



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

TRINCAS NA SUB-BASE EM UM SOLO DE COMPORTAMENTO LATERÍTICO – ESTUDO DE CASO

Caio Vinicius Lemos Melo dos Santos¹; Guilherme Bravo de Oliveira Almeida²; & Joelson Hora Costa³

RESUMO

Este trabalho avalia o comportamento laterítico de um solo empregado na sub-base do pavimento de uma rodovia. Os ensaios tradicionais - análise granulométrica, limites de liquidez, limites de plasticidade, compactação e índice de suporte Califórnia - do projeto de pavimentação, atestaram a utilização desse solo como sub-base do pavimento. Ocorre que, em campo, trincas de variadas formas - em blocos, longitudinais e transversais - e de variados calibres - de poucos milímetros a mais de 1,0 cm - foram notadas após poucas horas da compactação da camada, o que surpreendeu a equipe responsável pela obra, que deu início a uma investigação de suas possíveis causas. O fato é que o projeto não fez qualquer registro acerca de eventuais características lateríticas do solo da jazida Jabotiana. Ainda assim, ensaios foram realizados para a classificação do solo, segundo a metodologia MCT: compactação; perda de massa por imersão e mini-MCV, cujos parâmetros obtidos indicaram solo de comportamento laterítico, argiloso, classificado como LG'. Previa-se a utilização desse solo em duas subcamadas de sub-base, cada uma delas compactadas com espessura de 18 cm, totalizando 36 cm. Todavia seu comportamento inesperado, tendo em vista as características das trincas, levou os responsáveis pela obra a buscarem solo de outra procedência para a segunda parte da sub-base, com receio, sobretudo, de eventual reflexão dessas trincas para as camadas superiores (base e revestimento). O surgimento de trincas finas (de até 2,0 mm), por contração, em solos argilosos de comportamento laterítico tem registro em vários estudos e são observadas na prática. Um estudo referencial mostra a presença desse tipo de solo na região da área de estudo. Na execução em campo, as trincas foram tratadas como recomendado na bibliografia.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Tropical; MCT; Obra Rodoviária.

ABSTRACT

This research evaluates the lateritic behavior of a soil used as a sub-base for the highway. The traditional tests - granulometric analysis, liquidity limits, plasticity limits, compaction and California support index - of the paving project attested to the use of this soil as the pavement sub-base. However, in the field, cracks of various shapes - in blocks, longitudinal and transverse - and of various sizes - from a few millimeters to more than 1.0 cm - were noticed a few hours after the layer had been compacted, which surprised the team responsible for the work, who began to investigate the possible causes. The fact is that the project made no record of any lateritic characteristics of the soil from the Jabotiana deposit. Even so, tests were carried out to classify the soil according to the MCT methodology: compaction, loss of mass by immersion and mini-MCV, the parameters of which indicated a lateritic, clayey soil, classified as LG'. This soil was to be used in two sub-base layers, each compacted to a thickness of 18 cm, for a total of 36 cm. However, its unexpected behavior, due to the characteristics of the cracks, led those responsible for the work to look for soil from another source for the second part of the sub-base, fearing, above all, that the cracks might be reflected in the upper layers (base and coating). The appearance of fine cracks (up to 2.0 mm), due to contraction, in clayey soils with lateritic behavior has been recorded in several studies and are observed in practice. A reference study shows the presence of this type of soil in the region of the study area. In the field, the cracks were treated as recommended in the literature.

KEY WORDS: Tropical Soil; MCT; Roadwork.

¹ Graduando, Universidade Federal de Sergipe, caiulemosmelo@gmail.com

² Professor Adjunto, Universidade Federal de Sergipe, gboa@academico.ufs.br

³ Professor Adjunto da Universidade Federal de Sergipe e da Faculdade Pio Décimo, joelsonhcosta@gmail.com



INTRODUÇÃO

No Brasil, os projetos de pavimentação rodoviária vêm, por décadas, empregando o CBR (Califórnia Bearing Ratio) ou ISC (Índice de Suporte Califórnia) no dimensionamento de pavimentos flexíveis. É entendimento já pacificado que esse método de dimensionamento, desenvolvido por O. J. Porter, engenheiro do departamento de estradas da Califórnia, arrima-se no critério de resistência ao cisalhamento do subleito obtida pelo ensaio do CBR e, portanto, pode não ser metodologia adequada aos solos brasileiros, de ambiente de clima tropical úmido, que apresentam formação diferente daqueles de clima temperado.

