

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUCIANO PIMENTEL DA SILVA
PABLO LEITE HUBNER**

**CARACTERIZAÇÃO DE UM SOLO DA GRANDE VITÓRIA PELA METODOLOGIA
MCT PARA APLICAÇÕES EM OBRAS GEOTÉCNICAS**

**VITÓRIA-ES
2023**

LUCIANO PIMENTEL DA SILVA
PABLO LEITE HUBNER

**CARACTERIZAÇÃO DE UM SOLO DA GRANDE VITÓRIA PELA METODOLOGIA
MCT PARA APLICAÇÕES EM OBRAS GEOTÉCNICAS**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Maria Wingler Rebelo

VITÓRIA-ES
2023

LUCIANO PIMENTEL DA SILVA
PABLO LEITE HUBNER

**CARACTERIZAÇÃO DE UM SOLO DA GRANDE VITÓRIA PELA METODOLOGIA
MCT PARA APLICAÇÕES EM OBRAS GEOTÉCNICAS**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Karla Maria Wingler Rebelo
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof. Dr. Patrício Pires
Universidade Federal do Espírito Santo

Eng^a. Nadia Maria Drago Scotá
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que nos fortaleceu e deu sabedoria durante toda a graduação, tornando possível cada conquista.

Aos nossos pais e familiares que nos apoiaram em todos os momentos, agradecemos pelos sacrifícios feitos, pelo investimento em nossa educação e pela compreensão e suporte nas dificuldades. Vocês são fundamentais para nós e nossa maior motivação.

Aos nossos amigos e colegas de graduação por estarem presentes como incentivadores e pelas experiências compartilhadas que tornaram nossos dias melhores.

Ao colega de curso e amigo, Leonardo Turini Belmond, pelo excepcional apoio no desenvolvimento dos resultados dos ensaios e sugestões enriquecedoras.

Aos técnicos do Laboratório de Geotecnia e Pavimentação da UFES, Carolina Boscari e Sidineidy Izoton, por nos auxiliarem em todos os ensaios realizados e compartilharem conhecimentos conosco.

À Universidade Federal do Espírito Santo que tornou possível a realização desse sonho, proporcionando experiências diversas e enriquecedoras através das quais conhecemos pessoas incríveis.

Aos nossos professores pelo conhecimento compartilhado, em especial agradecemos a nossa orientadora, Prof^a. Dr^a. Karla Maria Wingler Rebelo, pelo incentivo e auxílio na elaboração deste trabalho e ao Prof. Dr. Patrício Pires pelas dúvidas sanadas no decorrer do desenvolvimento da pesquisa.

A comissão examinadora, Eng^a. Nadia Maria Drago Scotá e Prof. Dr. Patrício Pires, por se disporem a avaliar o trabalho desenvolvido.

*“Aproveite tudo ao seu redor, antes que os
momentos se tornem memórias.”*

Jiraya 2007

RESUMO

SILVA L. P.; HUBNER, P. L. **Caracterização de um solo da Grande Vitória pela metodologia MCT para aplicações em obras geotécnicas**. 62 f. Dissertação (Projeto de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2023.

Os solos tropicais são conhecidos pelas suas características singulares, pois são expostos a condições de clima tropical, passando por processos geológicos que interferem em sua mineralogia e estrutura. Tais peculiaridades causam restrições à utilização das classificações geotécnicas tradicionais criadas baseadas em solos de clima temperado e frio. Realizou-se então a caracterização de um solo da cidade da Serra-ES pelas metodologias tradicionais, entretanto utilizou-se também a sistemática Miniatura Compactada Tropical (MCT) como principal metodologia para tal caracterização e ainda para obtenção de propriedades que pudessem ser norteadoras para verificação da aplicabilidade do solo em obras geotécnicas. Por fim, de posse dos resultados dos ensaios de mini-proctor, mini-MCV, perda de massa por imersão, mini-CBR, expansão e contração realizou-se a comparação com os parâmetros sugeridos por Nogami e Villibor (2019) e concluiu-se que o solo da pesquisa pode ser utilizado como material fino em misturas de solo laterítico-agregado em camadas de pavimentação, além de ser aplicável a aterros compactados.

Palavras-chave: classificação MCT. obras geotécnicas. solos tropicais

ABSTRACT

SILVA L. P.; HUBNER, P. L. **Characterization of a soil in Greater Vitória by the MCT methodology for applications in geotechnical works.** 62 f. Dissertação (Projeto de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2023.

Tropical soils are known for their unique characteristics, as they are exposed to tropical climate conditions, undergoing geological processes that interfere in their mineralogy and structure. Such peculiarities cause restrictions to the use of traditional geotechnical classifications created based on temperate and cold climate soils. The characterization of a soil from the city of Serra - ES was then carried out by traditional methodologies, however the systematic Compacted Tropical Miniature (MCT) was also used as the main methodology for such characterization and also to obtain properties that could be guiding for verification of the applicability of soil in geotechnical works. Finally, with the results of the mini-proctor, mini-MCV, immersion mass loss, mini-CBR, expansion and contraction tests, a comparison was made with the parameters suggested by Nogami and Villibor (2019) and concluded It was found that the research soil can be used as a fine material in lateritic-aggregated soil mixtures in paving layers, in addition to being applicable to compacted landfills.

Keywords: MCT classification. geotechnical works. tropical soils

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do mapa do mundo com destaque para os trópicos de Câncer e Capricórnio	4
Figura 2 - Esquema simplificado da formação de solos tropicais	5
Figura 3 - Perfil esquemático típico de solos tropicais	6
Figura 4 - Quadro-resumo dos principais constituintes dos solos lateríticos e saprolíticos	8
Figura 5 - Sistema unificado de classificação de solos	10
Figura 6 - Sistema classificação de solos TRB	11
Figura 7 - Aparelho de compactação miniatura	13
Figura 8 - Estado final do corpo de prova após ensaio mini-CBR	14
Figura 9 - Corpos de prova submersos	15
Figura 10 - Extensômetros medindo alturas dos corpos de prova compactados	15
Figura 11 - Corpos de prova compactados semi-extraídos dos moldes	16
Figura 12 - Programa de ensaios e obtenção de dados para classificação MCT	17
Figura 13 - Classificação MCT	17
Figura 14 - Gráfico da classificação MCT	20
Figura 15 - Propriedades típicas dos grupos dos solos	22
Figura 16 - Perfil típico de um pavimento rodoviário	23
Figura 17 - Tipos de bases e sub-bases de solo laterítico-agregado	24
Figura 18 - Esquema do desvio da BR 101 na Serra-ES	29
Figura 19 - Amostra de solo utilizada no projeto	30
Figura 20 - Classificação do solo pela metodologia MCT	40
Figura 21 - Trinca em corpo de prova após secagem ao ar	44
Figura 22 - Tipos de SAFL de acordo com a classificação MCT	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variação típica do índice d' para diferentes solos	19
Tabela 2 - Correlação entre a classificação MCT e as classificações tradicionais	22
Tabela 3 - Critérios para escolha de solos lateríticos-agregados para bases e sub-bases	26
Tabela 4 - Critérios norteadores para utilização de solos tropicais em aterros sanitários	27
Tabela 5 - Resultado da massa específica dos grãos	31
Tabela 6 - Limites de consistência	32
Tabela 7 - Resumo das classificações geotécnicas tradicionais do solo	35
Tabela 8 - Resumo dos parâmetros obtidos pelo mini-MCV	39
Tabela 9 - Resumo dos resultados obtidos no ensaio mini-CBR e expansão	42
Tabela 10 - Contração axial com energia de compactação normal	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Limite de liquidez	33
Gráfico 2 - Distribuição granulométrica dos grãos	34
Gráfico 3 - Composição granulométrica	34
Gráfico 4 - Curva de compactação	36
Gráfico 5 - Determinação do Coeficiente de Compactação c' - Curva mini-MCV	37
Gráfico 6 - Determinação do Coeficiente de Compactação d' - Curva de compactação 12 golpes	38
Gráfico 7 - Determinação da Perda de Massa por Imersão	39
Gráfico 8 - Relação entre Mini-CBR, expansão e MEAS com a umidade de compactação	41
Gráfico 9 - Carga x Penetração na umidade ótima	43

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR - Norma Brasileira
MCT - Miniatura Compactada Tropical
SUCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos
TRB - Transportation Research Board
MEAS - Massa específica aparente seca
MCV - Moisture Condition Value
CBR - California Bearing Ratio
LL - Limite de liquidez
LP - Limite de plasticidade
IP - Índice de plasticidade
mm - Milímetros
c' - Coeficiente de argilosidade
d' - Coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação
e' - Índice de laterização
Pi - Perda de massa por imersão
LA - areia laterítica quartzosa
LA' - solo arenoso laterítico
LG' - solo argiloso laterítico
NA - areia não laterítica
NA' - solo arenoso não laterítico
NS' - solo siltoso laterítico
NG' - solo argiloso não laterítico
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
SAFL - Solo Arenoso Fino Laterítico
ALA - Argila Laterítica e Areia
SLAD - Solo Laterítico-Agregado de Granulometria Descontínua
SLAC - Solo Laterítico-Agregado de Granulometria Contínua

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo geral	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Estrutura do trabalho	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Solos tropicais e suas particularidades	4
2.1.1. Solos lateríticos	6
2.1.2. Solos saprolíticos	6
2.1.3. Solos transportados.....	9
2.2. Classificação de solos tropicais.....	9
2.2.1. Classificações geotécnicas tradicionais	9
2.2.2. Metodologia MCT	12
2.2.2.1. Ensaio de compactação	12
2.2.2.2. Ensaio de capacidade de suporte mini-CBR	14
2.2.2.3. Ensaio de expansão	14
2.2.2.4. Ensaio de contração axial	15
2.2.2.5. Ensaio de perda de massa por imersão	16
2.2.3. Classificação MCT.....	16
2.2.3.1. Coeficiente c'	18
2.2.3.2. Coeficiente d'	18
2.2.3.3. Parâmetro P_i	19
2.2.3.4. Índice e'	19
2.3. Aplicações de solos tropicais em obras geotécnicas	23
2.3.1. Bases e sub-bases de pavimentos.....	23
2.3.2. Bases e coberturas de aterros sanitários	27
2.3.3. Aterros compactados.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1. Materiais.....	29
3.2. Métodos.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31

4.1. Ensaio de caracterização	31
4.1.1. Determinação da massa específica do solo	31
4.1.2. Determinação dos limites de consistência.....	31
4.1.3. Determinação da distribuição granulométrica	33
4.2. Classificações tradicionais	35
4.3. Ensaio de compactação e perda de massa por imersão.....	35
4.3.1. Mini-proctor	35
4.3.2. Mini-MCV.....	36
4.3.3. Perda de massa por imersão	38
4.4. Classificação MCT.....	39
4.5. Mini-CBR e expansão.....	41
4.6. Contração axial	43
4.7. Aplicações geotécnicas	44
5. CONCLUSÃO.....	47
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Os solos são importantes fontes de matéria prima para obras de engenharia, como aterros e estruturas de pavimentos como reforços de subleito, sub-bases e bases, por isso sua aplicação é frequentemente tema de pesquisas. Seu uso é comum, por esse motivo é extremamente importante entender suas características e propriedades. Para isso, existem as classificações geotécnicas que dividem os diferentes solos em grupos que apresentam comportamento geotécnico similar.

De acordo com Villibor *et al.* (2000), no Brasil os solos tropicais são os mais expressivos, apresentando características peculiares, relacionadas às influências do clima tropical úmido comum ao país. Essas peculiaridades são determinantes nas propriedades dos solos, dessa forma as metodologias de classificação desenvolvidas em países de clima temperado e frio são limitadas.

Em 1981, Nogami e Villibor publicaram uma nova metodologia de estudo e classificação geotécnica para solos tropicais denominada MCT (Miniatura Compactada Tropical), que define métodos e equipamentos próprios para determinação das propriedades de pavimentação para os solos tropicais sem que haja relação com os índices tradicionais, mas sim com propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos compactados.

A utilização de solos tropicais em qualquer obra de engenharia, como em aterros compactados ou bases para pavimentos, torna-se, como diz Silva (2022), mais segura ao se conhecer de antemão o comportamento geotécnico de tal solo por meio da metodologia adequada. Além disso, permite a promoção de economias principalmente na etapa de anteprojeto.

Considerando a extensão do país e suas malhas rodoviárias, aliadas às necessidades de tráfego, do melhoramento dos pavimentos e a grande disponibilidade de jazidas de solos tropicais, a caracterização de tais solos de maneira a aplicá-los corretamente em pavimentos se torna ainda mais relevante. O mesmo vale quando se fala de aterros sanitários, onde se exige do solo, segundo Palma (2017), propriedades específicas, relacionadas a sua permeabilidade e contração.

1.1. Justificativa

Baseado no que se explanou até aqui sobre as limitações de classificações tradicionais quando aplicadas a solos tropicais e a peculiaridades desse solo, percebe-se a relevância da classificação MCT. É o que motiva a elaboração desse projeto, buscando aumentar a atenção para as individualidades desses solos e ainda contribuir com o aumento do acervo acadêmico sobre eles na região da Grande Vitória no Espírito Santo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial de utilização de um solo da região da Grande Vitória como material de base e material de construção em algumas aplicações geotécnicas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Obter as propriedades tecnológicas/geotécnicas de uma amostra de solo por meio de ensaios como mini-proctor, mini-MCV, mini-CBR, contração e expansão;
- Caracterizar o solo pelas metodologias tradicionais;
- Avaliar o comportamento geotécnico das amostras utilizadas com base na classificação MCT para base e sub-base de pavimentos, base e cobertura de aterros sanitários e construção de aterros compactados;
- Correlacionar o comportamento geotécnico esperados pela literatura com os resultados obtidos pelos ensaios.

