

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MCT EM PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA

Jordana Portilho Neves

Mestranda em Geotecnia (UFG), Goiânia, Brasil, jordanapn@hotmail.com

João Carlos de Oliveira

Professor Doutor em Geotecnia (IFG), Goiânia, Brasil, joaocarlosifg@gmail.com

Giovane Batalione

Professor Mestre em Geotecnia (IFG), Goiânia, Brasil, giovane.batalione@ifg.edu.br

Thiago Augusto Mendes

Professor Doutor em Geotecnia (IFG), Aparecida de Goiânia, Brasil, thiago.mendes@ifg.edu.br

Marco Aurélio Izaac de Souza

Engenheiro Civil, Goiânia, Brasil, gynmarco@hotmail.com

RESUMO: Países de clima tropical, como o Brasil, possuem solos com características peculiares. São solos ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, denominados de lateríticos, que possuem excelentes propriedades para uso em pavimentação. Desde a década de 70 vêm sendo desenvolvida metodologia para a utilização de solos arenosos finos lateríticos em pavimentos denominada de MCT (corpos de prova Miniatura, Compactados e constituídos de solos Tropicais), publicada por Nogami e Villibor (1995) e modificada por Nogami e Villibor (2003) buscando explorar as potencialidades dos solos tropicais finos para execução de camadas de pavimentos de baixo custo. O presente trabalho aplicou os ensaios da metodologia MCT e os tradicionais a dois solos finos da região metropolitana de Goiânia a fim de avaliar o seu potencial para o uso em bases de pavimentos urbanos. Os resultados indicaram que os dois solos estudados apresentam bom potencial para serem empregados em camadas de bases de pavimentos de baixo volume de tráfego.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação asfáltica, pavimentos de baixo custo, Metodologia MCT, pavimentos urbanos

ABSTRACT: Countries with a tropical climate, such as Brazil, have soils with peculiar characteristics. They are soils rich in oxides and hydroxides of iron and aluminum, called lateritic, which have excellent properties for use in paving. Since the 1970s, a methodology has been developed for the use of lateritic fine sandy soils in pavements called MCT (Miniature specimens, compacted and composed of tropical soils), published by Nogami and Villibor (1995) and modified by Nogami and Villibor (2003) seeking to explore the potential of fine tropical soils for the execution of low-cost pavement layers. The present work applied the tests of the MCT methodology and the traditional ones to two fine soils in the metropolitan region of Goiânia in order to evaluate their potential for use in urban pavement bases. The results indicated that the two soils studied have a good potential to be used in base layers of pavements with low traffic volume.

KEYWORDS: Asphalt Paving, low cost pavements, MCT methodology, urban pavements.

1 Introdução

Segundo Pinto (2006), os solos apresentam uma grande variedade de comportamento mediante as solicitações a eles impostas e, em função disso, foram criados, ao longo do tempo, diversos sistemas para agrupamento dos mesmos em conjuntos de comportamentos semelhantes. As classificações dos solos em relação à engenharia, denominadas de classificações geotécnicas, são utilizadas para prever o comportamento do solo quando aplicado às obras. São tantas as peculiaridades dos solos que um sistema de classificação dito como eficaz tem que levar em consideração uma enorme quantidade de índices, deixando de ser de fácil



aplicação. Os métodos de classificação dos solos nos ajudam a orientar e investigar os parâmetros mais importantes para cada aplicação, sejam elas geotécnicas, hidrológicas ou agronômicas.

São várias as formas de classificação dos solos, a saber: origem, evolução, textura ou granulometria, composição físico-química, estrutura, plasticidade etc. Os dois sistemas de classificação geotécnica mais utilizados no mundo, cujos índices empregados são geralmente a composição granulométrica e os limites de consistência (ou limites de Atterberg), são o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), preferido pelos engenheiros de barragem, e o sistema de classificação do Transportation Research Board (TRB), preferido pelos engenheiros rodoviários. Embora estas classificações sejam direcionadas a áreas específicas, ainda assim podem ser observadas discrepâncias entre as mesmas e o comportamento real dos solos. Isso acontece porque os solos brasileiros são, em sua grande maioria, residuais ou lateríticos, diferentemente dos solos de países cujo clima é temperado, onde usualmente se utilizam os sistemas de classificação supracitados (PINTO, 2006).