Diante das dificuldades e deficiências no uso das classificações tradicionais, Nogami e Villibor desenvolveram uma metodologia designada MCT (Miniatura Compactado Tropical), específica para solos tropicais (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

De acordo com Villibor *et al.* (p. 20, 2009) existem duas grandes classes de solos em regiões tropicais úmidas, solos lateríticos e solos saprolíticos: solos lateríticos são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo, por processo denominado laterização. Afirmam os autores, que esses solos apresentam propriedades peculiares e de comportamento. Já os solos saprolíticos são aqueles que resultam da decomposição e ou desagregação *in situ* da rocha matriz pela ação das intempéries (chuva, insolação, geadas) e mantêm, de maneira nítida, a estrutura da rocha que lhe deu origem.

O método tradicional para seleção de um solo a ser utilizado na estrutura do pavimento apresenta limitações e deficiências, sobretudo para solos lateríticos, desde a classificação até os critérios de dosagem. Villibor e Nogami (2009) exemplificam casos de solos lateríticos e saprolíticos, classificados pelos métodos tradicionais da HRB-AASHTO, que se mostram adequados ao uso nas camadas do pavimento.

Quando se utiliza materiais de comportamento laterítico, a norma define valores mais amplos para o limite de liquidez (LL inferior ou igual a 40%) e índice de plasticidade (IP inferior ou igual a 15%). Ainda são resguardadas outras condicionantes para os solos lateríticos, destacando a não presença de argilominerais expansivos (DNIT-ES 098).

Este trabalho apresenta um estudo de caso em que avalia o comportamento de um solo identificado como laterítico, em uma obra rodoviária, tendo em vista a ocorrência de trincas severas, logo após a compactação da camada de sub-base. É fato comum a ocorrência de trincas finas em camadas compactadas com solos argilosos finos lateríticos, todavia a elevada intensidade e calibre das trincas observadas, no presente estudo, sobressaltaram os responsáveis pela obra.

Breve Abordagem da Classificação MCT

A metodologia MCT divide os solos em laterítico e saprolítico. De acordo com a norma DNIT-CLA 259 (adaptado de Villibor e Alves (2019)), os solos finos de comportamento laterítico, são designados pela letra L e podem ser areias com poucos finos (LA); areias argilosas e finos lateríticos (LA'); e argilas, argilas siltosas, argilas arenosas e siltes argilosos (LG'). Os solos saprolíticos, isto é, os de comportamento não lateríticos são designados pela letra N e podem ser areias e/ou siltes compostos por quartzo e/ou mica (NA); areias quartzosas com finos e mica na fração areia (NA'); siltes e siltes



arenosos (NS'); e argilas, argilas siltosas, argilas arenosas e siltes argilosos (NG'). A Figura 1 mostra graficamente a distribuição desses grupos de solo tendo por base os valores do coeficiente c' e o índice e' para a classificação MCT.

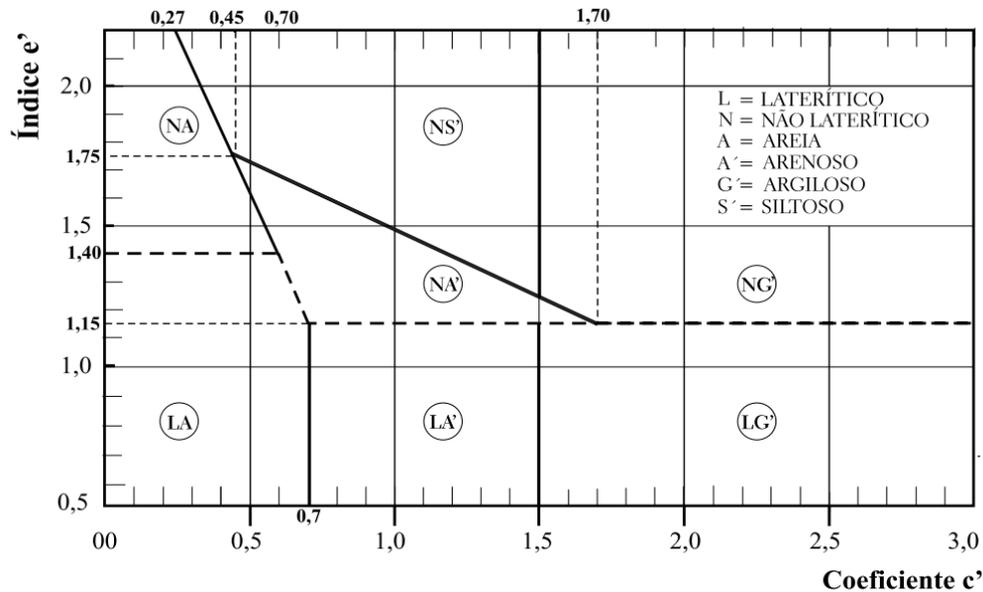


Figura 1. Gráfico da classificação de solos MCT. (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

O coeficiente de argilosidade (c') é o coeficiente angular da parte retilínea e mais inclinada da curva de deformabilidade com Mini-MCV 10. Correlaciona-se com a granulometria. Da Figura 1, observa-se que o coeficiente c' sendo maior que 1,5 indica um solo com características argilosas. Abaixo desse valor, caracteriza as areias e siltes.