1.3. Estrutura do trabalho

- Item 1: Apresentar uma breve introdução sobre a temática, além da motivação para tal escolha e ainda os objetivos do trabalho.

- Item 2: Expor os principais assuntos existentes na literatura relacionados à temática principal.
- Item 3: Apresentar os materiais e a metodologia usada na pesquisa.
- Item 4: Mostrar os resultados obtidos e discuti-los.
- Item 5: Concluir a pesquisa relacionando os resultados obtidos com o exposto na revisão literária.
- Item 6: Sugerir temáticas para futuras pesquisas, complementares ou similares a esse trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Solos tropicais e suas particularidades

Barroso (2002) apud Santos (2018), conceitua solos tropicais de maneira diferente de acordo com o ponto de vista em questão, os mais habituais são os astronômicos, os climáticos e os geotécnicos. Na visão astronômica todos os solos são tropicais desde que estejam entre os trópicos de Câncer e Capricórnio. Pode-se conferir na figura 1 que a América do Sul tem uma porcentagem grande do seu território situada entre os dois trópicos, consequentemente o mesmo vale para o Brasil.

Figura 1 - Representação do mapa do mundo com destaque para os trópicos de Câncer e Capricórnio.



Fonte: Conhecimento Científico (2020). Disponível em: <https://conhecimentocientifico.com/tropicos/>

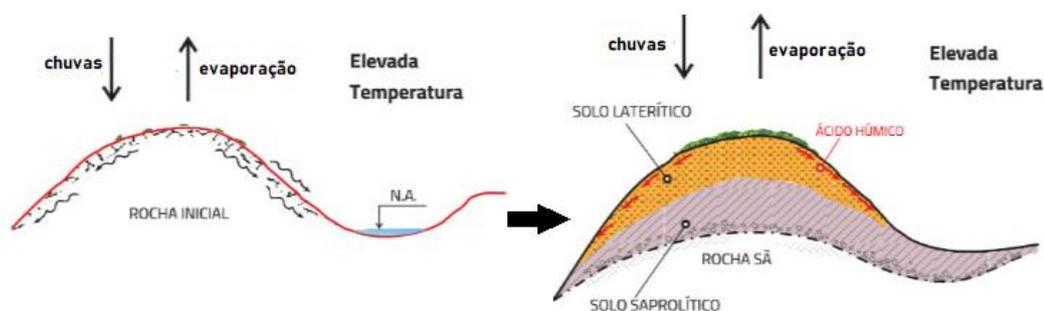
No aspecto climático o solo tropical é generalizado em solos que ocorrem em áreas de clima quente e úmido. Entretanto, a conceituação mais aceita é aquela relacionada à perspectiva geotécnica:

solos tropicais são aqueles que apresentam comportamento e peculiaridades decorrentes da atuação de processos geológicos e/ou pedológicos típicos das regiões tropicais úmidas. Assim, para que um solo seja considerado tropical, não basta que tenha sido formado em regiões de clima tropical úmido, é necessário que apresente peculiaridades de interesse geotécnico. (NOGAMI e VILLIBOR, 1995, p. 6).

Villibor *et al.* (2009) apresenta três fases principais que ocorrem durante o processo de formação de solos tropicais. Na primeira fase, ocorre a ruptura física dos minerais primários, seguida pelo intemperismo químico, onde os elementos se transformam em íons simples. Na laterização, o solo se agrupa com óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio, além de manter a caulinita como o argilomineral quase exclusivo. Na fase três os materiais enriquecidos com óxidos e hidróxidos, citados na etapa anterior, se desidratam originando minerais cristalinos densos.

Na figura 2, pode-se observar o processo de formação de solos tropicais pelas ações dos intemperes físicos e químicos, intensos em situações de clima tropical úmido, com chuvas frequentes, altas temperaturas e alta taxa de evaporação.

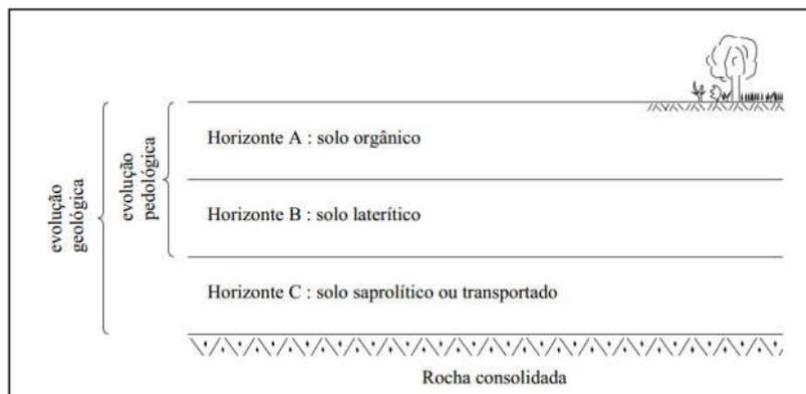
Figura 2 - Esquema simplificado da formação de solos tropicais.



Fonte: Villibor e Alves (2019).

Villibor e Alves (2019) apontam que os solos tropicais são divididos basicamente em duas classes de acordo com seu comportamento, laterítico ou não. Destacando-se assim, os solos lateríticos, saprolíticos e os transportados. É importante destacar o uso que os autores fazem do termo comportamento como indicação de que a classificação é feita com base em propriedades mecânicas e hidráulicas dos corpos de prova compactados e não na morfologia. Na figura 3, observa-se um perfil típico desses solos, baseado nas evoluções abordadas anteriormente.

Figura 3 - Perfil esquemático típico de solos tropicais.



Fonte: Vertamatti (1994) apud Damo (2018).

2.1.1. Solos lateríticos

Cozzolino e Nogami (1993) conceituam solos lateríticos como aqueles que de modo geral constituem a camada mais superficial de áreas bem drenadas, sendo que essa camada pode ter espessura entre 2 e 10 metros e coloração predominantemente vermelha e amarela. No caráter mineralógico, esse tipo de solo tem grãos muito resistentes na fração areia pedregulho, tanto no quesito mecânico quanto no químico. Já em sua fração argila eles possuem a presença de altos teores de partículas compostas por hidróxidos e óxidos de ferro e alumínio.

Santos (2018) afirma que a diferença de solos lateríticos de clima tropical para os solos de clima temperado se encontra na cimentação natural, devido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que por sua vez auxilia na formação de agregados e concreções lateríticas. Ademais, os solos lateríticos tropicais se distinguem pela maior resistência a processos erosivos e por terem uma taxa de diminuição de resistência baixa em situações de perda de umidade e correta compactação.

2.1.2. Solos saprolíticos

A definição de solos saprolíticos é feita por Villibor *et al.* (2009), como sendo aqueles resultantes da decomposição e/ou desagregação da rocha matriz promovidas pelo intemperismo e que nitidamente preservam a mesma estrutura. No mais, esses

solos são genuinamente residuais, por permanecerem no mesmo local onde se encontravam no estado pétreo.

Nogami e Villibor (1995) afirmam que os solos saprolíticos são horizontes de grandes espessuras, com uma complexidade e diversidade mineralógica herdada da rocha-mãe. Comumente a fração areia e pedregulho desses solos é composta por minerais como o quartzo, o feldspato e a mica, sendo os dois últimos importantes no comportamento do solo. A mica, por exemplo, interfere na consistência do solo, além de elevar a expansibilidade por aumento de umidade e ainda contribui para a diminuição da massa específica aparente seca máxima quando compactado.

Damo (2018) expõe em seu trabalho que solos saprolíticos, de acordo com a rocha de origem, podem ter características variáveis, a ponto de serem extremamente plásticos e até não plásticos. Além disso, quando encharcados os solos saprolíticos são altamente expansivos, enquanto secos podem ser muito contráteis. Ademais, de uma maneira geral apresentam valores de resistência e módulo de resiliência baixos, sendo assim solos um tanto quanto suscetíveis a erosão.

Além de tudo, na figura 4, apresenta-se um quadro resumo dos principais constituintes mineralógicos dos solos lateríticos e saprolíticos.

Figura 4 - Quadro-resumo dos principais constituintes dos solos lateríticos e saprolíticos.

Granulometria	Mineralogia e Considerações	
	Solo Laterítico	Solo Saprolítico
Areia e Pedregulho ($\phi > 0,075$ mm)	<p>Quartzo (mineral predominante, apresenta coloração avermelhada e depressões)</p> <p>Magnetita e ilmenita (minerais pesados)</p> <p>Laterita ou concreção laterítica (constituída de óxidos hidratados de Fe e Al, associadas a magnetita, ilmenita, hematita e quartzo)*</p> <p>Torrões e agregados de argila</p>	<p>Quartzo (mineral que pode ser predominante)</p> <p>Feldspato (mineral que apresenta apreciável absorção de água)</p> <p>Mica (mineral que confere ao solo elevada expansão, baixa capacidade de suporte, entre outras)</p> <p>Fragmentos de rochas</p> <p>OBS: Constituição mineralógica muito variável, em função do grau de intemperismo</p>
Silte ($0,002 < \phi < 0,075$ mm)	<p>Quartzo (mineral predominante)</p> <p>Magnetita e ilmenita (minerais proveniente de rochas básicas, quando existentes)</p> <p>Torrões e agregados de argila (em função do tipo de defloculante utilizado)</p> <p>Laterita ou concreção laterítica (vide *)</p>	<p>Quartzo (mineral)</p> <p>Caolinita (forma de "sanfona" e alongadas) (família dos argilo-minerais, que confere ao solo razoável expansibilidade)</p> <p>Micas (mineral que confere ao solo elevada expansão, baixa capacidade de suporte, entre outras)</p>
Argila ($\phi < 0,002$ mm)	<p>Óxidos e hidróxidos de Fe e Al hidratados</p> <p>Caolinita (família dos argilo-minerais menos ativo coloidalmente)</p> <p>Materiais orgânicos sob forma de húmus (pequenas porcentagens)</p> <p>OBS: Caolinita é envolvida pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al</p>	<p>Montmorillonita e illita (Argilo-minerais mais ativos)</p> <p>Argilo-mineral caolinita (família dos argilo-minerais menos ativo coloidalmente)</p> <p>Materiais orgânicos sob forma de húmus (eventualmente)</p>

Fonte: Nogami (1971) apud Alves e Henriques (2017).

2.1.3. Solos transportados

Filho (2008) explica que os solos transportados são aqueles movidos da rocha original por meio de agentes, como por exemplo a água, o vento e a força da gravidade e são depositados em um novo local. Entretanto, Villibor e Alves (2019) não consideram esses solos como tropicais quando localizados abaixo do lençol freático, pois sofrem pouca influência climática, não sendo assim submetidos a processos de laterização por tempo suficiente.

2.2. Classificação de solos tropicais

Classificar um solo significa enquadrá-lo em um grupo ou classe, de acordo com suas características, propriedades ou comportamento (NEVES, 2018). Saber quais tipos de características e comportamentos um solo pode apresentar, proporciona um alicerce para escolher possíveis aplicações para ele. Em um contexto de finalidades rodoviárias, as metodologias de classificação mais utilizadas, de acordo com Gonçalves (2019), são a Classificação Unificada (SUCS ou USCS), a Transportation Research Board (TRB) e a Miniatura Compactada Tropical (MCT).

Considerando que os solos tropicais possuem suas próprias peculiaridades, Santos (2018) aponta limitações em classificações tradicionais como a TRB e a SUCS para a classificação desses solos. Isso porque essas classificações foram criadas baseadas em estudos com solos característicos de regiões de climas frio e temperado, entretanto é possível prever, de antemão, que as propriedades de solos sofrem interferências do clima, ou seja, passam por processos geológicos e/ou pedológicos diferentes.

2.2.1. Classificações geotécnicas tradicionais

Conforme o DNIT (2006), a classificação unificada é norteadada pela identificação dos solos de acordo com as suas qualidades de textura e plasticidade, com isso separa-se esses solos em grupos com base em seus comportamentos quando usados em estradas, aeroportos, aterros e fundações. Para tanto, considera-se as

características granulométricas de forma geral, além da plasticidade e compressibilidade dos solos determinados de maneira empírica.

Como aborda Neves (2018), a caracterização dos solos é feita usando amostras, preparadas em conformidade com a ABNT NBR 6457/16, ensaiadas para determinação da massa específica dos grãos, da curva granulométrica e dos limites de consistência. A massa específica permite obter-se a relação entre a massa dos grãos de solo e o seu volume, enquanto a curva granulométrica traz a distribuição granulométrica para diversas faixas de tamanho e forma de grãos.

As argilas ou solos argilosos apresentam alguns estados de consistência diferentes, em função do teor de umidade:

líquido, plástico, semi-sólido e sólido. Os teores de umidade que correspondem aos pontos de transição entre estes estados físicos ou de consistência, são os denominados de limites de consistência, sendo eles os limites de liquidez (LL), plasticidade (LP) e de contração (LC) (NEVES, 2018).

O DNIT (2006) apresenta os critérios de cada um dos grupos da classificação SUCS, juntamente com suas respectivas nomenclaturas e simbologias, como é possível visualizar na figura 5.

Figura 5 - Sistema unificado de classificação de solos.

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50	ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES e ARGILAS com LL > 50	MH	Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: DNIT (2006).

Para o caso da classificação TRB, o DNIT (2006) expõe também uma divisão dos solos em grupos, mas desta vez, além de avaliar a granulometria e os limites de consistência, avalia-se também o índice de grupo, obtido através da equação 1 e que retrata o duplo aspecto de plasticidade e graduação das partículas do solo.

$$IG = (P_{200} - 35) \times [0,2 + 0,005 \times (LL - 40)] + 0,01 \times (P_{200} - 15) \times (IP - 10) \quad (1)$$

Onde:

P_{200} é a porcentagem de material que passa na peneira nº 200;

IP é o índice de plasticidade, obtido pela diferença entre o LL e o LP.

