo-MG.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a adequação técnica dos solos provenientes de duas jazidas frequentemente utilizadas pela Prefeitura Municipal de Curvelo-MG em obras de terraplanagem conduzidas pela Secretaria de Obras do município. De forma específica, objetiva-se também a obtenção de informações que subsidiem a elaboração de critérios básicos de controle de qualidade de obras de terraplanagem no município, auxiliando na execução de futuras obras que eventualmente utilizem as mesmas jazidas estudadas neste trabalho.

3 METODOLOGIA

O presente item descreve a sequência de etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa. As atividades abrangem desde os trabalhos preliminares, de elaboração do referencial teórico do trabalho até a realização dos ensaios laboratoriais e a emissão de um parecer técnico sobre a adequabilidade geotécnica dos solos provenientes das duas jazidas estudadas para utilização em obras de aterro.

No dia 28 de março de 2023 foram realizadas coletas de aproximadamente 100 kg de cada uma das amostras provenientes das duas jazidas de empréstimo utilizadas para a realização da obra. A realização das coletas de amostras seguiu o procedimento executivo descrito na norma DNER-PRO 003/94 – *Coleta de amostras deformadas de solos*.

A primeira área de empréstimo está localizada na Avenida Andradina, bairro Santa Rita, tendo como ponto de referência a proximidade com o Cemitério Parque Santa Rita. O segundo ponto de coleta, encontra-se no interior de uma localidade conhecida como Clube Moura, o qual está localizado às margens da rodovia LMG-754. A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas das duas jazidas estudadas neste trabalho.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de coleta das amostras.

Jazidas	Coordenadas geográficas	
	Latitude	Longitude
Parque Santa Rita	18° 44' 43,42" S	44° 27' 18,05" O
Clube Moura	18° 49' 21,81" S	44° 24' 24,58" O

As distâncias aproximadas do ponto de coleta 1 (Santa Rita) e ponto de coleta 2 (Clube Moura) até a referida obra de recomposição do aterro são de 3,5 km e 9,4 km, respectivamente. A Figura 2 mostra a localização dos pontos onde foram realizadas as coletas, bem como a localização do local da obra de recomposição do terrapleno viário.

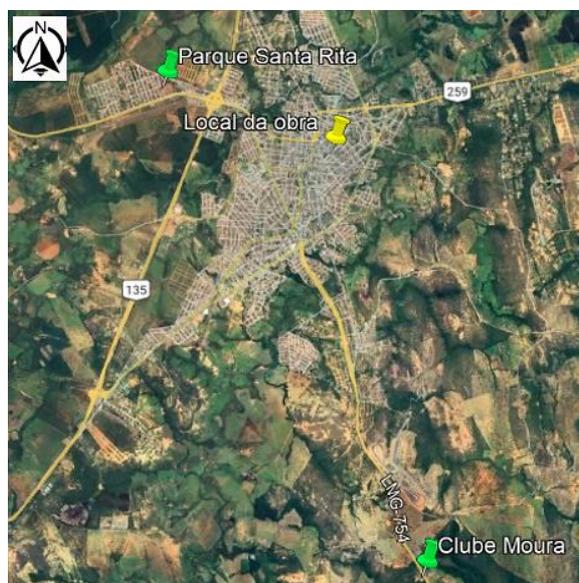


Figura 2. Localização das áreas de empréstimo e do local da obra no mapa de Curvelo (adaptado do Google Earth – data da imagem: 16 mar 2024).

A etapa seguinte consistiu na preparação das amostras e realização de ensaios de caracterização geotécnica dos solos coletados. A seguir, seguem relações de normativos técnicos utilizados como referência para realização dos ensaios descritos neste item:

- ABNT NBR 6457:2016 – *Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade*

Tendo em vista a aplicação pretendida dos materiais estudados (composição de corpo de aterro de um terrapleno), utilizou-se a energia Proctor Normal nos ensaios de compactação dos materiais, conforme sugerido pela norma DNIT 108/2009 – *ES - Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviços*.

- ABNT NBR 7181:2018 – *Solo - Análise granulométrica*

Os ensaios de granulometria realizados incluíram apenas as etapas de peneiramento grosso e fino, sem a etapa de sedimentação. Esta última não foi realizada porque, para o presente estudo, o conhecimento da distribuição granulométrica das partículas com diâmetro menor que 0,075 mm não é imprescindível.