Já o índice e' é calculado pela Equação 1. Esse índice indica o comportamento laterítico ou não laterítico, conforme seja menor ou maior que 1,15 respectivamente, como se observa da Figura 1 (quando $e = 1,40$, indica solos pobres em finos).

$$e' = [(Pi/100) + (20/d')]^{1/3} \quad (\text{Equação 1})$$

O Pi da Equação 1 indica a perda de massa por imersão que é representada por uma porcentagem de massa seca desprendida do corpo de prova imerso em água em relação à massa seca da amostra compactada. De acordo com Nogami e Villibor (1995), em solos saprolíticos, geralmente, os valores de Pi são superiores aos dos solos lateríticos. O coeficiente d' representa a inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes no ensaio Mini-MCV. Segundo Nogami e Villibor (1995), d' acima de 20 indica as argilas lateríticas, apresentando menores valores para as não lateríticas e areias puras. Nas areias finas argilosas o d' é muito elevado. Em geral os solos saprolíticos apresentam d' muito pequeno.



Caracterização do Estudo de Caso

A área do estudo compreende uma obra rodoviária, em execução, no município de São Cristóvão/Sergipe, que interligará a Rodovia SE-065, também conhecida como Rodovia João Bebe Água, à Rodovia BR-101. A implementação desta nova rodovia tem como objetivo principal facilitar o acesso da região conhecida como “Grande Rosa Elze”, em São Cristóvão ao Distrito Industrial do Município, localizado às margens da Rodovia BR-101. O Estudo foi realizado com o objetivo de diagnosticar o comportamento de um solo utilizado como sub-base do pavimento, tendo em vista o surgimento de trincas intensas e de variados tipos, em curto período após ser compactado, embora tenha o solo, apresentado características adequadas para o referido uso, atendendo aos parâmetros exigidos nos ensaios tradicionais.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O solo da jazida Jabotiana, localizada no Município de São Cristóvão, foi o material definido, em projeto, para utilização como camada de sub-base do pavimento da rodovia, na espessura de 36 cm, a ser executada em duas “subcamadas” de 18 cm cada.

A Figura 2 mostra uma vista parcial da jazida, onde ocorreu a extração do solo, e uma imagem aérea (Google Maps) onde está localizada a jazida (ponto vermelho na Figura).

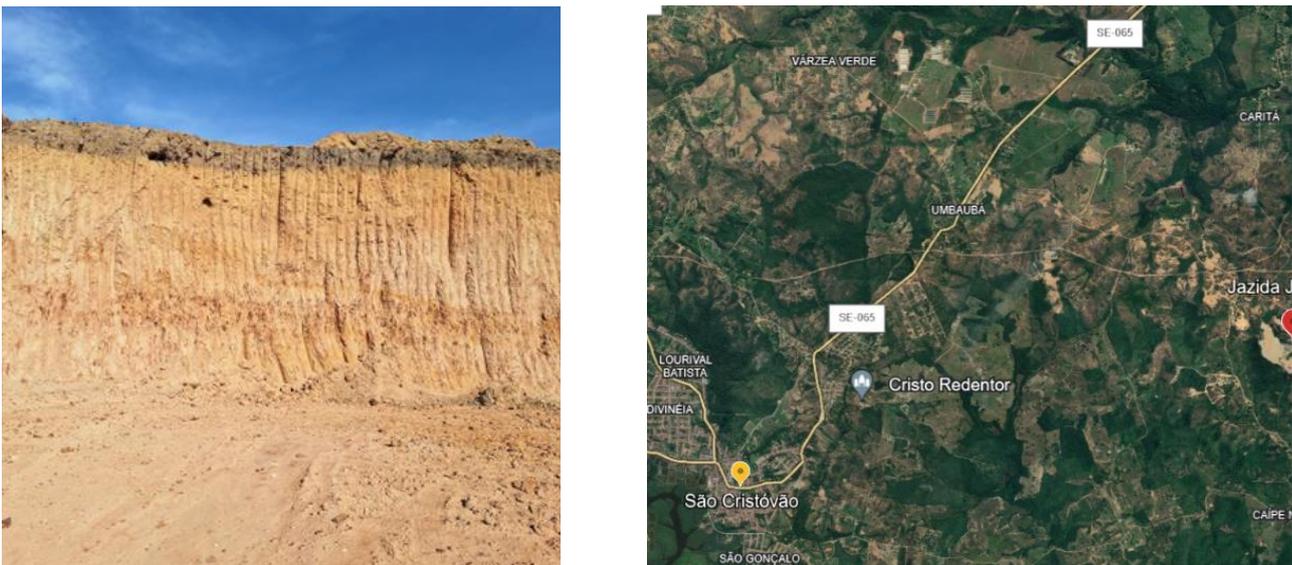


Figura 2. Vista parcial e localização da jazida (AUTOR, 2024).

Foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica, seguindo-se os procedimentos tradicionais, em 02 (dois) laboratórios distintos. Nas preparações das amostras foi observada a norma DNER-ME 041. Para os ensaios de análises granulométricas seguiu-se a norma DNER-ME 080. Já para os limites de consistência foram observadas as normas DNER-ME 082, para os limites de plasticidade (LP), e a norma DNER-ME 122, para os limites de liquidez (LL). Para os ensaios de



compactação seguiu-se a norma DNER-ME 162 com energia intermediária e a norma DNER-ME 172 para definição do ISC. Vale registrar que todos esses ensaios foram repetidos por laboratoristas e equipamentos distintos.

Para a classificação do solo, segundo a metodologia MCT, as normas seguidas foram DNIT 258/2023 e DNIT 259/2023,

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma avaliação tátil-visual, o solo se apresenta como uma mistura de areia em uma fração menor de silte e/ou argila, e pedregulho. Porém, este último com participação muito pequena. Os resultados de ensaios realizados em ambos os laboratórios são muito similares de forma que são apresentados os resultados de um deles.

A Figura 3 mostra uma das curvas granulométricas obtida. Segundo a escala granulométrica da AASHTO o solo em análise possui 2,14% de pedregulho, 78,71% de areia e 19,15% de silte e argila. Os limites de Atterberg indicaram LL de 23% e LP de 19%, com índice de plasticidade (IP) de 4%. De acordo com o método de classificação tradicional HRB-AASHTO, este solo pertence ao grupo A-2-4 (0), ou seja, é um solo que se apresenta como areia siltosa e qualidade geral como subleito de excelente a boa.

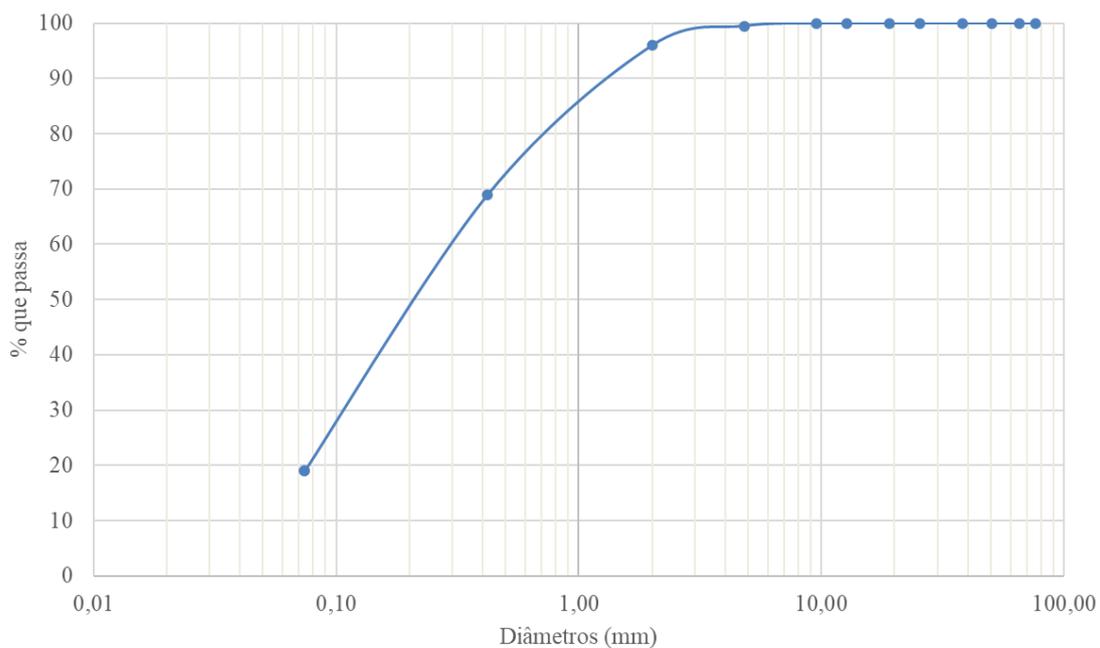


Figura 3. Curva granulométrica do solo (AUTOR, 2024).