Na figura 6, localiza-se em qual subgrupo um solo pertence através de um exercício de eliminação, da esquerda para a direita, onde primeiro seus valores coincidirem, encontra-se então o grupo do solo.

Figura 6 - Sistema classificação de solos TRB.

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira Nº 200							MATERIAIS SILTO-ARGILOSO			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A-1-A	A-1-B		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometria - % Passando na peneira											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	30 máx.	30 máx.	51 mín.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração passando na peneira Nº 40											
Limite de Liqueidez				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argiloso	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

* O IP do grupo A-7-5 é igual ou menor do que o LL menos 30; se maior será A-7-6.

Contudo, como mencionado anteriormente, existem algumas limitações dessas classificações quando aplicadas a solos tropicais. Villibor e Alves (2019) explanam algumas dessas deficiências, sendo a primeira delas relacionada a variação de energia de espatulação que ocorre na execução do ensaio de consistência, onde a estrutura do solo tropical pode desagregar-se parcialmente causando uma alta dispersão dos resultados.

Ademais, Villibor e Alves (2019) dissertam sobre a importância da natureza da fração de solo fino (passantes na peneira de 0,075mm), uma vez que em um cenário de igual porcentagem passante, finos lateríticos proporcionam propriedades como a capacidade de suporte alta e expansão baixa em relação a solos com finos saprolíticos. Desse modo, percebe-se a deficiência da granulometria por peneiramento ao não abranger a natureza de tal fração de solo. Cientes disso, para melhor identificação do comportamento de solos tropicais, Nogami e Villibor (1981) desenvolveram a Metodologia de ensaios MCT.

2.2.2. Metodologia MCT

De acordo com Nogami e Villibor (1995) a denominação de metodologia MCT tem origem no uso de amostras compactadas de dimensões reduzidas e da aplicação específica aos solos tropicais para obtenção de propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos. Os autores apontam como uma das principais características da metodologia, os moldes cilíndricos que produzem corpos de prova com diâmetro e altura igual a 5 cm. Villibor e Alves (2019) afirmam que essas dimensões restringem sua aplicação a solos completamente passantes na peneira nº 10, cuja abertura tem 2 mm, ou solos que tenham no máximo 5% de fração retida nessa peneira de forma a não interferir em suas propriedades.

2.2.2.1. Ensaio de compactação

Os ensaios de compactação são apresentados por Villibor e Alves (2019) como os principais da metodologia MCT, baseado nos resultados e através dos corpos de prova resultantes destes ensaios, realiza-se os demais ensaios da metodologia para

determinação de outras propriedades. Há dois tipos de ensaios de compactação, Mini-Proctor e Mini-MCV, ambos são realizados no compactador miniatura mostrado na figura 7.

Figura 7 - Aparelho de compactação miniatura.



Fonte: Autores (2023).

A norma técnica DNER-ME 228/1994 descreve que para a compactação Mini-Proctor uma energia de compactação é definida e uma série de corpos de prova com diferentes teores de umidade são compactados. Com esse ensaio se obtém o teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo (MEAS) compactado em diferentes umidades. Através da correlação desses dados se encontra a massa específica aparente máxima do material e o seu respectivo teor de umidade, identificado como umidade ótima do solo.

Para a execução da compactação Mini-MCV devem ser empregados os procedimentos da norma técnica DNER-ME 258-94, no qual se vê que energias crescentes são aplicadas às amostras do material até que não haja acréscimo

significativo na MEAS, conferido pela variação na altura do corpo de prova. O processo é feito para vários teores de umidade e com ele se consegue uma família de curvas de deformabilidade e compactação. A compactação mini-MCV é um dos ensaios que define os índices para a classificação de solos tropicais.

2.2.2.2. Ensaio de capacidade de suporte mini-CBR

Segundo a norma DNER-ME 254/97 esse ensaio pode ser realizado com ou sem imersão e sobrecarga de acordo com o objetivo de estudo do material. O ensaio é um método de avaliar a capacidade de suporte e resistência do solo para determinar a possibilidade de sua aplicação. Na figura 8 tem-se o furo feito pelo pistão no corpo de prova após compressão.

Figura 8 - Estado final do corpo de prova após ensaio mini-CBR.



Fonte: Autores (2023).

2.2.2.3. Ensaio de expansão

Também exposto na norma DNER-ME 254/97, este ensaio identifica a expansão dos argilos-minerais que constituem os solos finos, medindo a variação do

volume do corpo de prova após 24 horas como ilustrado na figura 9 imerso e fornece informações como a diminuição da resistência após saturação.

Figura 9 - Corpos de prova submersos.

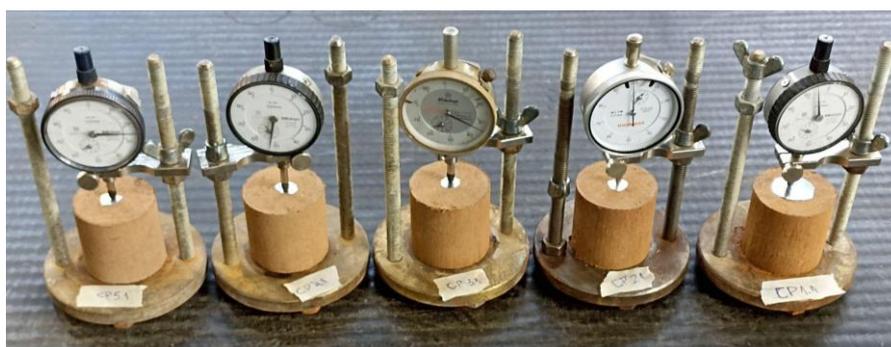


Fonte: Autores (2023).

2.2.2.4. Ensaio de contração axial

O método da DER/SP M 193/89 trata desse ensaio cujo objetivo é avaliar o potencial de contração por secagem e conhecer a variação percentual da altura do corpo de prova depois de submetido à secagem ao ar. A variação é relacionada ao trincamento que ocorre no solo durante sua vida útil permitindo avaliar o seu uso em obras geotécnicas. A figura 10 mostra os corpos de prova, com diferentes umidades, compactados tendo as variações das alturas medidas pelos extensômetros enquanto secam ao ar.

Figura 10 - Extensômetros medindo alturas dos corpos de prova compactados.



Fonte: Autores (2023).

2.2.2.5. Ensaio de perda de massa por imersão

O ensaio de perda de massa por imersão descrito na norma DNER-ME 256/94 é realizado após a compactação dos corpos de prova e busca avaliar a estabilização sob ação da água. Com esse ensaio se identifica o comportamento laterítico ou não do solo. Esse é um dos ensaios classificatórios e, além disso, prevê a estabilidade superficial do solo sob ação de intempéries. Na figura 11, vê-se como ficam os corpos de prova para a realização do ensaio, o solo é retirado parcialmente do molde e a parte exposta ficará sujeita a ação da água e, caso tenha material desagregado, será reservado nas cápsulas abaixo.

Figura 11 - Corpos de prova compactados semi-extraídos dos moldes.

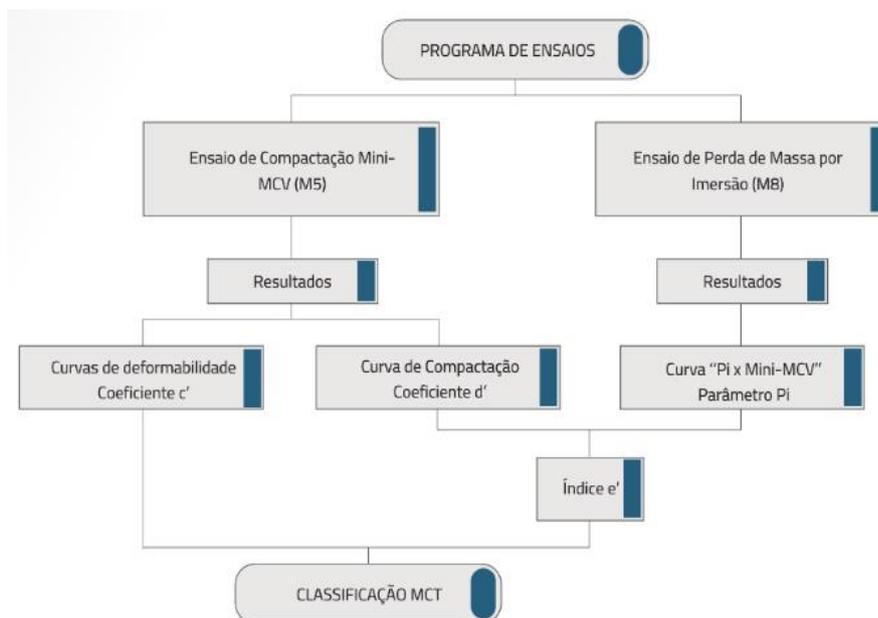


Fonte: Autores (2023).

2.2.3. Classificação MCT

Método de classificação de solos tropicais baseado na metodologia MCT. Para essa classificação é necessário o que Villibor e Alves (2019) chamam de programa de ensaios, que consiste em dados obtidos dos resultados de dois dos ensaios da metodologia MCT, o ensaio de compactação mini-MCV e o ensaio de perda de massa por imersão. Embasado na classificação do solo, pode-se determinar o seu uso mais adequado de acordo com as propriedades do grupo ao qual pertence. O referido programa através do qual se obtém a classificação é representado pela imagem 12.

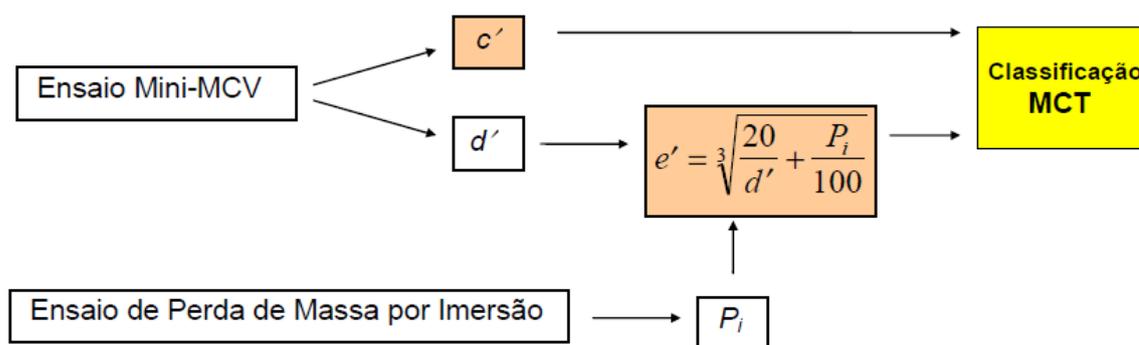
Figura 12 - Programa de ensaios e obtenção de dados para classificação MCT.



Fonte: Villibor e Alves 2019.

A norma DNER-CLA 259/96 discorre sobre o uso dos resultados dos ensaios para a obtenção dos parâmetros necessários à classificação. A figura 13 evidencia a maneira de se conseguir a classificação, com os elementos do mini-MCV se obtém os coeficientes c' e d' e com os dados do ensaio de perda por imersão se obtém o parâmetro P_i . Com d' e P_i se encontra o índice e' que junto a c' torna possível a classificação.

Figura 13 - Classificação MCT.



Fonte: Suporte, 2018.

2.2.3.1. Coeficiente c'

Conforme exposto por Nogami e Villibor (1995), a partir do ensaio de compactação mini-MCV são traçadas curvas para cada teor de umidade do número de golpes em função da diferença de altura dos corpos de prova, essas curvas são denominadas curvas de deformabilidade ou curvas mini-MCV. " c' é o coeficiente angular da parte mais inclinada e retilínea da curva mini-MCV, correspondente à condição mini-MCV = 10" (VENTURINI, 2015). Esse coeficiente indica a argilosidade do solo, ou seja, o quão coesivo ele é. Solos com $c' > 1,5$ correspondem a argilas e solos argilosos, enquanto solos com $c' < 1,0$ caracterizam areias e siltes não plásticos ou pouco coesivos. Quando o valor de c' se encontra entre 1,0 e 1,5 há vários tipos granulométricos, como areias siltosas e argilas arenosas, solos que, quando compactados, possuem coesão média. Nogami e Villibor (1995) afirmam que solos em que a porcentagem de finos, como silte e argila, é maior que 40%, têm uma variação do coeficiente c' menor que solos compostos majoritariamente por areia. Além disso, o tipo de fino também influencia bastante no valor de c' , finos lateríticos têm coeficientes maiores que os não lateríticos. Moura et al (2006) diz que o coeficiente c' indica uma combinação da graduação com a coesão, traduzindo o efeito dessas características do solo observado na compactação e não na distribuição granulométrica determinada em ensaio por peneiramento e sedimentação.

2.2.3.2. Coeficiente d'

Seguindo os procedimentos da DNER-ME 258-94, com as alturas dos corpos de prova obtidas no ensaio de compactação mini-MCV se calculam as massas específicas aparentes secas (MEAS). A partir disso se traça o gráfico que representa o comportamento da MEAS em função do teor de umidade para as diversas energias aplicadas, resultando nas curvas de compactação. Nogami e Villibor (1995) definem d' como o coeficiente angular do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes. Bernucci (1995) destaca a importância do coeficiente para a classificação dos solos tropicais devido ao fato de ele ser um indicativo do seu comportamento laterítico, já que de acordo com a composição os solos possuem curvas de

compactação bem distintas. Enquanto areias argilosas e argilas lateríticas apresentam curvas com picos acentuados, tendo altos valores de d' , os siltes saprolíticos e areias pouco coesivas geram curvas com picos pouco acentuados e têm d' pequeno. A tabela 1 evidencia a diferença entre os valores de d' para cada solo.