- ABNT NBR 6459:2017 – *Solo - Determinação do limite de liquidez*

- ABNT NBR 7180:2016 – *Solo - Determinação do limite de plasticidade*

Em seguida, foram realizados os ensaios de compactação com posterior execução dos ensaios de expansão e do Índice de Suporte Califórnia (ISC) dos materiais em análise. Os procedimentos executivos destes ensaios seguiram o prescrito na norma DNIT 172/2016 – *ME - Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio*.

Os materiais então foram classificados segundo à metodologia proposta pela *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* e os parâmetros de expansão e Índice de Suporte Califórnia (ISC) foram comparados com os valores limites estabelecidos nas normas aplicáveis, em especial a norma DNIT 108/2009 – *ES - Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviços*. Por fim, foi apresentado o parecer final sobre a adequabilidade ou não dos materiais para utilização em obras de terraplanagem.

A Figura 3 apresenta um fluxograma das atividades planejadas no sequenciamento metodológico estabelecido para a pesquisa.

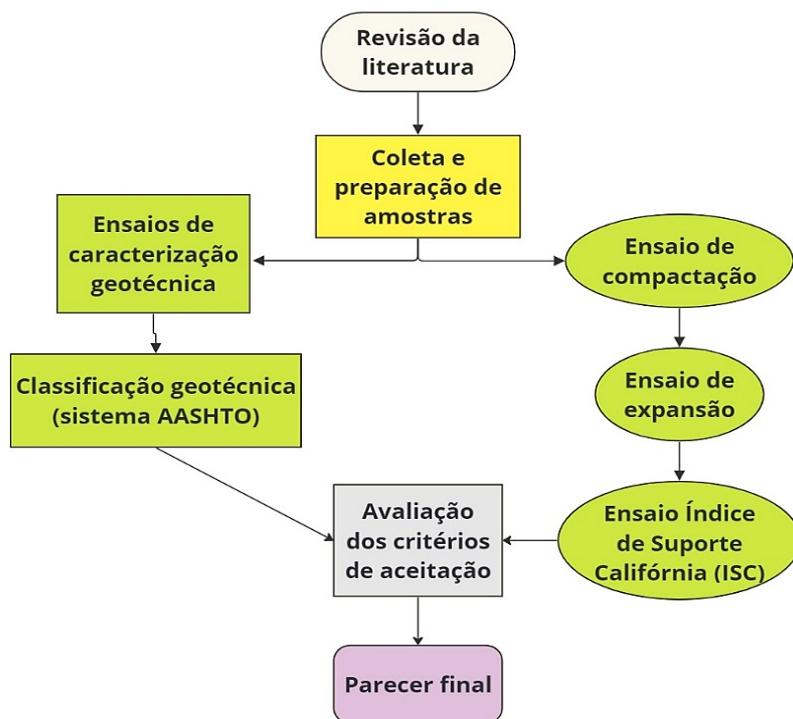


Figura 3. Fluxograma representativo da metodologia aplicada nesse trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados dos ensaios laboratoriais realizados com o objetivo central desta pesquisa. Os resultados são organizados por tipo de ensaio, permitindo uma análise comparativa entre os dois solos avaliados. As considerações sobre os resultados são discutidas ao final deste item.

4.1 Granulometria por peneiramento

As curvas granulométricas de ambos os solos estão apresentadas na Figura 4. Pela análise das frações granulométricas presentes nas amostras, constata-se que as amostras provenientes do Parque Santa Rita e do Clube Moura são solos majoritariamente arenosos com presença de finos e pedregulhos em diferentes proporções.