A Figura 4 mostra a curva de compactação para a energia do Proctor intermediário. Os parâmetros obtidos foram $1,935 \text{ g/cm}^3$ para a massa específica aparente seca máxima e 9,3% para a umidade ótima. O ensaio de ISC resultou em 28% com 0,27% de expansão.

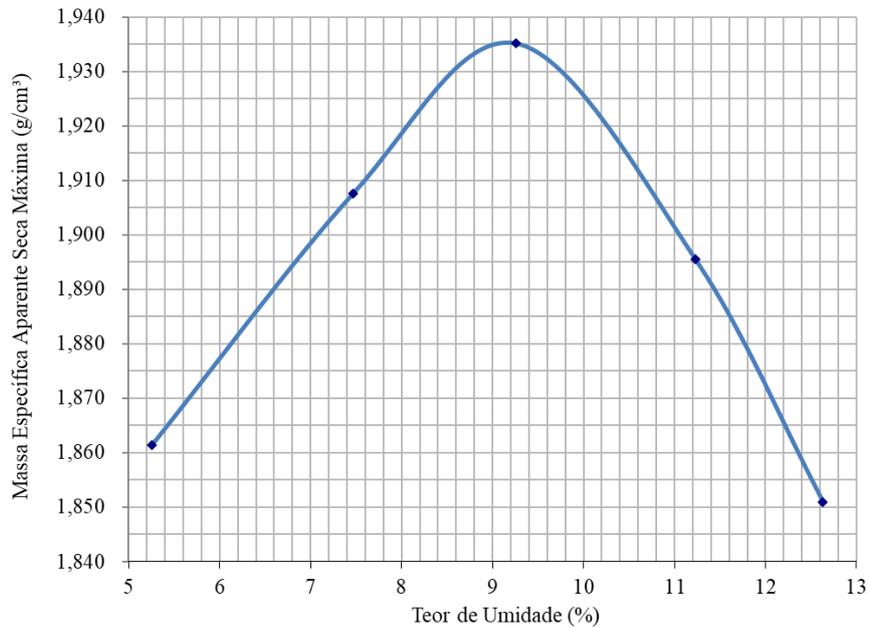


Figura 4. Curva de compactação do solo (AUTOR, 2024).

A seguir são apresentadas as curvas obtidas a partir dos ensaios da metodologia MCT para o solo em estudo. A Figura 5 mostra as curvas para determinação do coeficiente d' e a Figura 6 para o coeficiente c' .

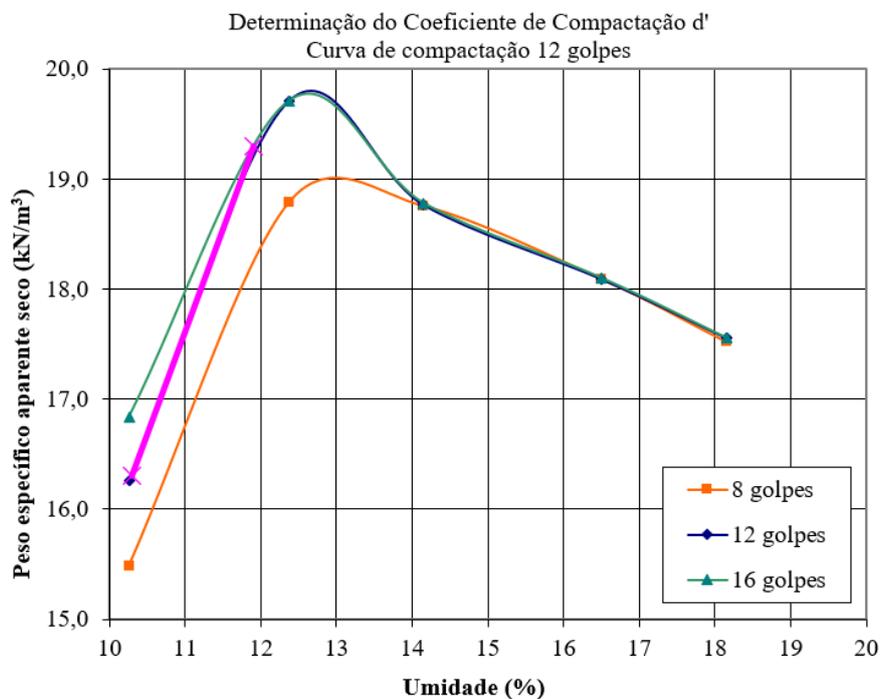


Figura 5. Determinação do coeficiente d' (AUTOR, 2024).