Tabela 1 - Variação típica do índice d' para diferentes solos.

Solo	d'
Argilas lateríticas	> 20
Argilas não lateríticas	$5 < d' < 20$ (frequentemente = 10)
Saprolíticas	< 5
Areias puras	valores baixos
Areias finas argilosas	≈ 100

Fonte: Nogami e Villibor (1995) apud Paes (2017).

2.2.3.3. Parâmetro P_i

Após realizado o ensaio de perda de massa por imersão, as massas desprendidas dos corpos de prova são expressas em porcentagem. Com essas porcentagens são traçadas curvas em função do mini-MCV. De acordo com Nogami e Villibor (1995), o valor de P_i é conseguido por interpolação gráfica, correspondente a mini-MCV 10 ou 15, a depender da massa específica aparente. Se a altura do corpo de prova correspondente a mini-MCV 10 for igual ou maior que 48 a MEAS é considerada baixa e o mini-MCV é 10, caso contrário a MEAS é elevada e o valor é 15.

2.2.3.4. Índice e'

Com os dados obtidos dos ensaios mini-MCV e perda de massa por imersão se obtém os dados necessários para calcular o índice de laterização e' pela equação 2.

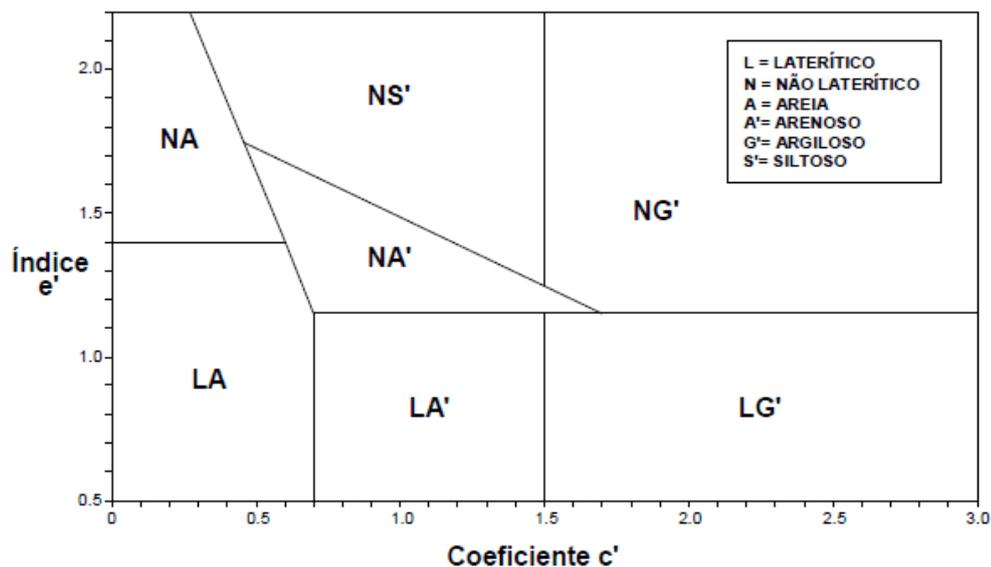
$$e' = \sqrt[3]{\frac{Pi}{100} + \frac{20}{d'}} \quad (2)$$

A variação de e' define a laterização do solo, sendo lateríticos os solos finos com valor de e' menor que 1,15 e os solos com pouca presença de finos quando e' for menor que 1,40 (AYALA, 2020).

2.2.3.5. Grupos da classificação MCT

De posse dos índices e' e c' , plota-se um ponto no gráfico da figura 14, permitindo obter-se assim a classificação do solo de acordo com a região do gráfico em que o ponto estiver situado. Ademais, é relevante perceber que o gráfico representa a associação do c' com a argilosidade e ainda a associação do e' com comportamento laterítico do solo ao passo que esses coeficientes variam.

Figura 14 - Gráfico da classificação MCT.



Fonte: Nogami e Villibor (1995).

O gráfico agrupa duas classes principais, solos de comportamento laterítico (L) e solos de comportamento não laterítico (N) que são divididos em sete grupos classificatórios conforme descrevem Villibor e Alves (2019):

LA (Areias lateríticas): areias com pequena quantidade de finos lateríticos, com baixo coeficiente de argilosidade c' , solos conhecidos pedologicamente como areias quartzosas e regossolos.

LA' (Solos arenosos lateríticos): areias argilosas que na classificação pedológica são latossolos ou argissolos de textura arenosa.

LG' (Solos argilosos lateríticos): argilas, argilas arenosas e/ou siltosas e os siltes argilosos com c' elevado que em pedologia são latossolos ou argissolos de textura argilosa.

NA (Areias não lateríticas): areias, siltes e misturas de areias e siltes, constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica e praticamente não possuem finos argilosos coesivos e siltes caulínicos.

NA' (Solos arenosos não lateríticos): areias quartzosas com finos de comportamento não laterítico. Representam essa classe os solos saprolíticos originados de rochas ricas em quartzo.

NS' (Solos siltosos não lateríticos): siltes e siltes arenosos, classe que compreende os solos saprolíticos silto-arenosos resultantes da alteração das rochas eruptivas e metamórficas, de constituição feldspática-micácea-quartzosa.

NG' (Solos argilosos não lateríticos): argilas, argilas arenosas, argilas siltosas ou siltes argilosos, solos saprolíticos argilosos, derivados de rochas sedimentares argilosas ou cristalinas, pobres em quartzo e ricas em anfibólios, piroxênios e feldspatos cálcicos.

De acordo com o grupo do qual o solo faz parte existem valores esperados dos ensaios que são realizados para conhecer suas propriedades. A tabela da figura 15 mostra o parâmetro de resultados de alguns ensaios para as sete classes de solos.

Figura 15 - Propriedades típicas dos grupos dos solos.

CLASSES			N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"				
GRUPOS			NA AREIAS	NA' ARENOSOS	NS' SILTOSOS	NG' ARGILOSOS	LA AREIAS	LA' ARENOSOS	LG' ARGILOSOS		
GRANULOMETRIA TÍPICA (MINERAIS)(1)			areias, areias siltosas, siltes (q)	areias siltosas, areias argilosas	silte (k, m), siltos arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas		
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI CBR sem imersão (%)	Muito alto	> 30	Alto a médio	Alto	Médio a alto	Alto	Alto	Alto a muito alto		
		Alto	12-30								
		Média	4-12								
	Baixo	< 4									
Perda de Suporte por imersão (%)	Alta	> 70	Média a baixa	Baixa	alta	alta	Baixa	Baixa	Baixa		
	Média	40-70									
	Baixa	< 40									
EXPANSÃO	(%)	Alta								> 3	Baixa
(2)	Média	0,5-3									
CONTRAÇÃO	(%)	Média	0,5-3	Baixa a Média	Baixa a Média	Média	alta e média	Baixa	Baixa a média	média a alta	
	(2)	Baixa	< 0,5								
PERMEABILIDADE log (k(cm/s))	(2)	Alta	> (-3)	Média a alta	Baixa	Média a baixa	Baixa a média	Média a baixa	baixa	baixa	
		Média	(-3) a (-6)								
		Baixa	< (-6)								
PLASTICIDADE	(%)	IP	LL	Baixa a NP	Média a NP	Média a alta	alta	NP a baixa	Baixa a média	média a alta	
		Alto	> 30								> 70
		Média	7-30								30-70
		Baixo	< 7								< 30

PROPRIEDADES TÍPICAS DOS GRUPOS DOS SOLOS
(1) q = quartzo, m = micas, k = caulinita;
(2) Corpos-de-provas compactados na umidade ótima da energia "normal", com sobrecarga padrão quando pertinente, sem fração retida na peneira de 2mm de abertura.

Fonte: DNIT, 2006.

Por fim, na tabela 2, Nogami e Villibor (1995) apresentam uma correlação entre os grupos das classificações tradicionais e os grupos da classificação MCT.

Tabela 2 - Correlação entre a classificação MCT e as classificações tradicionais.

Classificações geotécnicas tradicionais	Classes e grupo da classificação MCT						
	NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
SUCS			SM				
	SP	MS	CL	MH	SP		MH
	SM	SC	ML	CH	SC	SC	ML
		ML	MH				CH
TRB		A-2	A-4				
	A-2	A-4	A-5	A-6	A-2	A-2	A-6
		A-7	A-7-5	A-7-5		A-4	A-7-5

Fonte: Nogami e Villibor (1995).

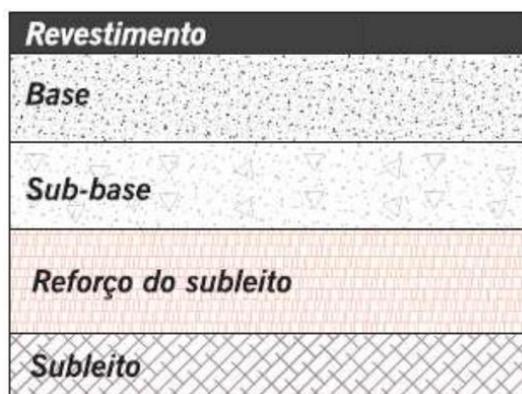
2.3. Aplicações de solos tropicais em obras geotécnicas

No contexto de aplicações em obras geotécnicas, a classificação MCT é muito usada no auxílio do dimensionamento de pavimentos, o que é perceptível ao observar-se a superioridade na quantidade de acervos acadêmicos disponíveis sobre o tema quando comparada aos acervos sobre outras finalidades. Isso é justificável pelo fato de que o ponto inicial da criação dessa sistemática de classificação está vinculado à pavimentação de baixo custo. Contudo, Villibor e Alves (2019) explicam que a definição de cada aplicação de um solo relaciona-se a um grupo específico de ensaios da metodologia MCT, resultando em propriedades geotécnicas mecânicas e hídricas, que por fim podem ser avaliadas.

2.3.1. Bases e sub-bases de pavimentos

Os pavimentos apresentam algumas camadas, cada uma com espessuras e funções próprias, o que gera a necessidade de avaliação do potencial do solo não só para verificar a sua utilização na pavimentação, mas para também definir em qual dessas camadas utilizá-los. Na figura 16, pode-se observar um perfil comum de um pavimento, composto por camadas, sendo elas o subleito, o reforço do subleito, a sub-base, a base e o revestimento.

Figura 16 - Perfil típico de um pavimento rodoviário.



Fonte: Bernucci et al. (2006) apud Soares (2019).

Sobre a estrutura do pavimento sabe-se por Balbo (2007) que o revestimento é a camada que recebe diretamente a carga vinda do tráfego e responsável pelo

conforto, durabilidade e segurança da estrutura, por isso além de resistir aos esforços também deve garantir o bom rolamento da pista. A base é a camada logo abaixo do revestimento responsável por diminuir a intensidade das cargas que serão distribuídas às camadas subjacentes. A sub-base é a camada complementar à base, visa reduzir espessuras muito grandes de base e, por ser formada por material de menor resistência que a camada acima, diminui o custo. O reforço do subleito serve de complemento à sub-base, contribuindo para resistência e distribuição dos esforços. A profundidade do subleito faz com que os esforços impostos sobre ele sejam dissipados, devendo-se ter maior preocupação com sua ação nas camadas superiores.

Os solos tropicais podem ser aplicados em camadas de pavimento de maneira natural ou por meio de misturas segundo Nogami e Villibor (1995). Esses solos recebem a nomenclatura de solos lateríticos-agregados e são caracterizados por terem fração inerte de no mínimo 50% de seu peso total. Além da parcela inerte (areia ou pedregulho), esses solos também apresentam uma parte ligante (fração fina). Os solos lateríticos-agregados ainda são subdivididos em função da granulação, sendo de granulação fina quando constituídos apenas de materiais passantes na peneira de 2 mm e de granulação grossa quando constituídos de pelo menos 10% de pedregulho. As nomenclaturas que eles recebem ao serem aplicados em bases e sub-bases podem ser visualizadas na figura 17.

Figura 17 - Tipos de bases e sub-bases de solo laterítico-agregado.



Villibor e Alves (2019) afirmam que os solos arenosos finos laterítico (SAFL) ocorrem na natureza, entretanto podem não atender aos critérios de qualificação para uso em bases, tornando-se necessário a realização de uma mistura que simula um SAFL, formada por um solo AL (argila laterítica) e um solo areia, denominada argila laterítica e areia (ALA). Já para granulação grossa, os solos laterítico-agregados são de granulometria descontínua (SLAD) ou contínua (SLAC). Na tabela 3, os critérios para seleção de cada tipo de solo laterítico-agregado são expostos tanto para bases quanto para sub-bases de pavimentos.

Tabela 3 - Critérios para escolha de solos lateríticos-agregados para bases e sub-bases.

Tipos	Propriedades	Base	Sub-base	
SAFL - Solo Arenoso Fino Laterítico e ALA - Argila Laterítica e Areia	% passante na peneira de 2,0mm	100	100	
	% passante na peneira de 0,075mm	< 50	< 50	
	Grupos MCT	LG', LA', LA	LG', LA'	
	Mini-CBR [%]	≥ 40	≥ 30	
	Expansão [%]	≤ 0,3	≤ 0,3	
	Relação RIS [%]	≥ 50	-	
	Contração axial [%]	0,1 a 0,5	≤ 0,8	
Classificação MCT LA', LA, LG'				
SLAD - Solo Laterítico- Agregado de Granulometria Descontínua e	Fração Fina ∅ < 2,0mm	Mini-CBR [%]	> 30 (SLAD) <u>NA</u> (SLAC)	> 20 (SLAD) <u>NA</u> (SLAC)
		Expansão [%]	< 0,3 (SLAD) <u>NA</u> (SLAC)	< 0,3 (SLAD) <u>NA</u> (SLAC)
		Contração [%]	0,1 a 0,8 (SLAD) <u>NA</u> (SLAC)	< 1,0 (SLAD) <u>NA</u> (SLAC)
SLAC - Solo Laterítico- Agregado de Granulometria Contínua	Fração Grossa ∅ > 2,0mm	Abrasão Los Angeles [%]	< 65	< 70
		Durabilidade do Agregado	Sulf. de sódio < 20% Sulf. de magnésio < 30%	
	Solo Integral	CBR [%]	> 70	> 30
		Expansão [%]	< 0,3	< 0,3

NA = Não se aplica.