No início da década de 80 surgiu uma proposta brasileira para classificação dos solos, desenvolvida pelo professor Job Shuji Nogami, da Escola Politécnica da USP, devidamente adaptada às peculiaridades dos solos e ambientes tropicais úmidos (solos lateríticos e solos saprolíticos), apropriada para o projeto de pavimentos de baixo custo, rodovias de tráfego leve e médio, a metodologia MCT (corpos de prova Miniatura, Compactados e constituídos essencialmente de solos Tropicais) (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

Na classificação MCT os solos são classificados em areias, siltes e argilas e logo em seguida em lateríticos ou não lateríticos, utilizando-se dos ensaios de compactação Mini-MCV e perda de massa por imersão em água realizados com corpos de prova de dimensões reduzidas e com diferentes teores de umidade (NOGAMI e VILLIBOR, 1995).

A fim de compreender melhor as características dos solos tropicais finos e suas potencialidades de aplicação em pavimentos, esta pesquisa objetivou investigar e aplicar a metodologia MCT em dois solos finos da região metropolitana de Goiânia e avaliar o seu potencial para emprego em bases de pavimentos de baixo volume de tráfego.

2 Métodos Experimentais

2.1 Seleção e coleta das amostras

A escolha da primeira amostra de solo fino (S1) foi feita de acordo com os estudos de Oliveira (2007), que realizou amostragens e caracterizou sete solos da região metropolitana de Goiânia, em bairros não pavimentados. Por se tratar de um solo fino classificado como solo fino laterítico argiloso – LG', de acordo com a classificação MCT, optou-se por coletar uma amostra próximo ao local estudado por Oliveira (2007) (Quadro 1).

A escolha da segunda amostra de solo fino (S2) foi feita a partir da visita e amostragem do solo do residencial Jardim Cerrado IV (Quadro 1), em função do mesmo apresentar boas características para a pesquisa (ser um solo areno-argiloso, apresentar sinais de laterização ao exibir uma coloração marrom alaranjada, cor de ferrugem, pela presença de grande quantidade de óxidos hidratados de ferro ou alumínio, modificando sua composição e coloração).

Quadro 1 – Informações dos locais de coleta das amostras dos solos S1 e S2.

Solo	Coordenadas geográficas		Ponto de referência
	S (°)	W (°)	
S1	16°37'22"	49°12'09"	Proximidades da Central de Abastecimento de Goiás S.A (CEASA)
S2	16°42'28"	49°24'52"	Residencial Jardim Cerrado IV

2.2 Ensaios de caracterização, compactação e CBR

A caracterização dos solos amostrados consistiu na realização dos seguintes ensaios: análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 2016), massa específica dos grãos, de acordo com a NBR 6458 (ABNT, 2016) e limites de consistência ou de Atterberg, sendo realizados os ensaios de limite de liquidez e plasticidade, conforme especificado nas normas NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016). Já os ensaios de compactação foram realizados seguindo a norma NBR 7182 (ABNT, 2016) em Corpos-de-Prova (CP) utilizando cilindro grande, com altura de 11,43 mm e diâmetro de 15,24 mm, volume de 2.085 cm³. Foram realizados ensaios empregando as energias normal e intermediária, a fim de avaliar a variação dos parâmetros em função da variação de energia.



2.3 Ensaios da classificação MCT

Para a realização dos ensaios, as amostras foram secas ao ar, passadas por um processo de destorroamento e por fim, foram passadas na peneira de malha 2,00 mm, desprezando-se a fração retida.