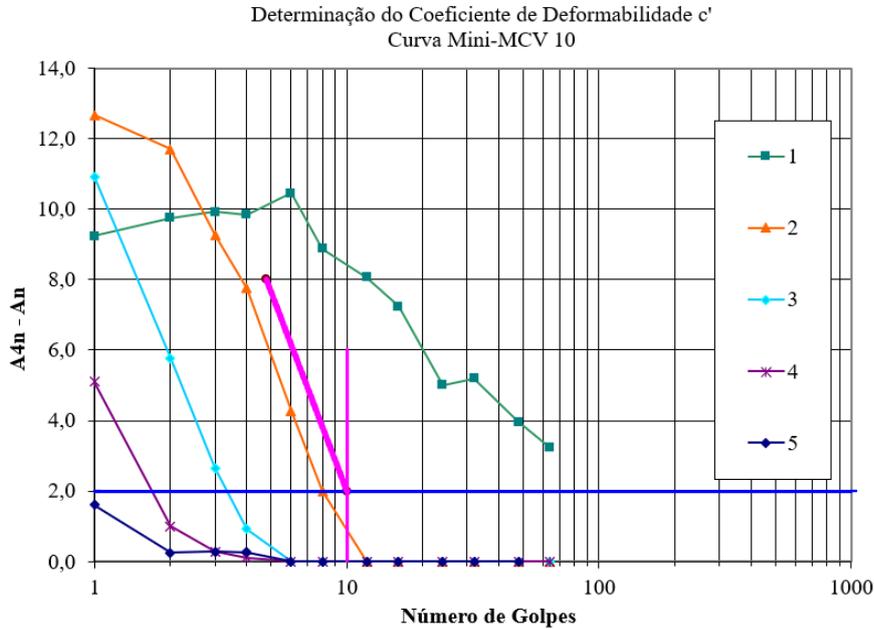


Figura 6. Determinação do coeficiente de deformabilidade c' (AUTOR, 2024).

A Tabela 1 mostra os valores dos parâmetros da metodologia MCT. A partir dos resultados de P_i e d' , calcula-se pela Equação 1 o valor do índice e' .

Tabela 1. Resultados dos ensaios da metodologia MCT (Autor, 2024).

Parâmetro	valor
coeficiente c'	1,88
d'	187,5
P_i	81
e'	0,97

Assim, inserindo-se no gráfico de classificação da MCT o coeficiente c' e o índice e' denotam que o solo da jazida Jabotiana, considerando a amostra coletada, é um solo argiloso de comportamento laterítico LG'. A Figura 7 mostra o ponto em vermelho que indica tal classificação.

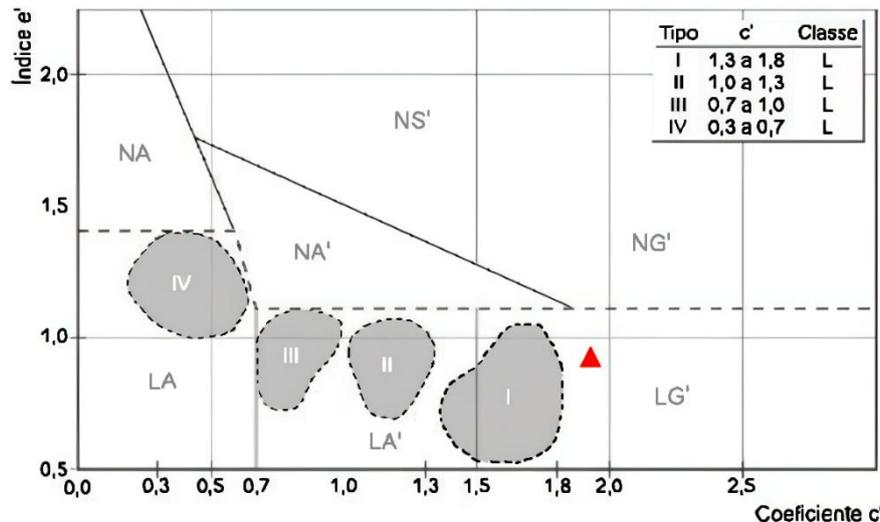


Figura 7. Gráfico de classificação do solo laterítico (Adaptado de VILLIBOR ET AL., 2009).

De acordo com Villibor e Alves (2019) incluem-se no grupo LG', as argilas, as argilas arenosas e/ou siltosas e os siltes argilosos. Ainda, Villibor et al. (2009) acrescentam que solos LG' são argilas e argilas arenosas de baixa expansão, plasticidade média a alta, dentre outras propriedades.

Tratando-se da granulometria, é possível observar, pela curva da Figura 3, uma elevada participação da fração areia com uma menor fração fina passante na peneira 200 (0,075 mm), o que indica um solo do tipo areia argilosa ou areia siltosa.

No ensaio de expansão, realizado junto ao ISC, o solo apresentou valor menor que 0,5% e para a plasticidade, o IP acusou um resultado de 4%, indicando baixa plasticidade, esses resultados ressaltam as características de baixa plasticidade do solo em contraponto ao que afirmam os autores citados que caracterizam os solos classificados como LG' como de média a alta plasticidade.