Fonte: Adaptado de Villibor e Alves (2019).

2.3.2. Bases e coberturas de aterros sanitários

Palma (2017) foge das aplicações rodoviárias e caracteriza solos pela metodologia MCT para avaliação de suas propriedades de modo a verificar sua utilização em aterros sanitários como base ou coberturas. Para ele, a sistemática de Miniatura Compactada Tropical se apresenta como uma opção eficaz na obtenção de propriedades mecânicas e hidráulicas de solos compactados, que são os atributos norteadores para a definição da sua aplicação em barreiras impermeáveis.

Segundo Pereira (2016), esses critérios estão relacionados com a permeabilidade, a retração volumétrica e a resistência à compressão. Isso se torna plausível ao saber que, de acordo com Júnior (2003), barreiras impermeáveis, como os aterros sanitários, têm finalidade de evitar o fluxo de percolados com potencial de atingir e contaminar os solos da fundação e até mesmo as águas da proximidade. Logo, necessita-se que o solo possua caráter impermeável e seja resistente ao ser compactado.

Para um cenário de avaliação de solos tropicais para aplicações em aterros sanitários, Palma (2017) defende a utilização da metodologia de Daniel e Wu (1993), que define três critérios. O primeiro diz respeito a permeabilidade, que deve ser de no máximo 1×10^{-9} m/s. O segundo dos critérios aponta que a contração volumétrica não deve ser superior a 4%, enquanto o último critério aponta que a resistência à compressão simples do solo deve ultrapassar 200 kPa. Tanto o ensaio de permeabilidade quanto o de contração são previstos pela sistemática MCT. Portanto, na tabela 4 resume-se os critérios para cada propriedade para aterros sanitários mencionada.

Tabela 4 - Critérios norteadores para utilização de solos tropicais em aterros sanitários.

Propriedades	Critérios
Permeabilidade	$\leq 1 \times 10^{-9}$ m/s
Contração	$\leq 4\%$
Resistência à compressão	≥ 200 kPa

Fonte: Adaptado de Palma (2017).

2.3.3. Aterros compactados

Outros possíveis usos de solos tropicais são em obras de terraplanagem, onde muitas vezes é necessária a realização de aterros compactados. Em rodovias, o DNIT (2009) define os aterros compactados como aqueles que preenchem com solos escavados e transportados o pavimento, permitindo alcançar os limites de seções de projeto. Entretanto, existem outras formas de se aplicar aterros compactados, como é o exemplo de barragens. Afinal, Ribeiro (2008) afirma que a compactação permite um aumento da resistência ao cisalhamento, e uma redução da deformabilidade e permeabilidade do solo, uma vez que ela proporciona uma elevada redução de vazios.

Em seu trabalho, Nogami e Villibor (1995) sugerem que os melhores solos para aplicações em aterros são aqueles pertencentes aos grupos lateríticos e ainda ordenam os melhores grupos, sendo o LA' o melhor, seguido pelo LA e LG'. Essa sugestão se deve às propriedades típicas desses solos, que em geral possuem elevados valores de índice de suporte, além de baixa permeabilidade, expansibilidade e contração.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse momento, busca-se apresentar os materiais usados nesse projeto de pesquisa, além das metodologias aplicadas. Resumidamente, sobre os materiais expõe-se o solo, enquanto na metodologia, os ensaios nos quais esse solo foi submetido.

3.1. Materiais

Utilizou-se neste estudo um solo retirado do município da Serra no Espírito Santo, mais precisamente nas obras que preveem o desvio da BR 101, nas proximidades do Mestre Álvaro como se observa na figura 18, sendo a linha na cor laranja o novo traçado planejado para a BR.

Figura 18 - Esquema do desvio da BR 101 na Serra-ES.



Fonte: G1 e TV Gazeta (2022).

No mais, o solo tem cor vermelha amarelada e apresenta textura majoritariamente fina, como percebe-se na figura 19.

Figura 19 - Amostra de solo utilizada no projeto.



Fonte: Autores (2023).

3.2. Métodos

Como supracitado, o solo da pesquisa foi submetido a uma bateria de ensaios, de modo a caracterizá-lo e obter suas propriedades, podendo assim avaliar suas possíveis aplicações em obras geotécnicas. Os ensaios realizados são listados a seguir, aliados às normativas que serviram de referência para a sua execução.

Ensaio de caracterização das metodologias tradicionais de classificação:

- Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (ABNT NBR 6457/16);
- Determinação da massa específica dos sólidos (ABNT NBR 6458/16);
- Ensaio de granulometria conjunta (ABNT NBR 7181/16);
- Limite de liquidez (ABNT NBR 6459/16);
- Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180/16).

Ensaio da metodologia de Miniatura Compactada Tropical:

- Ensaio mini-proctor (DNER-ME 228/94);
- Ensaio mini-MCV (DNER-ME 258/94);
- Ensaio de perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94);
- Ensaio mini-CBR e expansão (DNER-ME 254/97);
- Ensaio de contração de solos compactados em equipamento miniatura (DER/SP M 193/89).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apoiado nos capítulos expostos anteriormente, principalmente no que diz respeito à metodologia, nesse instante apresenta-se e discute-se os resultados obtidos dos ensaios em relação a classificações geotécnicas tradicionais e após isso os resultados da sistemática MCT. Em seguida, o mesmo faz-se sobre as possíveis aplicações dos solos em obras geotécnicas, ao comparar os resultados dos ensaios com os critérios disponíveis em literatura.

4.1. Ensaio de caracterização

4.1.1. Determinação da massa específica do solo

Após a realização do procedimento mencionado no item 3.2, é possível apresentar os dados obtidos na tabela 5.

Tabela 5 - Resultado da massa específica dos grãos.

Nº do picnômetro	Nº1	Nº2	Nº3
Temperatura [°C]	25	25	25
Solo úmido [g]	50,07	50,02	50,14
Solo seco [g]	46,77	46,72	46,83
Massa picnômetro + água [g]	660,95	659,13	643,05
Massa picnômetro + água + solo [g]	693,13	690,92	675,37
Massa específica da água [g/cm ³]	0,9968	0,9968	0,9968
Massa específica dos grãos [g/cm ³]	3,20	3,12	3,22

Fonte: Autores (2023).

Portanto, encontrou-se uma massa específica média no valor de 3,18 g/cm³.

4.1.2. Determinação dos limites de consistência

Villibor e Alves (2019) relatam que para o emprego em camadas de pavimentos, deve-se evitar a perda de suporte ou expansão excessiva do solo com o

aumento de umidade, dessa forma é comum limitar os valores de LL e IP dos materiais destinados a essa utilização, as especificações tradicionais adotam valores máximos de 25% para LL e 6% para IP.

Contudo, Nogami e Villibor (1995) expõe que esses índices são inaplicáveis para a previsão das características expansivas dos solos tropicais, visto que há casos de solos com $LL > 50\%$ com expansão mínima ou nula, assim como solos que atendem aos limites tradicionais e expandem-se bastante. A tabela 6 faz notar que tanto LL, quanto o IP da amostra estudada ultrapassam os limites tradicionais, e, portanto, já seriam descartados para uso em pavimentos.

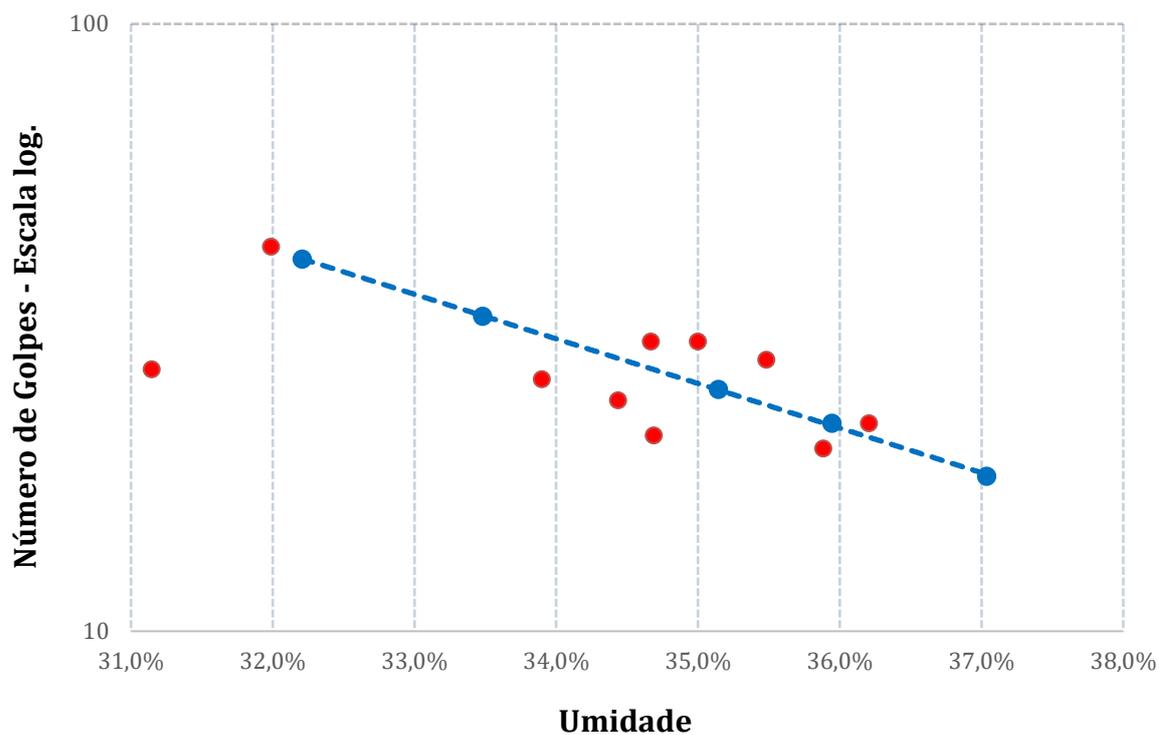
Tabela 6 - Limites de consistência.

Limite de liquidez - LL	35%
Limite de plasticidade - LP	20%
Índice de plasticidade - IP	15%

Fonte: Autores (2023).

No gráfico 1, verifica-se a dispersão dos pontos obtidos em ensaio, sendo o número de golpes no eixo das ordenadas e os teores de umidade no eixo das abscissas. Os pontos na cor azul foram base para traçar-se a reta tracejada, enquanto observa-se os pontos na cor vermelha afastados de tal reta. Pode-se justificar tal resultado pela possível desagregação da estrutura das partículas de solo tropical devido a não uniformidade das energias de espatulação durante a execução do ensaio.

Gráfico 1 – Limite de liquidez.

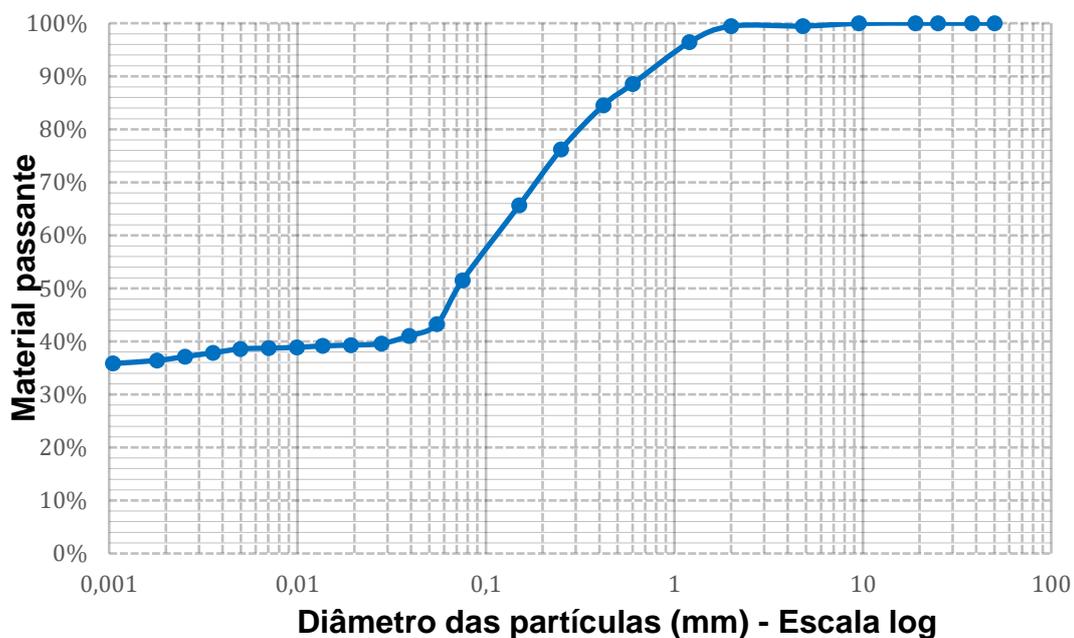


Fonte: Autores (2023).