Para a determinação dos parâmetros necessários à classificação MCT foram realizados os ensaios de compactação Mini-MCV e perda de massa por imersão de acordo com a normas ME 258 (DNER, 1994) e ME 256 (DNER, 1994), respectivamente. Para avaliar a capacidade de suporte para fins de pavimentação foram realizados os ensaios de Mini-Proctor (compactação) conforme o método ME 228 (DNER, 1994) e Mini-CBR com medida de expansão conforme o método ME 254 (DNER, 1997). A classificação dos solos amostrados foi realizada pela metodologia MCT, conforme a norma CLA 259 (DNER, 1996).

Os ensaios e as análises dos resultados seguiram orientações recomendadas por Nogami e Vilibor (2003) após avaliarem a necessidade de introduzir modificações para aperfeiçoamento da classificação geotécnica MCT face à introdução de novos procedimentos de ensaio após o ano de 1994, e por terem surgidos resultados de novos tipos de solos após esse ano. Segundo Nogami e Vilibor (2003) as principais justificativas para introdução dessas modificações foram:

- introdução de uma simplificação do procedimento de Nogami e Villibor (1995) para a obtenção da curva de deformabilidade de corpos de prova de 50 mm de diâmetro compactados com equipamento geralmente conhecido como “Mini”- Proctor”;
- consideração de resultados de ensaios de solos pedogenéticos que atualmente são designados como “argissolos” pela classificação pedológica adotada presentemente no Brasil e;
- implementação de um novo gráfico para classificação de corpos de prova compactados.

2.4 Dimensionamento de pavimentos de baixo custo com os solos finos estudados, nas camadas de base, de acordo com a metodologia MCT

A partir dos resultados obtidos nos ensaios do programa experimental, foi realizado o dimensionamento de um pavimento urbano de baixo custo utilizando um dos solos finos como camada de base. O dimensionamento foi realizado de acordo com o método proposto por Villibor et al. (2007), baseado no método de projeto de pavimentos flexíveis do DNIT e no método do DER/SP, com o uso do ábaco de dimensionamento estabelecido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE).

3 Resultados e Discussões

3.1 Caracterização do solo

Os resultados dos ensaios de massa específica dos grãos, análise granulométrica por peneiramento e sedimentação e limites de consistência são apresentados na Tabela 1, além da classificação dos solos pelos métodos SUCS e TRB.

Tabela 1 – Resultado dos ensaios para os dois solos estudados.

		S1	S2
Massa específica dos grãos (kN/m ³)		26,87	25,79
Granulometria (%)	Pedregulho	0,56	5,13
	Areia	48,15	76,17
	Silte	16,2	4,86
	Argila	35,09	13,85
Limites de consistência (%)	Limite de Liquidez	36	29
	Limite de Plasticidade	28	20
	Índice de Plasticidade	8	9
Classificação	SUCS	ML	SC
	TRB	A-4(6)	A-4(2)

O Solo 1 (S1) apresentou um valor de massa específica dos grãos igual a 26,87 kN/m³ e o Solo 2 (S2), igual a 25,79 kN/m³. Valores típicos deste índice situam-se entre 25,99 e 27,95 kN/m³.

Com relação a granulometria, o Solo 1 possui predominância da fração areia, seguida pelas frações de argila e silte e uma pequena quantidade de pedregulho, enquanto que o Solo 2 também possui predominância da fração areia, seguida pelas frações de argila pedregulho e silte.



Verifica-se que os solos apresentam valores de índice de plasticidade (IP) próximos e relativamente baixos. Também foram calculados os índices de atividade (Ia), por meio da Equação 1, para verificar a influência que a fração argila exerce no solo. Obteve-se valores de 0,23 para o solo S1 e 0,65 para o solo S2, classificando a fração argila dos dois solos como inativa.

$$Ia = \frac{IP}{\% < 2\mu m} \quad (1)$$

onde: % < 2μm é a percentagem de argila (partículas menores que 0,002 mm), se:

$$\begin{aligned} Ia < 0,75 &\rightarrow \text{argilas inativas} \\ 0,75 < Ia < 1,25 &\rightarrow \text{argilas normais} \\ Ia > 1,25 &\rightarrow \text{argilas ativas} \end{aligned}$$

3.2 Ensaios de compactação, expansão e CBR

Na Tabela 2 são apresentados os valores de peso específico aparente seco máximo, umidade ótima, expansão e índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR) obtidos nos ensaios. As Figuras 1 e 2 apresentam as curvas de compactação obtidas para os dois solos estudados.