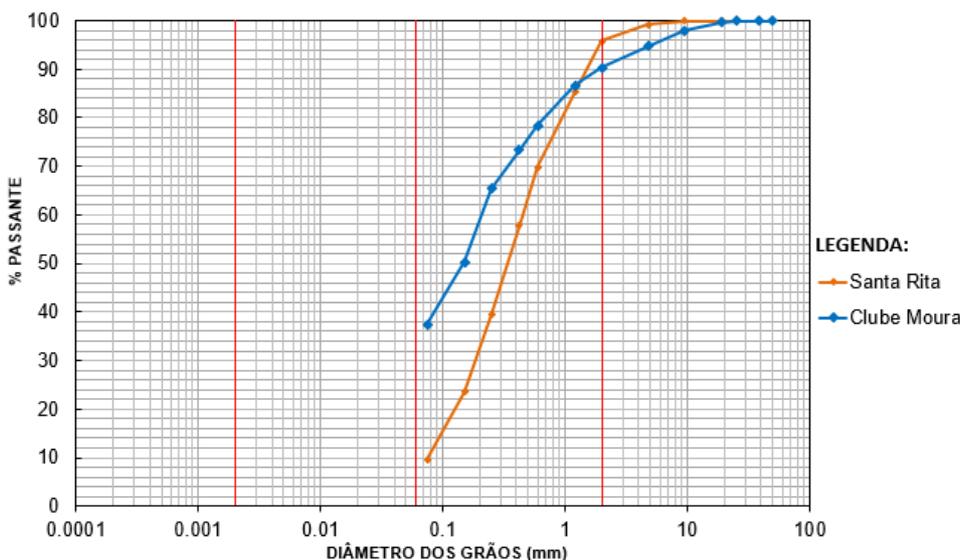


Figura 4. Análise granulométrica das amostras ensaiadas.

4.2 Limites de consistência

Os resultados dos ensaios de determinação dos limites de consistência – limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) – e dos valores do índice de plasticidade (IP) das duas amostras amostras estão apresentados na Tabela 2. Considerando os valores de IP obtidos, constata-se que ambos os solos podem ser descritos como materiais de plasticidade média (Burmister, 1949 *apud* Das; Sobhan, 2019).

Tabela 2. Resultados dos ensaios de determinação dos limites de consistência.

Jazida	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Santa Rita	50	35	15
Clube Moura	44	29	15

4.3 Classificação geotécnica segundo o sistema da AASTHO

De posse dos resultados dos ensaios de granulometria por peneiramento e de determinação dos limites de consistência dos solos estudados, procedeu-se a classificação das amostras segundo o sistema de classificação proposto pela AASTHO. A categorização dos materiais por meio deste sistema leva em consideração os percentuais passantes nas peneiras N°10 (2,00 mm), N°40 (0,42 mm) e N°200 (0,075 mm), os valores de LL e IP e o valor obtido para o Índice de Grupo (IG).

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros mencionados para as duas amostras ensaiadas, bem como a classificação segundo a referida metodologia.

Tabela 3. Classificação segundo a metodologia da AASTHO.

Jazida	% passantes			LL (%)	IP (%)	IG	Classe
	#10	#40	#200				
Santa Rita	95,8	57,8	9,6	50	15	0	A-2-7
Clube Moura	94,8	73,3	37,4	44	15	2	A-7-6

Segundo este sistema de classificação, o solo da área de empréstimo Santa Rita apresenta comportamentos geotécnicos considerados bons (classe A-2-7), enquanto o solo do Clube Moura é classificado como ruim (classe A-7-6).

4.4 Ensaios de compactação, expansão e determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Os ensaios de compactação, expansão e de determinação do ISC foram realizados para fins da determinação da capacidade de suporte e avaliação da magnitude de expansão de ambos os solos na condição compactada quando submersos em água pelo período de 96 horas.

A Figura 5 exhibe as curvas de compactação dos dois solos testados, mostrando os teores de umidade ótimos e as respectivas massas específicas aparentes secas máximas (MEAS). A energia de compactação utilizada nos ensaios é a equivalente ao Proctor Normal.

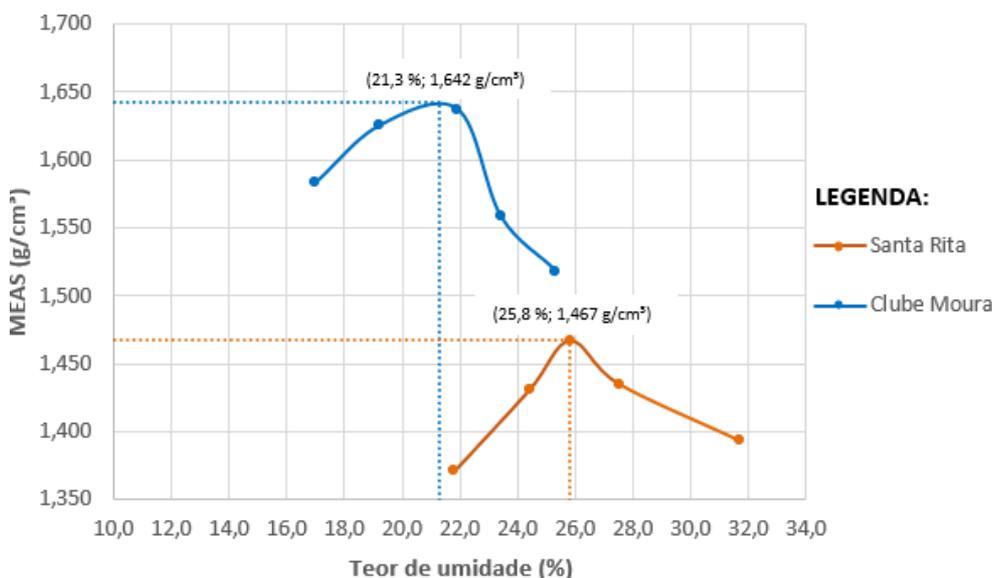


Figura 5. Resultados dos ensaios de compactação (energia Proctor Normal).