4.1.3. Determinação da distribuição granulométrica

Através dos ensaios de peneiramento e sedimentação, obteve-se a curva que representa a distribuição granulométrica do solo estudado, representada no gráfico 2. Por ela é perceptível que o solo é mal graduado, por apresentar trechos que se aproximam de uma reta horizontal, o que deixa explícito a falta de partículas com determinadas dimensões.

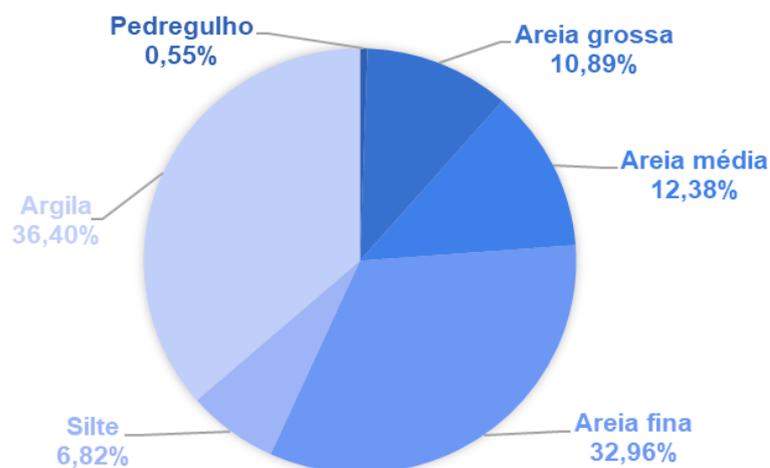
Gráfico 2 - Distribuição granulométrica dos grãos.



Fonte: Autores, 2023.

No mais, o gráfico 3 expõe a porcentagem de cada constituinte existente no solo utilizado, sendo possível verificar que a maior parcela é a de argila (36,40%) seguida pela fração de areia fina (32,96%), enquanto a menor é fração pedregulho (0,55%).

Gráfico 3 - Composição granulométrica.



Fonte: Autores (2023).

4.2. Classificações tradicionais

Em posse dos dados da caracterização do solo, a classificação dele se torna viável pelos métodos tradicionais. A tabela 7 expõe um resumo das classificações geotécnicas do solo dessa pesquisa, realizadas utilizando os métodos descritos no item 2.2.1.

Tabela 7 - Resumo das classificações geotécnicas tradicionais do solo.

Metodologia	Classificação
SUCS	CL
TRB	A-6 (5)

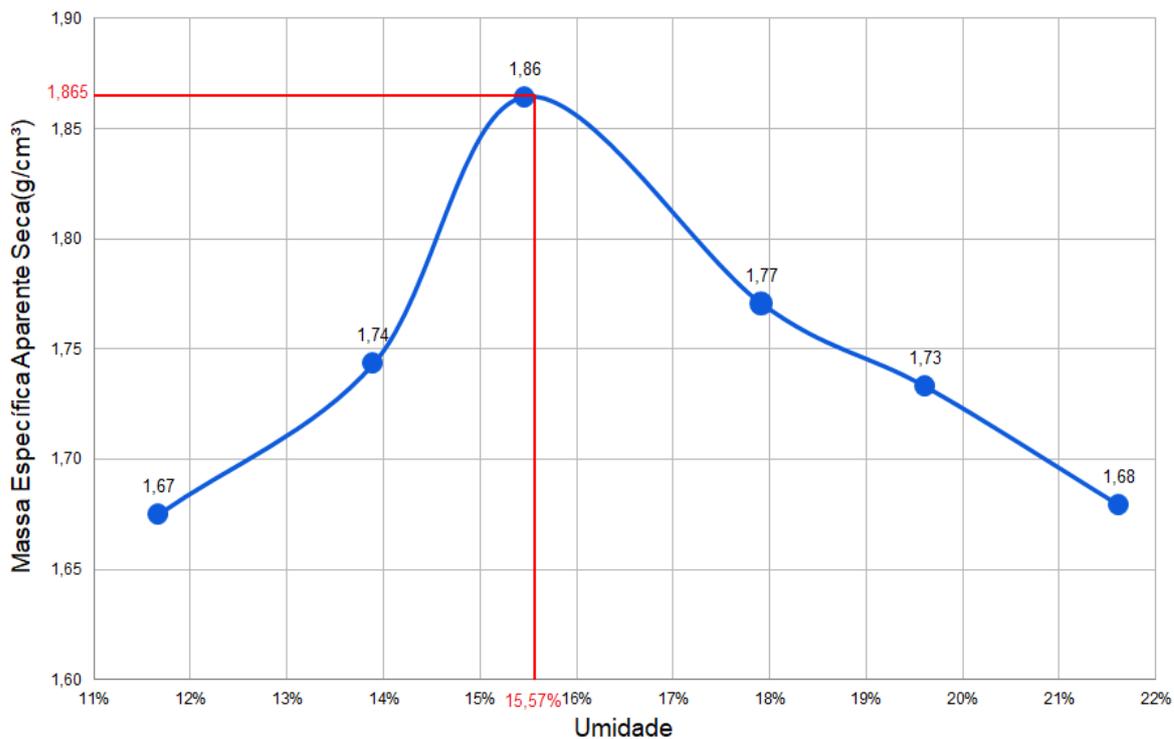
Fonte: Autores (2023).

4.3. Ensaio de compactação e perda massa por imersão

4.3.1. Mini-proctor

Foram realizados ensaios de compactação na energia normal utilizando-se de amostras com diversos teores de umidade. O gráfico 4 mostra a variação dos valores de massa específica aparente seca em função da umidade das amostras ensaiadas. Tal curva é denominada curva de compactação e nesse caso se alongou entre o ramo seco e o úmido, constatado devido ao ponto de inflexão que ela apresenta, que por sua vez permite a determinação da umidade ótima do material igual a 15,57% e MEAS máxima de 1,865 g/cm³.

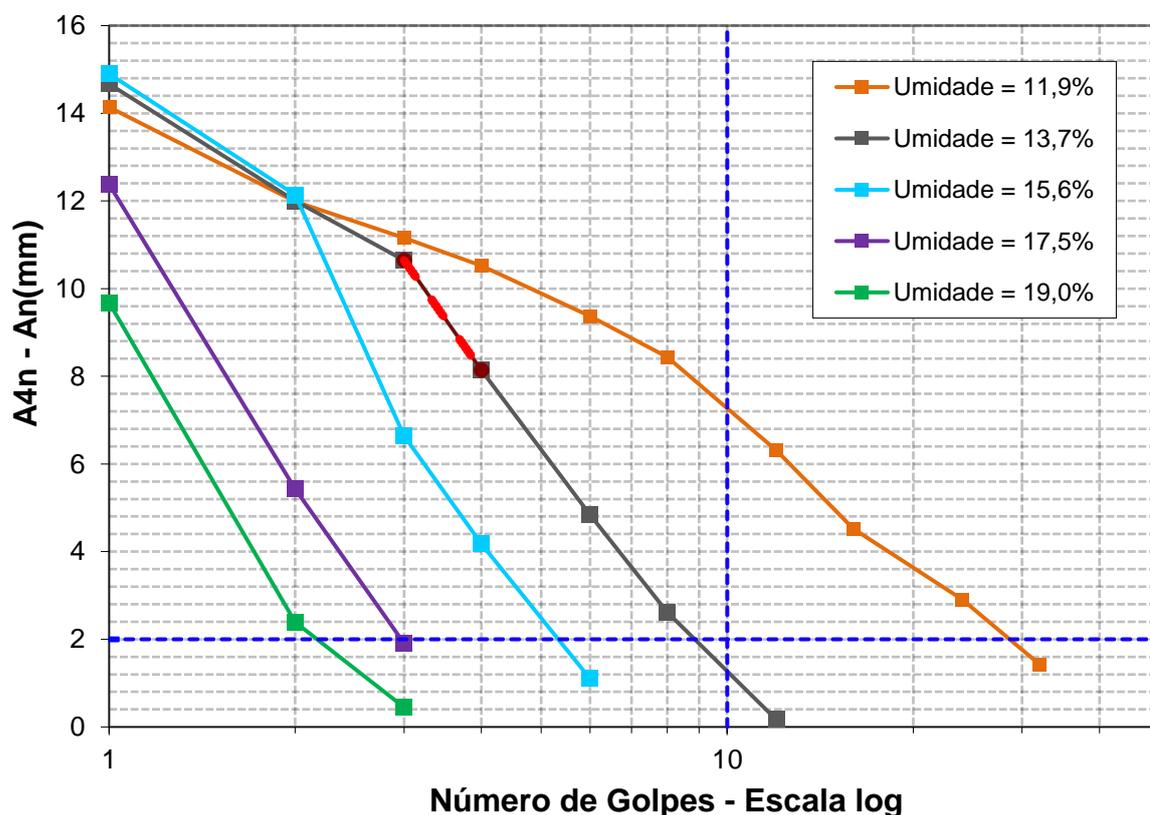
Gráfico 4 - Curva de compactação.



Fonte: Autores (2023).

4.3.2. Mini-MCV

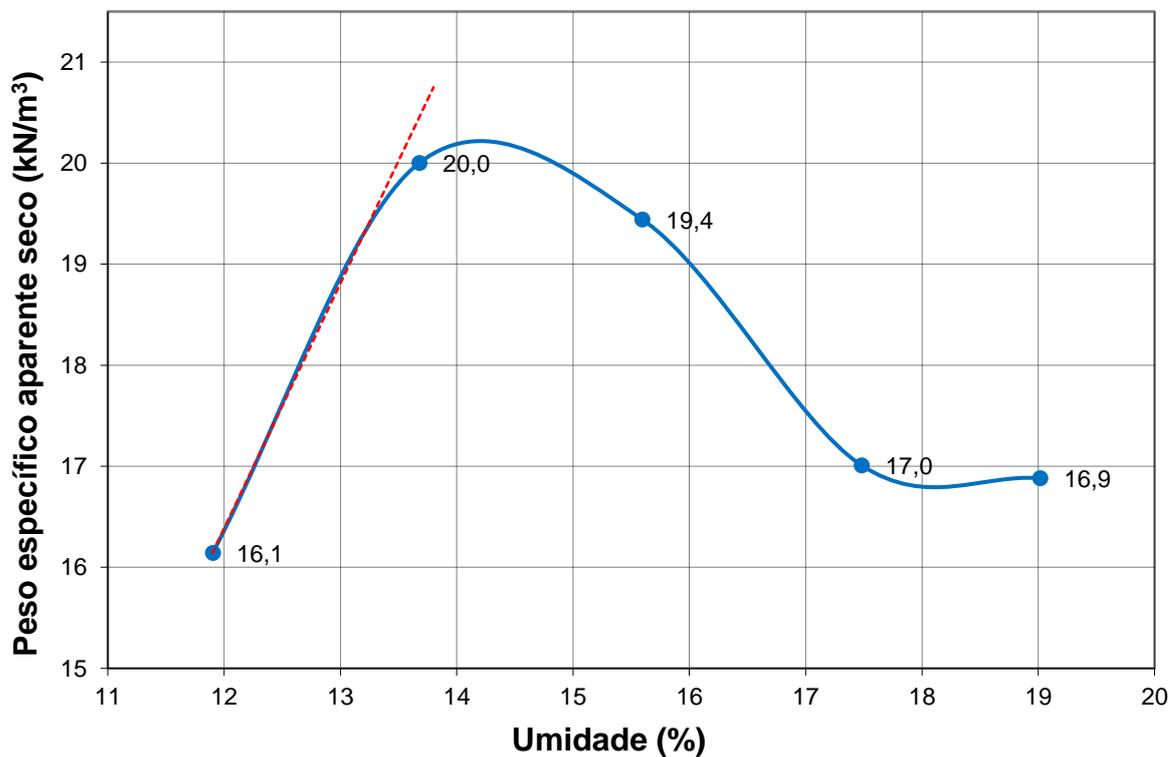
O ensaio de compactação mini-MCV permitiu o traçado da curva mini-MCV mostrado no gráfico 5 com o qual se obteve o coeficiente c' igual a 2,01, valor característico de argilas e solos argilosos.

Gráfico 5 - Determinação do Coeficiente de Compactação c' - Curva mini-MCV.

Fonte: Autores, 2023.

Outro item originado do ensaio de compactação mini-MCV é a curva de compactação, nesse caso especificamente a curva respectiva a 12 golpes, como é visto no gráfico 6, com ela determina-se que para esse solo o coeficiente d' igual a 242,5. O alto valor de d' e a curva com pico acentuado da curva de compactação são características de areias argilosas e argilas lateríticas. Embora essa curva seja uma similar à obtida no ensaio de compactação mini-proctor, o ponto de inflexão ocorre em uma umidade menor, o que é de se esperar, devido à diferença de energia de compactação e a maneira como compactou-se o solo em cada um dos métodos em questão.

Gráfico 6 - Determinação do Coeficiente de Compactação d' - Curva de compactação 12 golpes.