Tabela 2 – Parâmetros obtidos nos ensaios de compactação, expansão e CBR.

Amostra	Parâmetros de compactação, expansão e CBR				
	Energia de compactação	γ_d (kN/m ³)	w _{ot} (%)	CBR (%)	Expansão (%)
S1	Normal	14,83	25,2	3	0,1
	Intermediária	15,71	22,4	15	0,2
S2	Normal	15,67	19,0	13	0,1
	Intermediária	17,08	16,2	28	0,0

Observa-se que o solo S2 apresenta maiores valores de capacidade de suporte que o solo S1, entretanto, ambos apresentam valores muito baixos de expansão. Observa-se também que o aumento de energia aumentou sensivelmente a capacidade de suporte dos dois solos estudados.

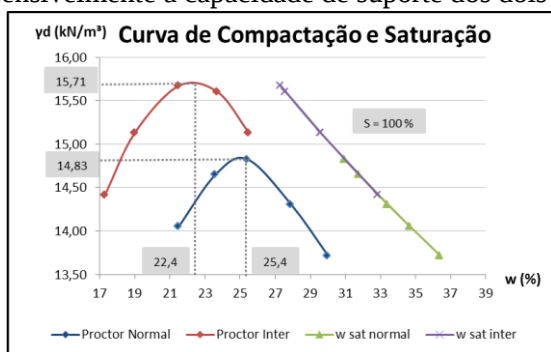


Fig. 1 – Curvas de compactação e saturação obtidas para o solo compactado na energia normal e intermediária para o solo S1.

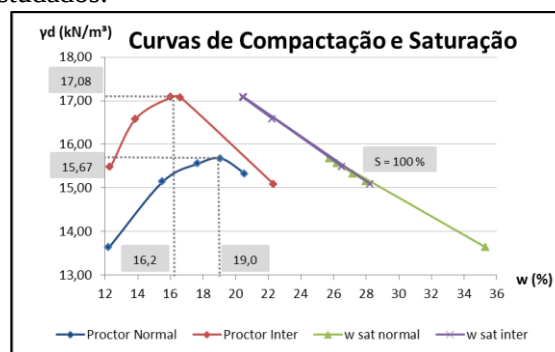


Fig. 2 – Curvas de compactação e saturação obtidas para o solo compactado na energia normal e intermediária para o solo S2.

3.3 Ensaios da metodologia MCT

3.3.1 Ensaios de Mini-Proctor

Para o solo S1, os ensaios de Mini-Próctor nas energias de compactação normal (5 golpes de soquete leve, de cada lado) e intermediária (6 golpes de soquete pesado, de cada lado), forneceram valores de umidade ótima iguais a 20,8 e 19,0%, respectivamente. Os pesos específicos secos máximos apresentaram valores de 15,79 kN/m³ para a energia normal, e 17,26 kN/m³ para a energia intermediária, conforme demonstrado na Figura 3.

Para o solo S2 os ensaios de Mini-Próctor nas energias de compactação normal e intermediária, forneceram valores de umidade ótima iguais a 17,8 e 15,0%, respectivamente. Os pesos específicos aparentes secos máximos apresentaram valores de 16,28 kN/m³ para a energia normal, e 17,75 kN/m³ para a energia intermediária, conforme demonstrado na Figura 4.

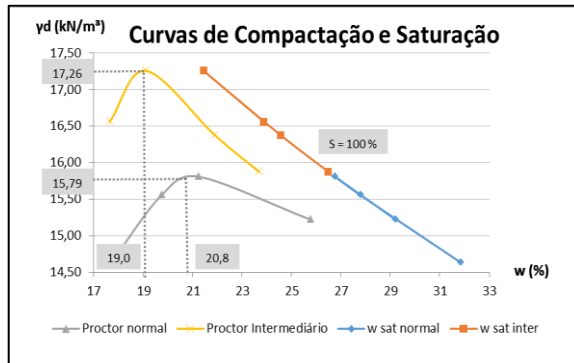


Fig. 3 – Curvas de compactação e saturação obtidas do ensaio de Mini-Próctor para o solo S1 compactado nas energias normal e intermediária.