Reforça o resultado da classificação MCT, obtida neste estudo, o trabalho de Costa (2006). Nos estudos desse autor, abrangendo 12 amostras de solo laterítico e 4 amostras de solo não laterítico, todas coletadas na região costeira do estado de Sergipe, foi registrada ocorrência de solo de comportamento laterítico da jazida Jabotiana, que também foi classificada como LG'.

De acordo com a norma DNIT-ES 139, os materiais de sub-base devem apresentar ISC maior ou igual a 20%, expansão menor ou igual a 1%, além do Índice de Grupo zero (IG = 0). Registra, entretanto, a referida norma que, tratando-se de solos de comportamento laterítico, pode-se ter IG diferentes de zero, desde que a expansibilidade apresente um valor inferior a 10%. Portanto, de acordo com essas referências, o solo em estudo atende as condições específicas para utilização como material de sub-base.

Verificação das Operações em Campo

Afirmam Nogami e Villibor (1995) que a presença de óxidos garante uma tonalidade avermelhada, rósea, arroxeadada ou amarelada aos solos lateríticos. No caso da amostra da jazida Jabotiana, do presente estudo, a coloração amarelada se destaca o que pode ser indicativo da presença de óxido de alumínio.



Em campo, trincas de variadas formas - em blocos, longitudinais e transversais – e de variados calibres – de poucos milímetros a mais de 1,0 cm - foram notadas após poucas horas da conclusão da compactação, o que levou a equipe da supervisora da obra a iniciar investigação de suas possíveis causas.

O fato é que o projeto de pavimentação não fez qualquer registro acerca de possíveis características lateríticas do solo da jazida Jabotiana. Ainda assim, foram providenciados os ensaios para classificação MCT, que indicou solo de comportamento laterítico do grupo LG’.

A Figura 8 mostra a camada de sub-base compactada com o solo LG’ da jazida Jabotiana. É visível a presença de trincas variadas e de fino a grosso calibre



Figura 8. Formação de trincas em um solo LG’ (AUTOR, 2024).

A ocorrência de trincas em camadas de solo de comportamento laterítico já foi observada em Delgado; Silva e Guimarães (2016), que citam ainda que esse tipo de material possui baixa permeabilidade e alta resistência mecânica, e pode ser explicado por Nogami e Villibor (p.35, 2009) quando estes autores descrevem as deficiências na previsão de problemas construtivos, entre elas, “o trincamento excessivo da base, por contração provocada pela perda de umidade, refletindo, em alguns casos, na camada de revestimento, com conseqüente redução da vida útil do pavimento e da sua serventia”. Ainda segundo os autores, “o desenvolvimento de trincas em bases de solo arenoso fino laterítico é uma constante e ocorre desde a fase de construção” (NOGAMI; VILLIBOR, p.27, 2009). Vale aqui registrar a presença de quatro áreas destacadas (hachuradas) no gráfico utilizado para a classificação MCT (vide Figura 7) em que Villibor *et al.* (2009) detalham as técnicas construtivas de uma série de solos pertencentes a essas quatro áreas apresentadas. O solo em estudo posiciona-se nas proximidades da área I e, para os solos posicionados nessa área, o processo construtivo recomenda, entre outros, “deixar a base perder umidade, por secagem, num período de 48 a 60 horas ou até a ocorrência de trincas com largura de 2 mm” (VILLIBOR *et al.*, p.59, 2009). A contração nesse tipo de solo é de média a elevada, com formação de placas da ordem de 30 x 30 cm.



Esses autores citam casos de obras que apresentaram comportamento similar ao aqui exposto. Entre as técnicas para “tratamento” das trincas, procedeu-se o seu preenchimento com areia e argila. Outra forma é a mistura de solo argiloso e brita. Uma terceira opção, segundo ainda descrevem os autores, é a saturação superficial da camada de solo argiloso e cravamento de agregado britado (cuidados devem ser tomados com a secagem da superfície).

Importa destacar que, no caso presente, o avanço das trincas foi interrompido com a secagem do solo – “cimentação” - mantendo-se a partir daí em um mesmo patamar.

Quanto ao procedimento utilizado para tratamento das trincas, este se deu mediante o umedecimento da camada compactada e posterior raspagem com a lâmina da motoniveladora arrastando-se o solo superficialmente para fins de fechamento das trincas.

A Figura 9 mostra a camada com a presença de uma trinca longitudinal em destaque. É possível visualizar as marcas que as patas do rolo compactador pé de carneiro deixa na camada argilosa. Uma característica dos solos limitados pela área I, da Figura 7, é a excelente capacidade de ser compactado, alcançando elevados graus de compactação para a energia intermediária. Os graus de compactação obtidos em campo resultaram sempre em valores superiores a 100%.