Na Figura 6, é apresentada a relação entre os teores de umidade de compactação das amostras de ambos os solos e os valores de expansão após 96 horas de imersão, conforme especificado na norma DNIT 172/2016 – ME - Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

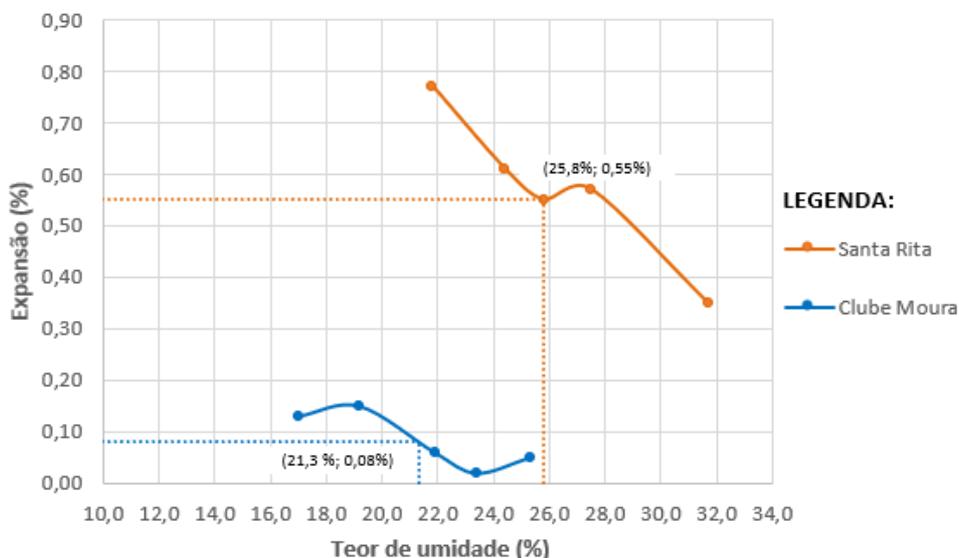


Figura 6. Resultados dos ensaios de expansão.

Por fim, a Figura 7 representa graficamente os resultados do ensaio de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) dos solos analisados, destacando os valores de resistência correspondentes ao teor de umidade ótimo.