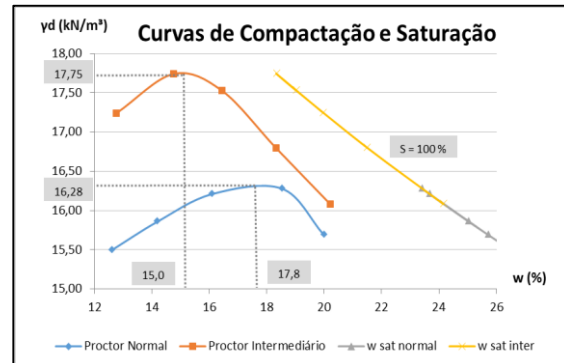


Fig. 4 – Curvas de compactação e saturação obtidas do ensaio de Mini-Próctor para o solo S2 compactado nas energias normal e intermediária.

3.3.2 Ensaios de Mini-CBR

Na Tabela 3 são apresentados os valores de Mini- CBR e expansão, obtidos com as energias do Proctor normal e intermediário.

Tabela 3 – Parâmetros obtidos nos ensaios de Mini-CBR e expansão.

Amostra	Parâmetros de compactação, expansão e Mini-CBR				
	Energia de compactação	γ_d (kN/m ³)	w_{ot} (%)	Mini-CBR (%)	Expansão (%)
S1	Normal	15,79	20,8	16	0,0
	Intermediária	17,26	19,0	45	0,2
S2	Normal	16,28	17,8	16	0,0
	Intermediária	17,75	15,0	49	0,1

Infer-se da Tabela 3 que os solos S1 e S2, compactados com a energia intermediária, satisfazem as exigências da norma ET-P00/015 (DER, 2005), que estabelece condições mínimas para a confecção de bases e sub-bases de solos arenosos finos de comportamento laterítico (SAFL), cujo valor de Mini-CBR sem imersão deve ser maior ou igual a 40% e expansão com sobrecarga padrão menor ou igual a 0,3%. Nogami e Villibor (1995) constataram que para os solos lateríticos o ensaio de Mini-CBR com sobrecarga não difere do ensaio de Mini-CBR sem sobrecarga, pois o efeito da sobrecarga na imersão é pequeno para esses solos.

3.3.2 Comparação entre o CBR convencional e o Mini-CBR

O gráfico da Figura 5 e as Tabelas 2 e 3 mostram os valores de CBR em função do Mini-CBR, para os dois solos estudados, considerando as energias normal e intermediária. Ao analisar esse gráfico, verifica-se uma dificuldade de se estabelecer uma correlação entre essas duas propriedades, conforme também constatado por Barros (2003) e Souza (2007).

3.4 Classificação geotécnica MCT

A Tabela 4 resume os valores dos coeficientes c' , d' , e' e Pi determinados para os dois solos estudados.

Tabela 4 – Índices classificatórios.

SOLO	Índices classificatórios			
	c'	d'	Pi (%)	e'
S1	1,62	40,7	92,0	1,12
S2	1,40	52,1	80,0	1,06

O coeficiente e' é relativo ao comportamento laterítico ou não-laterítico dos solos. Para calcular esse parâmetro, utiliza-se a Equação 2, que considera os valores de perda de massa por imersão (Pi) e o valor de d' que é a declividade mais íngreme do ramo seco da curva de compactação.

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

onde: e' é o índice de laterização; d' é a inclinação multiplicada por 10^3 da parte seca da curva de compactação referente a 10 golpes e Pi é o coeficiente de perda de massa por imersão em água, determinado para MCV igual a 10 e diferença de altura igual a 2.