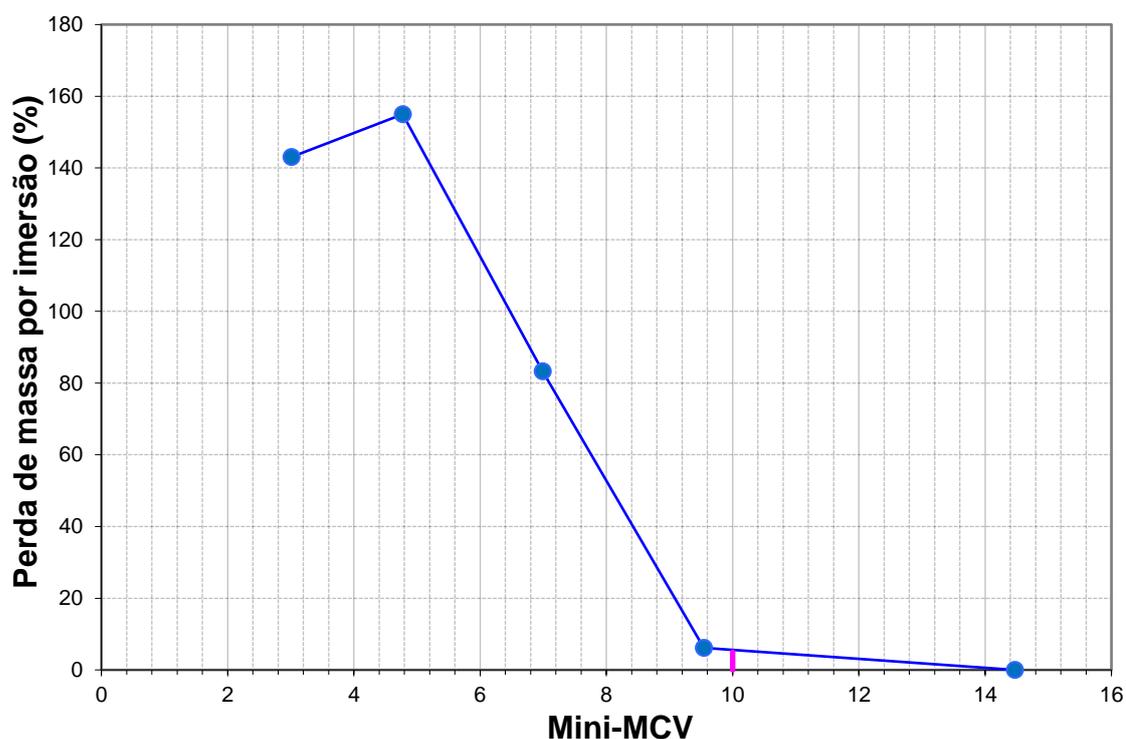


Fonte: Autores (2023).

4.3.3. Perda de massa por imersão

O parâmetro P_i a ser usado para a classificação do solo é obtido na curva Mini-MCV x P_i representado no gráfico 7. Nesse caso trata-se da perda de massa correspondente a mini-MCV 10 cujo valor é $P_i = 5\%$.

Gráfico 7 - Determinação da Perda de Massa por Imersão.



Fonte: Autores, 2023.

Na tabela 8, resume-se os parâmetros obtidos pelo ensaio mini-MCV.

Tabela 8 - Resumo dos parâmetros obtidos pelo mini-MCV.

Parâmetros	Valores
c'	2,01
d'	242,5
P_i	5%

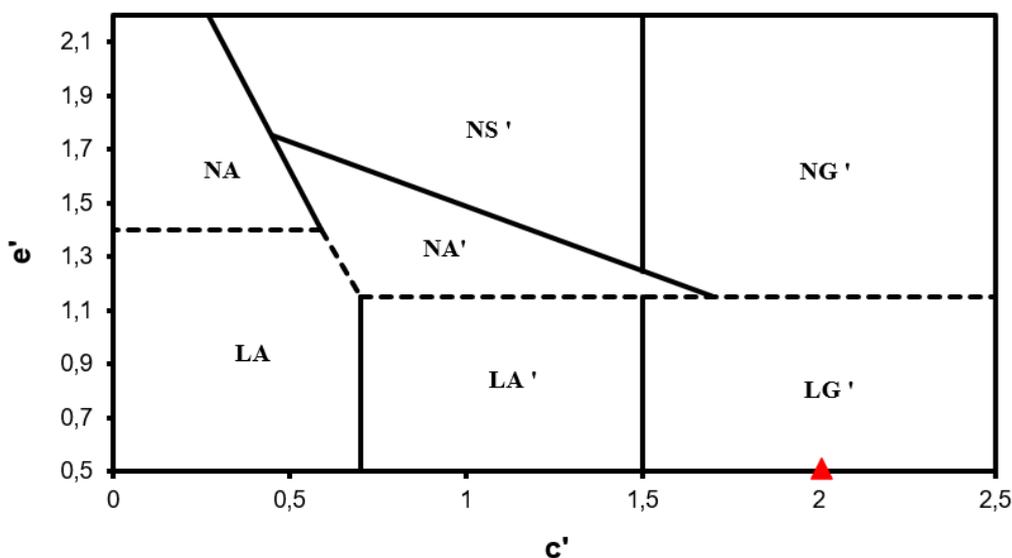
Fonte: Autores (2023).

4.4. Classificação MCT

Por meio da equação 2 e da posse dos valores de d' e P_i , calculou-se o e' igual a 0,51. Dessa forma, torna-se possível verificar que o solo está inserido na categoria LG' (solos argilosos lateríticos), evidenciado ao plotar-se um ponto com as

coordenadas ($c'=2,01$, $e'=0,51$) no gráfico da classificação MCT, como observa-se pelo triângulo na figura 20.

Figura 20 - Classificação do solo pela metodologia MCT.



Fonte: Autores (2023).

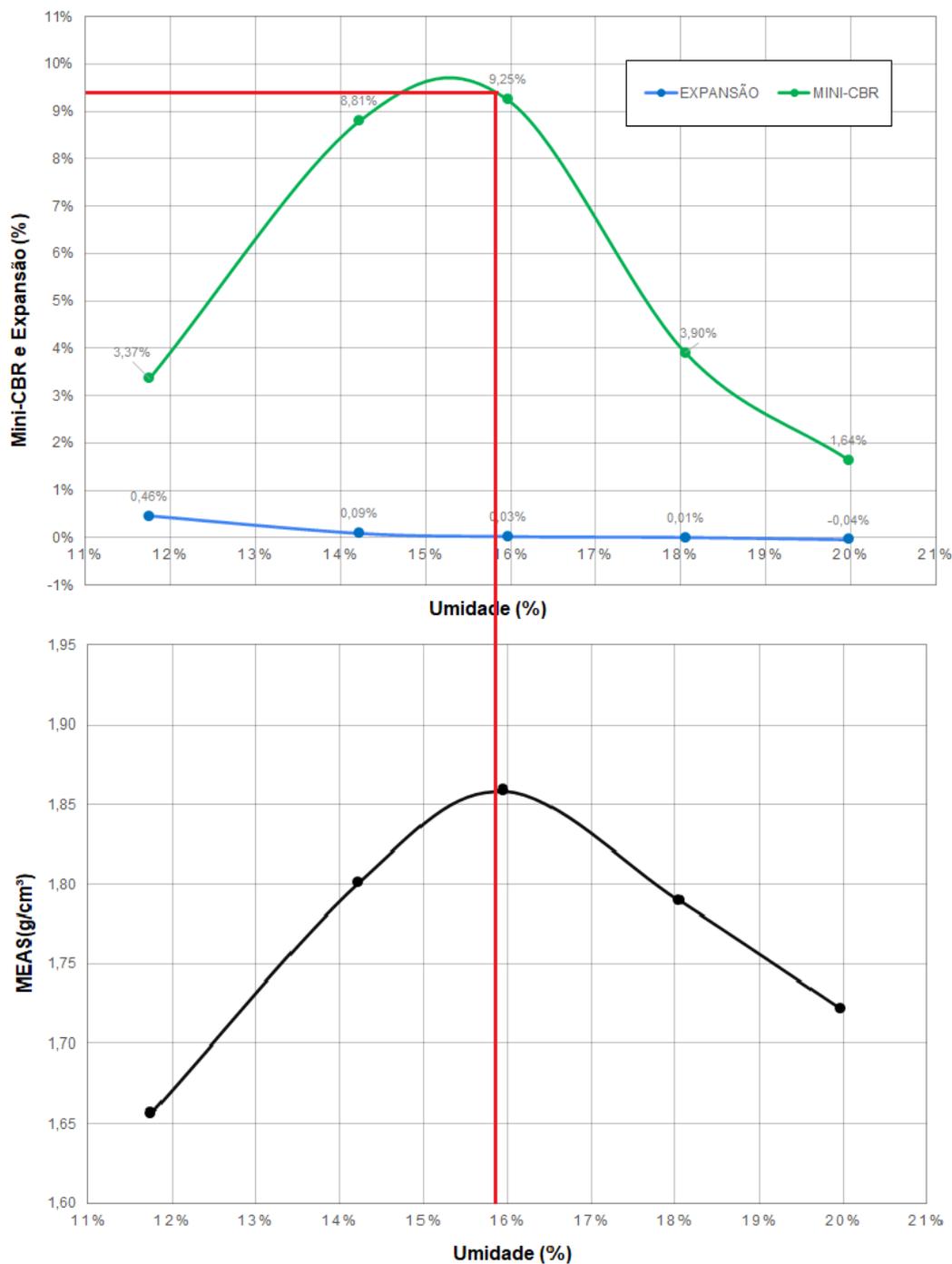
De acordo com Villibor e Alves (2019), solos pertencentes a esse grupo com o coeficiente c' maior que 2,0 apresentam contração elevada em suas camadas compactadas, menor capacidade de suporte e menor módulo de resiliência, em comparação aos solos LG' próximos do grupo LA' ($c' \approx 1,5$).

Pela correlação da tabela 2, esperava-se que o solo classificado pela metodologia unificada como CL fosse classificado na MCT no grupo NS' , entretanto não foi o que ocorreu. Já para a classificação TRB, confirmou-se o que se esperava da correlação, onde o solo do grupo A-6, pela MCT foi identificado como do grupo LG' . Apesar da composição da amostra ser majoritariamente formada por areia, como mostra o gráfico 3, criando a expectativa de uma classificação como areia ou solo arenoso, a amostra obteve uma classificação de solo argiloso e com alto coeficiente de argilosidade, c' .

4.5. Mini-CBR e expansão

No gráfico 8 pode-se observar as relações entre os valores de mini-CBR, expansão e MEAS para cada umidade dos corpos de prova ensaiados, além de possibilitar a obtenção do mini-CBR na umidade ótima de compactação.

Gráfico 8 - Mini-CBR, expansão e MEAS com a umidade de compactação.



Fonte: Autores (2023).

Utilizou-se o procedimento do mini-CBR em que o solo, após compactação pela energia normal, era imerso em água por um período de 24 horas com uma sobrecarga padrão de 490g e por fim penetrado pela prensa de compactação. Aferiu-se com extensômetro altura inicial e final dos corpos de prova imersos, de modo a obter-se dados sobre a expansão do solo.

A tabela 9 apresenta um resumo dos principais dados obtidos pelos ensaios e pelo gráfico 8. É relevante perceber que os corpos de prova, com umidades pertencentes ao ramo úmido, apresentaram expansão baixa em relação aqueles do ramo seco, inclusive o corpo de prova mais úmido apresentou uma contração de 0,04%.

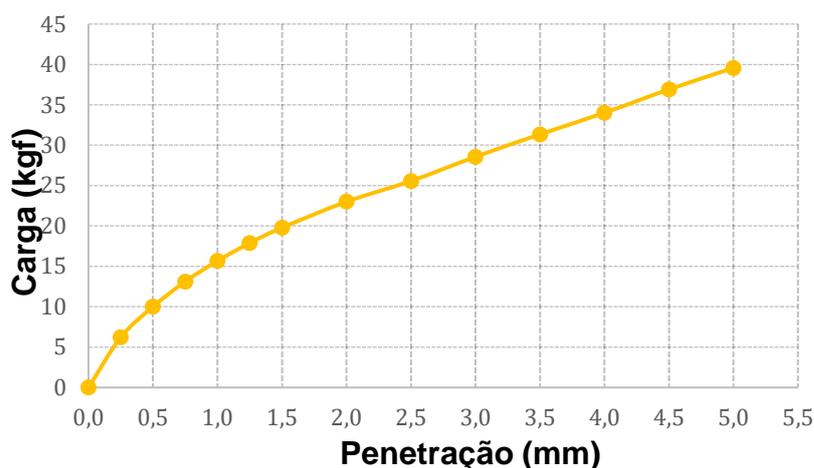
Tabela 9 - Resumo dos resultados obtidos no ensaio mini-CBR e expansão.

Umidade	MEAS [g/cm ³]	Expansão	Mini-CBR (Umidade ótima)
11,76%	1,66	0,46%	
14,22%	1,80	0,09%	
15,97%	1,86	0,03%	9,3%
18,05%	1,79	0,01%	
19,97%	1,72	-0,04%	

Fonte: Autores (2023).

No mais, o gráfico 9 apresenta a relação de carga aplicada pela penetração do pistão no solo com umidade de 15,97%, muito próxima da umidade ótima obtida anteriormente. Por meio desse gráfico, observa-se um comportamento de certa forma óbvio, onde vê-se que a penetração aumenta à medida que se aplica uma força maior ao corpo de prova. Além disso é possível obter-se as magnitudes das forças em que as penetrações são iguais a 2mm e 2,5mm, cargas essas importantes para o cálculo do valor do mini-CBR.

Gráfico 9 - Carga x Penetração na umidade ótima.



Fonte: Autores (2023).

4.6. Contração axial

Segundo Nogami e Villibor (1995), quanto mais argiloso é um solo, mais contrátil ele é, dessa forma, solos pertencentes ao grupo LG' apresentam corriqueiramente valores de contração maiores que 0,5% na umidade ótima quando compactados com energia normal. O resultado do ensaio valida essa afirmação, visto que na umidade ótima o material apresentou contração no valor de 1,5%, além de outros valores elevados em diferentes teores de umidade, como é visto na tabela 10. Observa-se também que os corpos de prova com menores teores de umidade são os que apresentam menor contração, enquanto aqueles com maiores teores de umidade são justamente aqueles que mais se contraíram.