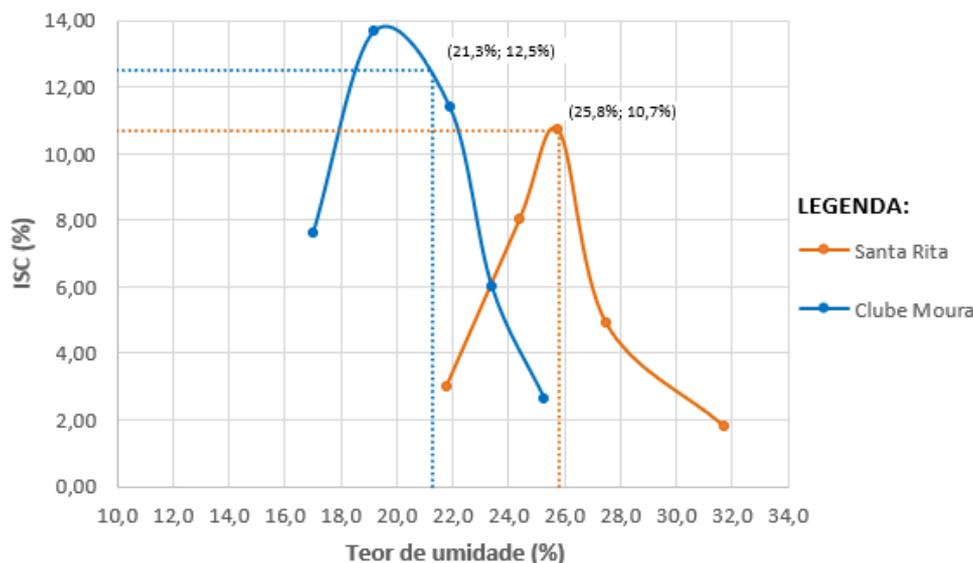


Figura 7. Resultados dos ensaios de determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Para avaliação da adequabilidade dos materiais em estudo para utilização na referida obra de terraplanagem, os resultados dos ensaios de determinação da expansão e do Índice de Suporte Califórnia (ISC) foram comparados aos valores de referência apresentados na norma DNIT 108/2009 – ES - *Terraplanagem – Aterros – Especificação de Serviços*, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de expansão e determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) e valores de referência conforme norma DNIT 108/2009.

Parâmetros	Corpo de aterro (DNIT 108/2009)	Camada final (DNIT 108/2009)	Santa Rita	Clube Moura
Expansão (%)	≤ 4,00 %	≤ 2,00 %	0,55%	0,08%
ISC (%)	≥ 2,0 %	≥ 6,0 %	10,7%	12,5%

São apresentadas as seguintes reflexões acerca dos resultados obtidos nesta pesquisa:

- A classificação das amostras segundo a metodologia da AASHTO sugere que a amostra proveniente da jazida Santa Rita apresentaria comportamento geotécnico em termos de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão superior ao da amostra proveniente da jazida do Clube Moura. No entanto, o comportamento observado de fato foi o oposto, sendo a amostra do Clube Moura a que apresentou capacidade de suporte superior e expansão inferior à amostra de Santa Rita. Uma possível justificativa para essa observação é a baixa assertividade do sistema de classificação geotécnica de solos da AASHTO para solos tropicais (Villibor e Nogami, 2009; Silva, 2019).
- Por se tratar de um solo com menor percentual de partículas passantes na peneira N° 200, esperava-se que a amostra proveniente da jazida Santa Rita tivesse menor teor de umidade ótimo do que a amostra do Clube Moura, o que não foi verificado. Investigações adicionais acerca da mineralogia e características químicas das amostras são necessárias para melhor compreensão desta observação.
- Verificou-se que as amostras provenientes das jazidas de Santa Rita e Clube Moura atendem aos requisitos normativos para aplicação em obras de terraplanagem, tanto para composição de corpo de aterro quanto para execução de camada final de terraplanagem.

5 CONCLUSÃO

Avaliando os resultados obtidos em comparação com os parâmetros estabelecidos nas normas aplicáveis, conclui-se que ambas as amostras têm potencial para uso em obras de terraplanagem. Apesar de ser classificado em uma classe inferior pelo sistema da AASHTO, o solo proveniente da jazida do Clube Moura apresenta características superiores em relação à amostra de Santa Rita, devido à sua maior capacidade de suporte e menor suscetibilidade à expansão.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Secretaria Municipal de Obras e Serviços Urbanos de Curvelo-MG, em especial ao Secretário Eng.º Valério Diniz Mourthé, pela contribuição através do fornecimento de informações para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457. *Solos - Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade*. 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 (2017). NBR 6459. *Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 7181. *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Caputo, H. P.; Caputo A. N. (2022) *Mecânica dos Solos: Teoria e Aplicações*. 8. ed. LTC, Rio de Janeiro, RJ, 288 p.
- Das, B. M.; Sobhan, K. (2019) *Fundamentos de engenharia geotécnica*. 3. ed. Cengage, São Paulo, SP, 712p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). DNER - PRO 003 - *Coleta de amostras deformadas de solos - Procedimento*. Brasília.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2009). DNIT 108 – ES - *Terraplanagem – Aterros – Especificação de Serviço*. Brasília.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2016). DNIT 172 – ME - *Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio*. Brasília.
- Ribeiro, S. P. T. (2008) *Terraplanagem: Metodologia e Técnicas de Compactação*. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil – Programa de Especialização em Vias de Comunicação, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 95 p.
- Silva, B. O. (2019) *Estudo comparativo entre metodologias de classificação e caracterização mecânica de solos da Região Metropolitana de Belo Horizonte para fins rodoviários*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto / UFOP, 171 p.
- Sorza, A.; Senadheera, S.; Birru, Y. (2020) Engineering Characterization of Subgrade Soils of Jimma Town, Ethiopia, for Roadway Design. *Geosciences*, 10 (3) p. 94 - 111.
- Villibor, D. F.; Nogami, J. S. (2009). *Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos*. Editora Arte & Ciência. São Paulo, SP, 292 p.