O coeficiente c' é determinado traçando-se uma reta de interpolação que é obtida considerando-se a tendência de inclinação das curvas Afundamento (mm) x Número de golpes, de todos os corpos-de-prova ensaiados. O ângulo de inclinação da reta interpolada surge a partir do ponto onde o número de golpes é igual a 10 e o afundamento do corpo de prova é igual a 2 mm.

De posse dos coeficientes c' e e' plota-se os mesmos no Gráfico da classificação MCT, apresentado na Figura 5.

Os solos estudados, conforme demonstrado na Figura 6, apresentaram as seguintes classificações: o solo S1 enquadrou-se no grupo LG', em que os integrantes mais frequentes desse grupo têm sido as argilas e as argilas arenosas lateríticas e o solo S2 enquadrou-se no grupo LA', solos tipicamente arenosos lateríticos.

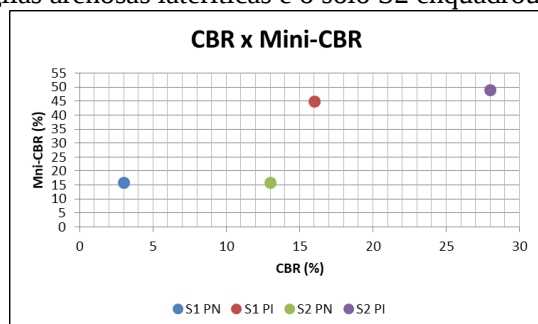


Figura 5 – Relação entre os resultados de CBR (%) e de Mini-CBR (%) compactados com energia normal (PN) e energia intermediária (PI).

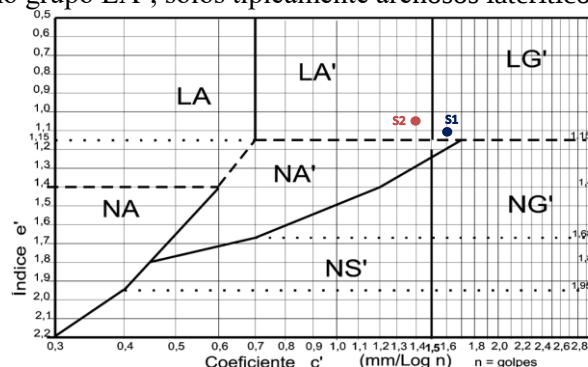


Figura 6 – Classificação MCT dos solos estudados, conforme proposto por Nogami e Vilibor (2003).

3.5 Classificações geotécnicas dos solos estudados

No Quadro 2 são apresentados resumidamente as classificações geotécnicas dos solos estudados.

Quadro 2 – Classificação dos solos estudados.

SOLO	HRB	SUCS	MCT
S1	A-4 (6)	ML - silte arenoso	LG' (argila arenosa)
S2	A-4 (2)	SC - areia argilosa	LA' (areia argilosa)

Na classificação TRB, conforme apresentado no Quadro 2, os dois solos se enquadram no grupo A-4, ou seja, solos siltosos com material passante na peneira nº 200 maior que 35%, limite de liquidez menor que 40% e índice de plasticidade menor que 10%, cujo índice de grupo não ultrapassa 8. De acordo com esse sistema classificatório, essa denominação se aplica a solos siltosos não plásticos, ou moderadamente plásticos, incluindo também mistura de solo fino siltoso.

Segundo Nogami e Vilibor (1995), solos dos grupos LA' quando compactados adquirem elevada capacidade de suporte, elevado módulo de resiliência, baixa permeabilidade, pequena contração por perda de umidade, razoável coesão e pequena expansibilidade por imersão em água, propriedades essas que podem possibilitar o seu uso em bases e sub-bases de pavimentos.

Segundo Nogami e Vilibor (2003), solos do grupo LG' são mais resistentes à erosão hidráulica, quando compactados apropriadamente, são altamente permeáveis, apesar de serem granulometricamente argila, possuem, entretanto, menor capacidade de suporte, menor massa específica aparente seca maior umidade ótima para mesma energia de compactação e maior contração por perda de umidade.