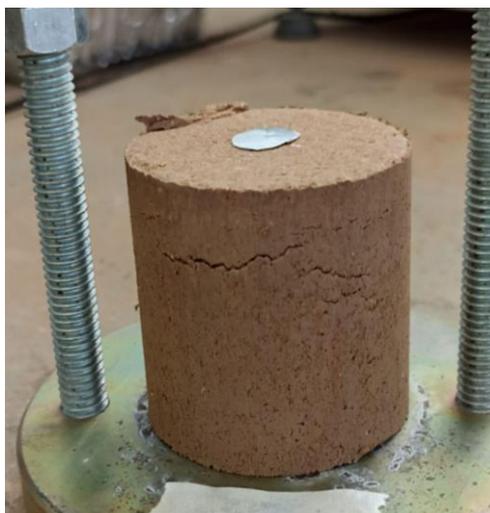
Tabela 10 - Contração axial com energia de compactação normal.

Umidade	Contração
11,75%	0,4%
13,68%	0,5%
15,91%	1,5%
18,03%	1,4%
20,02%	1,5%

Fonte: Autores (2023).

Chegou-se ao fim do ensaio quando as leituras dos extensômetros se tornaram constantes, nesse momento então observou-se as trincas nos corpos de prova devido à saída de água, e notou-se que elas eram comuns aos corpos de prova com umidade acima da umidade ótima do solo, já que neles a quantidade de água é maior. A figura 21 apresenta um dos corpos de provas com foco para as trincas que esse apresentou.

Figura 21 - Trinca em corpo de prova após secagem ao ar.



Fonte: Autores (2023).

4.7. Aplicações geotécnicas

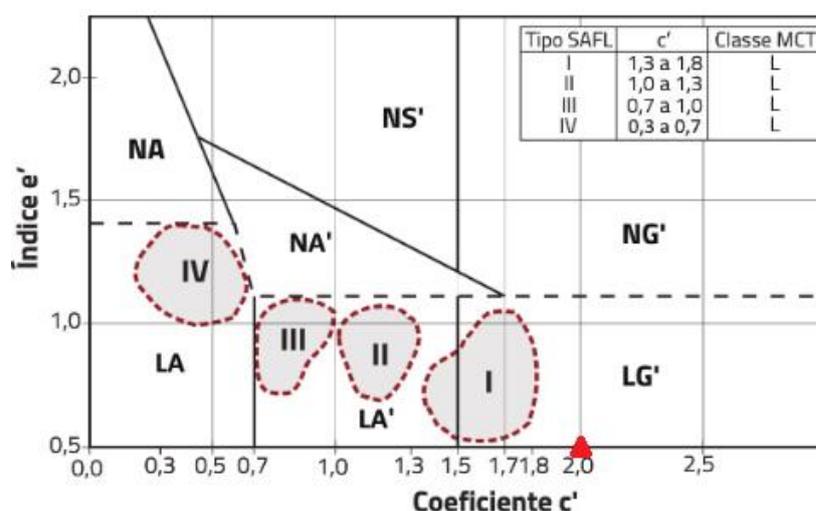
Baseando-se nos resultados encontrados com os ensaios supracitados, analisou-se a possibilidade de aplicação do material estudado em obras geotécnicas, a depender do atendimento às propriedades necessárias para cada uso.

Avaliou-se primeiramente os critérios para o uso do solo em camadas de pavimentos, de acordo com os critérios apresentados na tabela 3. A análise granulométrica da amostra revela que ela é constituída majoritariamente de uma fração retida na peneira de 0,075mm e a outra parcela é de material passante na mesma. Da parte retida, uma quantia irrisória de material fica retido na peneira de 2,0mm, o que conceitualmente classifica a amostra como um solo laterítico-agregado de granulação fina. Ademais, por se tratar de um solo obtido *in natura* e não de uma mistura, pode-se avaliá-lo como um SAFL.

A classificação MCT da amostra identifica-a como um solo argiloso laterítico (LG') e o resultado do ensaio de expansão aponta uma expansão de 0,03% na umidade ótima, ambos os dados satisfazem o exigido para o SAFL na aplicação de bases e sub-bases de pavimentos. Todavia, na mesma condição de umidade, o solo obteve valores de Mini-CBR de 9,3% e contração axial de 1,5%, o que não atende ao tipo de camada.

O comportamento do solo puro fora do apto ao uso em pavimentos era esperado já que sua classificação MCT, embora pertença a um grupo que atende a essa aplicação, está fora do agrupamento que Villibor e Alves (2019) fazem desse tipo de camada, como é mostrado na figura 22, em que as classificações compatíveis de SAFL são representadas por I, II, III e IV, e a classificação da amostra pelo triângulo vermelho.

Figura 22 - Tipos de SAFL de acordo com a classificação MCT.



Fonte: Villibor e Alves (2019).

Ainda como uma opção para pavimentação, avalia-se o solo como a fração fina para mistura de obtenção de solo laterítico-agregado grosso. Para o uso em base e sub-base a fração fina do SLAC tem como único requisito a classificação em um grupo laterítico, que é atendida pelo material avaliado. Já para o SLAD há, além da obrigatoriedade de ser laterítico, exigências quanto às propriedades cujos valores são expostos na tabela 3, das quais a amostra atende somente ao limite imposto para expansão e não atende aos limites de mini-CBR e contração.

Utilizando-se dos critérios expostos anteriormente na tabela 4, verificou-se o potencial de aplicabilidade do solo desse projeto para uso em aterros sanitários. Pelo parâmetro de contração o solo se encontra dentro do valor admissível, uma vez que a contração do solo em uma umidade próxima a ótima foi de 1,5% e o critério determina que tal contração poderia ser de até 4%. Não foi possível realizar a avaliação pelos dois outros critérios, tendo em vista que não se realizou ensaios de permeabilidade e de resistência à compressão simples nesse projeto. Entretanto, por ser um solo do grupo laterítico argiloso, espera-se, como apresentado no item 2.3.3, que ele tenha propriedades pertinentes para serem aplicados a obras de solo compactado como em aterros sanitários e em aterros gerais.

5. CONCLUSÃO

O uso da metodologia MCT para classificar o solo demonstrou-se de grande valência, possibilitando obter de maneira eficiente as características comportamentais do solo estudado. Verificou-se também, nesse método, vantagens interessantes como por exemplo a facilidade de manuseio e armazenamento dos aparatos dos ensaios. Além disso, a caracterização baseada em corpos de provas em miniatura compactados reduziu a quantidade de solo necessária e ainda agilizou tal processo.

Em suma, o solo foi classificado pela metodologia SUCS como sendo do grupo CL, enquanto pelo método TRB o seu grupo é o A-6. No mais, pôde-se por meio da bateria de ensaios da metodologia MCT identificar os parâmetros necessários para classificar o solo tropical. O valor do parâmetro c' encontrado indicou o caráter argiloso do solo, já que esse superou 1,5. Já em relação ao d' , que nesse caso é maior que 20, é típico de argilas ou solos argilosos. Por fim, o e' evidenciou o comportamento laterítico do solo fino por ser menor que 1,15. Dessa forma, obteve-se a classificação final do solo como LG', uma argila laterítica.

A partir dos resultados obtidos avaliou-se a aplicabilidade do solo em obras geotécnicas. Cada obra tem seus próprios requisitos, dentre os quais avaliou-se somente aqueles cujos valores foram encontrados com os ensaios realizados.

Quanto ao uso como base ou sub-base de pavimentos, conclui-se que o solo puro não pode ser usado para esse fim, por apresentar baixo mini-CBR e contração elevada. No entanto, isso pode ser resolvido ao se misturar o solo ensaiado com um solo arenoso laterítico, criando um SAFL artificial, denominado ALA. Outra possibilidade analisada foi a de uso do material como a fração fina de solo laterítico-agregado grosso, na qual havia duas possibilidades: para a primeira, o SLAC, o solo é laterítico e, portanto, apropriado para fração fina da mistura que constitui o solo integral a ser usado em base e sub-base de pavimento; para a segunda, o SLAD, mais uma vez o baixo mini-CBR e a contração elevada impedem seu uso.

Para aplicações em aterros sanitários, o solo foi aprovado pelo critério de contração, uma vez que o valor obtido na umidade ótima de compactação é inferior a 4%. Quanto ao uso em aterros compactados em geral, avaliou-se que o solo pode sim ser usado, já que ele pertence ao grupo LG' que possuem características típicas de

elevados valores de índice de suporte sem imersão, além de baixa permeabilidade, expansibilidade e contração.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuras pesquisas, sugere-se linhas de pesquisa que complementam a desse trabalho, algumas delas são:

- A realização de ensaios em diferentes energias de compactação;
- A realização de outros ensaios da metodologia MCT como o de permeabilidade e infiltrabilidade;
- A realização do ensaio de compressão simples e do mini-CBR sem imersão para obtenção de outros parâmetros que avaliem o solo;
- A avaliação do melhoramento ou não de propriedades do solo com a adição de cimento ou cal.
- A realização da caracterização para uma amostragem maior.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2016) **Solo - Determinação do limite de liquidez** NBR 6459. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP.
- ABNT (2016) **Solo - Determinação do limite de plasticidade** NBR 7180. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP.
- ABNT (2016) **Solo – Análise granulométrica** NBR 7181. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP.
- ABNT (2016) **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização** NBR 6457. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP.
- ALVES, D. M. L.; HENRIQUES, P. F. H. S. Estudo Comparativo De Diferentes Sistemas De Classificações Geotécnicas Aplicadas A Solos Tropicais No Estado Do Mato Grosso. São Paulo, 2017.
- AYALA R. J. L. **Melhoria de Solos com Fibras Provenientes da Indústria Avícola**. Brasília, 2020. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UnB.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo, SP: Ed. Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. L. B. Considerações Sobre O Dimensionamento De Pavimentos Utilizando Solos Lateríticos Para Rodovias De Baixo Volume De Tráfego. São Paulo, 1995.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da, CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 1ª ed. Programa Asfalto nas Universidades, Petrobras Distribuidora S.A., 2008.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A, 1994, 225p.
- Classificação MCT - Ensaios Geotécnicos - A Classificação de Solos Tropicais**. Suporte. Disponível em: < <https://www.suportesolos.com.br/blog/classificacao-mct-ensaios-geotecnicos-a-classificacao-de-solos-tropicais/79/> >. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.
- COZZOLINO, V. M. N. e NOGAMI, J. S. **Classificação geotécnica MCT para solos tropicais**. Solos e Rochas, v. 16, n. 2, p. 77-91, 1993.
- DAMO, T. P. Classificação dos Solos e Rochas Sedimentares da Região de Santa Maria/RS Segundo a Metodologia MCT. Santa Maria, 2016.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ: DNIT/IPR, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 228/94: Método de ensaio. **Solos - compactação em equipamento miniatura**. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 258/94: Método de ensaio. **Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV**. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 254/97: Método de ensaio. **Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-CBR e expansão**. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 256/1994: Método de ensaio. **Solos compactados em equipamento miniatura - determinação da perda de massa por imersão**. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 259/96: Classificação. Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Terraplenagem - Aterros** - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

DER/SP M 193 – Determinação da contração de solos compactados em equipamento miniatura. São Paulo, 1989.

GONÇALVES, C. E. R. Estudo De Estabilização De Solos Utilizando Material Fresado E Cimento. São Luís, 2019.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Solos da Formação Geológica ao Uso na Engenharia**. 2. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008. 198 p.

MOURA E; SANTA'ANA W C; ; BERNUCCI L. B. M-MCV Simplificado - Cálculo do Coeficiente c' uma Abordagem Didática. Goiânia, 2006.

NEVES, J. P. Aplicação Da Metodologia Mct Em Pavimentos De Baixo Custo No Município De Goiânia. Goiânia, 2018.

NOGAMI J. S.; VILLIBOR D. F. **Pavimentação de baixo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

PAES, B. S. T. Avaliação Geotécnica De Corte Rodoviário Em Perfil De Solos Residuais Quanto Ao Potencial De Erodibilidade. Viçosa, 2017.

PALMA, M. M. Estudo De Solos Tropicais Utilizados Em Camada De Cobertura De Aterros Sanitários Utilizando A Metodologia De Daniel E Wu. Brasília, 2017.

PEREIRA, V. F. Avaliação De Um Solo Tropical Para O Uso Em Camadas De Cobertura De Aterros Sanitários Utilizando A Metodologia De Daniel & Wu. Brasília, 2016.

RIBEIRO, S. P. T. Terraplenagem. Metodologia E Técnicas De Compactação. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

SANTOS, R. S. Introdução Ao Estudo Da Metodologia Mct No Laboratório De Geotecnia E Pavimentação - Geopav. São Cristóvão, 2018.

SILVA, C. M. Caracterização Geotécnica De Solos Do Município De Eldorado/Ms Com Vistas A Obras De Pavimentação. Joinville, 2022.

SOARES, W. M. Estudo De Solos Lateríticos Fino Para Uso Em Pavimentação Para A Região De São Luís. São Luís, 2019.

SOUZA R. A. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia-MG**. Uberlândia, 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós graduação em Engenharia Civil da UFU.

VENTURINI, J. A. **Aplicação da metodologia MCT para classificação de alguns solos e rochas da região de santa maria**. 2015. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S.; CINCERRE, J. R.; SERRA, P. R. M.; NETO, A. Z. **Pavimento de Baixo Custo para Vias Urbanas**: Bases Alternativas com Solos Lateríticos. 2º Edição. São Paulo: Arte e Ciência, 2009.

VILLIBOR D. F.; ALVES D. M. L. **Pavimentação de baixo custo para regiões tropicais**: projeto e construção. 1º Edição. Florianópolis: Tribo Ilha, 2019.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J. R. **Pavimentos com Solos Lateríticos e Gestão de Manutenção de Vias Urbanas**. São Paulo: Associação Brasileira de Pavimentação, 2000.