Figura 9. Trincas apresentadas na camada de um solo LG' entre as estacas 78 e 108. (AUTOR, 2024).

Importa registrar que as ocorrências de solos aptos para utilização como sub-base de pavimentos asfálticos encontram-se, na região do projeto, praticamente esgotadas ou, de outro modo, as jazidas não apresentam licenciamento para exploração.

Dessa forma, na segunda subcamada da sub-base foram empregados solos remanescentes de outras jazidas - pedregulhos areno argilosos, não lateríticos;

Outra medida preventiva contra a reflexão das trincas se deu com a utilização de “brita corrida” para execução da camada de base do pavimento;

CONSIDERAÇÕES FINAIS



Arrimado nas recomendações da metodologia tradicional, tem-se que os resultados de ISC, IG e expansão recomendaram a utilização do solo da jazida Jabotiana, na sub-base do pavimento; Não obstante o projeto de pavimentação deixar de apresentar qualquer menção acerca de eventual comportamento laterítico desse solo, foi o surgimento de trincas logo após a compactação da camada, o que levou os responsáveis pela obra a utilizarem os ensaios da metodologia MCT com o fito de investigar essa propriedade, o que ficou confirmado com o enquadramento do solo no grupo das argilas lateríticas LG’.

Mesmo cientes de que a ocorrência de trincas por contração advém da natureza desses solos - como já registrado por vários pesquisadores – o material se mostrou muito reativo e foram, de fato, as elevadas, frequência e amplitude, das trincas que levou a supervisora das obras a suspender a execução da segunda subcamada de sub-base com o solo da jazida Jabotiana (seriam 36 cm de sub-base, executados em duas subcamadas de 18 cm cada), além de realizar o “tratamento” das trincas, como recomendado na bibliografia.

Outra medida preventiva contra a reflexão das trincas se deu com a utilização de “brita corrida” na execução da camada de base do pavimento.

Assim, os cuidados devidos, em campo, foram tomados e espera-se que as providencias adicionais adotadas sejam suficientes para se evitar a reflexão das trincas para as camadas superiores (base e revestimento). Pretende-se prosseguir com as avaliações e inspeções de comportamento desse trecho da rodovia bem como na discussão acerca de experiências de utilização de solos de comportamento similar, em outras rodovias.

Agradecimento

Os autores deste trabalho agradecem à Intervia – Consultoria e Projetos Ltda e ao Laboratório de Geotecnia e Pavimentação da Universidade Federal de Sergipe.

REFERÊNCIAS

- CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial. Brasília: CNT, 2017.
- COSTA, J. H. Caracterização geotécnica dos solos finos da faixa litorânea e tabuleiros costeiros do Estado de Sergipe, visando aplicação em pavimentos de rodovias de baixo volume de tráfego. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.
- DELGADO, B. G.; SILVA, J. C. F.; GUIMARÃES, A. C. R. Estudos geotécnicos para projeto de via férrea sobre subleito de solo laterítico na região norte do Brasil. 15° Congresso Nacional de Geotecnia, Porto, Portugal, 2016.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 041: solo: preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 080: solos: análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 082: solos: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 093: solos: determinação da densidade real. Rio de Janeiro: DNER, 1994.



DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 122: solos: determinação do limite de liquidez: método de referência e método expedito. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 162: solos: ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 258/2023 – ME: Solos – Compactação em equipamento miniatura – Ensaios Mini-MCV e perda de massa por imersão – Método de ensaio. Brasília: DNIT, 2023.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 259/2023 – CLA: Solos – Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura – Classificação. Brasília: DNIT, 2023.

GOOGLE. Imagem por satélite da Jazida Jabotiana no município de São Cristóvão, 2022. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/S%c3%a3o+Crist%c3%b3v%c3%a3o,+SE/@-11.01949071,-37.18815915,45.66934526a,8146.08065613d,35y,360h,0t,0r/data=CigiJgokCRIGSCd8ziXAETMFJw2KHybAGV5nhd uNfkLAie7BOjxsp0LAOgMKATA>. Acesso em 02 de maio de 2024.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D. F. Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo: Vilibor, 1995. 240 p.

VILLIBOR, D. F.; ALVES, D. M. L. Pavimentação de baixo custo em regiões tropicais. Florianópolis: Tribo da Ilha, 2019. Disponível em: https://issuu.com/alancgermano/docs/ebook_pavimentacao_de_baixo_custo. Acesso em 29 abril de 2024.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

VILLIBOR, D. F. et al. Pavimentos de baixo custo para vias urbanas. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.