3.6 Análise sobre as classificações do solo pelos métodos estudados

Cardoso (2010) e Dias (2014) ao realizarem um estudo nos solos da região de Goiânia e Aparecida de Goiânia, obtiveram a classificação de suas amostras como solos lateríticos argilosos (LG'). No estudo desenvolvido por Cardoso (2010), os valores de e' encontrados variaram entre 0,7 e 1,1, o que, por sua vez, corresponde com os valores encontrados neste estudo.

Ao comparar a classificação MCT com as classificações convencionais de solos, observa-se certa concordância. Os mesmos solos aqui classificados como LG' (S1) e LA' (S2) pela metodologia MCT receberam classificação de silte de baixa compressibilidade (ML), areia argilosa (SC) e A-4 pela classificação HRB.



Em relação ao A-4, apesar de ser para siltes plásticos ou moderadamente não plástico, apresenta comportamento típico de solos arenosos lateríticos (LA'). Segundo a classificação, este tipo de solo apresenta um comportamento excelente ao ser utilizado para proteção contra erosões. Ademais, é uma boa alternativa, ao solo arenoso laterítico (LA'), com a finalidade de revestimentos primários e uma alternativa viável para uso em subleito e reforço de subleito compactado, base de pavimentos e aterro compactado quando não há disponibilizados areias lateríticas (LA) e solos arenoso lateríticos (LA') (NOGAMI; VILLIBOR, 1995).

3.7 Dimensionamento de um pavimento hipotético de baixo custo

Visando exemplificar uma estrutura de pavimento na qual poderiam ser empregados os solos estudados nas camadas de base, realizou-se o estudo de dimensionamento de um pavimento para baixo volume de tráfego com base no procedimento proposto por Villibor et al. (2007), que é semelhante ao método de dimensionamento adotado pelo DNIT.

Para realizar o dimensionamento, optou-se por não se utilizar a camada de sub-base na estrutura do pavimento e adotar valores de CBR do subleito e do reforço, iguais a 5 e 10%, respectivamente.

Adotou-se um tráfego leve, utilizado para vias classificadas como ruas secundárias, com 10^5 solicitações do eixo padrão de 8,2 toneladas, para um período de projeto de 10 anos. Vale ressaltar que as características dos locais onde foram coletados os solos S1 e S2 são de vias locais, onde esse tráfego previsto seria suficiente para atender a demanda ao longo do período de projeto. Em função do tráfego adotado e das recomendações do método, estabelece-se como revestimento, uma camada de CBUQ com espessura de 3,5 cm (Tabela 5).

Utilizando o gráfico de dimensionamento adotado pelo procedimento e as inequações do método (Villibor et al., 2007), realizou-se a determinação das espessuras das camadas. Os coeficientes de equivalência estrutural adotados foram os seguintes: 2,0 para o revestimento asfáltico, 1,0 para a camada de base, a ser composta por um solo fino, e 0,88 para a camada de reforço do subleito.

A Tabela 5 e a Figura 7 destacam, respectivamente, os valores das espessuras das camadas e a seção transversal do pavimento hipotético dimensionado.

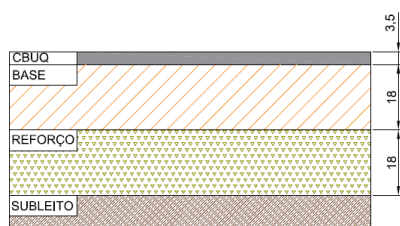


Figura 7 – Camadas estruturais do pavimento hipotético após dimensionamento (espessuras em cm).

Tabela 5 – Resumo sobre as espessuras das camadas do pavimento dimensionado.

Camadas	Espessura (cm)
Revestimento C.B.U.Q.	3,5
Base	18,0
Reforço do subleito (CBR = 10 %)	18,0
Total	39,5
subleito (CBR = 5 %)	

4 Conclusões

Os resultados das classificações geotécnicas pelas metodologias tradicionais em relação à metodologia MCT pelo método modificado, conforme Nogami e Vilibor (2003), foram classificados como silte arenoso – ML, solo siltoso - A-4 e argila arenosa – LG', pelas metodologias SUCS, HRB e MCT, respectivamente para o solo S1 e como areia argilosa – SC, solo siltoso - A-4 e areia argilosa – LA', pelas metodologias SUCS, HRB e MCT, respectivamente para o solo S2, comprovando a necessidade de se aplicar aos solos tropicais uma metodologia criada com base nas propriedades e comportamentos dos mesmos, como é o caso da classificação MCT.

Os dois solos estudados apresentaram baixos valores de expansão, conforme já esperado, por se tratarem de solos lateríticos. Esses valores foram iguais ou inferiores a 0,3%, atendendo as exigências estabelecidas por norma para execução de bases com solos lateríticos.

Os valores de umidade ótima (w_{ot}) para os corpos de prova ensaiados pelo método MCT foram menores, para os dois solos em ambas as energias de compactação, se comparados com os ensaios tradicionais. Para os valores de peso específico aparente seco máximo, isso ocorreu inversamente, sendo que valores menores foram obtidos para os ensaios tradicionais.



Os estudos realizados indicam que a metodologia MCT mostra-se viável e pode gerar economia na construção de pavimentos para tráfegos leves e até médios, em função do uso de materiais locais e redução das distâncias médias de transporte (DMT), para rodovia e pavimentos urbanos em diversas regiões brasileiras. Além disso, contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva, uma vez que diversifica o uso dos recursos naturais.

Os resultados obtidos no programa experimental da presente pesquisa, em termos de classificação e de capacidade de suporte, indicaram a viabilidade do uso dos dois solos estudados na execução de camadas de base e sub-bases de pavimentos de baixo custo com solos lateríticos finos para baixo e até mesmo, médio volume de tráfego.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6457: *Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 2016. 9p. Origem: MB-27.
- _____. ABNT NBR 6458: *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2016. 10p.
- _____. ABNT NBR 6459: *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 2016. 5p.
- _____. ABNT NBR 7180: *Solo — Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 2016. 3p.
- _____. ABNT NBR 7181: *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2018. 12p.
- _____. ABNT NBR 7182: *Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 2016. 9p.
- BARROS, C. O. A. *Revisão da correlação Mini-CBR/CBR para solos do município de São Carlos-SP*. 2003, 131 p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2003.
- CARDOSO, R. A. *Cadastro Geotécnico dos solos finos lateríticos para fins de pavimentação no município de Goiânia-GO*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2010. 185 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-CLA 259: *Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro, 1996. 06p.
- _____. DNER-ME 228: *Solos – compactação em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro, 1994. 15p.
- _____. DNER-ME 254: *Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-CBR e expansão*. Rio de Janeiro, RJ: DNER/IPR, 1997.
- _____. DNER-ME 256. *Solos compactados em equipamento miniatura-determinação da perda de massa por imersão*. Rio de Janeiro, RJ: DNER/IPR, 1994.
- _____. DNER-ME 258: *Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV*. Rio de Janeiro, 1994. 14p.
- DIAS, M. C. C. *Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2014. 111 p.
- NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo, SP: Ed. Villibor, 1995, 213p.
- NOGAMI, J.; VILLIBOR, D. Modificações recentes na classificação geotécnica MCT. In: *34º REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO*. Campinas, São Paulo, 2003.
- OLIVEIRA, J. C. de. *Indicadores de Potencialidades e Desempenho de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Pavimentos Flexíveis*, 2007, 167 p. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2007.
- PINTO, C. S. *Curso Básico de Mecânica dos solos em 16 aulas*. 1º Ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006. 247 p.
- SOUZA, R. S.. *Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia-MG*. 2007, 114 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, SP, 2007.
- VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S.; CINCERRE, J.R.; SERRA, P.R.M.; NETO, A. Z. *Pavimentos de baixo custo para vias urbanas*. São Paulo, SP: Arte & Ciência, 2007, 169 p.