



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

UTILIZAÇÃO DO ENSAIO DE ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO E DA CLASSIFICAÇÃO MCT PARA CARACTERIZAR AS LATERITAS UTILIZADAS EM BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE

Felicio G. de Oliveira¹; Eleonardo L. Pereira²; Geraldo L. de Oliveira Marques³; Whilison M. Mendonça²; Tayane A. Fernandes¹; Gabriela J. de Oliveira¹ & Altamir A. Costa¹

RESUMO

O presente trabalho apresenta a avaliação de uma metodologia alternativa para determinação do comportamento laterítico ou não laterítico dos solos tropicais de graduação graúda e para avaliação do grau de nocividade da fração argila destes solos. Inicialmente, três amostras foram analisadas de acordo com os critérios normativos. Em seguida foi utilizada uma metodologia alternativa, baseada no ensaio de adsorção de azul de metileno, para avaliar o grau de nocividade da fração argila, e na classificação MCT, para determinar o caráter laterítico ou não laterítico da fração do solo que passa na peneira nº 10 (2,0 mm). Os resultados mostraram que o ensaio de equivalente de areia não é apropriado para avaliar o grau de nocividade da fração argila dos solos tropicais estudados e que o ensaio de adsorção de azul de metileno é mais adequado para esse fim. A classificação MCT se mostrou eficiente na determinação do caráter laterítico ou não da fração fina dos solos tropicais de graduação graúda. As amostras com comportamento laterítico apresentaram bom desempenho mecânico avaliado por meio do ensaio de ISC, enquanto a amostra com comportamento não laterítico exibiu um baixo desempenho mecânico.

PALAVRAS-CHAVE: Laterita; Adsorção de Azul de Metileno; Classificação MCT; Solo Tropical.

ABSTRACT

The present work presents the evaluation of an alternative methodology for determining the lateritic or non-lateritic behavior of tropical soils of coarse gradation and for evaluating the degree of harmfulness of the clay fraction of these soils. Initially, three samples were analyzed according to normative criteria. An alternative methodology was then used, based on the methylene blue adsorption test, to evaluate the degree of harmfulness of the clay fraction, and on the MCT classification, to determine the lateritic or non-lateritic character of the soil fraction that passed through sieve no. 10 (2.0mm). The results showed that the sand equivalent test is not appropriate to evaluate the degree of harmfulness of the clay fraction in the tropical soils studied and that the methylene blue adsorption test is more suitable for this purpose. The MCT classification proved to be efficient in determining the lateritic character or not of the fine fraction of tropical soils with a coarse gradation. The samples with lateritic behavior showed good mechanical performance evaluated through the ISC test, while the sample with non-lateritic behavior exhibited low mechanical performance.

KEY WORDS: Laterite; Methylene Blue Adsorption; MCT Classification; Tropical Soil.

¹ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, Superintendência Regional de Minas Gerais, felicio.geraldo@dnit.gov.br; tayane.fernandes@dnit.gov.br; gabriela.oliveira@dnit.gov.br; altamir.costa@dnit.gov.br

² Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Departamento de Engenharia Urbana, Escola de Minas, eleonardo@ufop.edu.br; whilison@ufop.edu.br

³ Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Departamento de Transportes e Geotecnia, geraldo.marques@ufjf.br



INTRODUÇÃO

A norma brasileira DNIT 098 (DNIT, 2007) prescreve que os solos lateríticos de graduação graúda utilizados em base de pavimento apresentem a fração que passa na peneira N° 40 (0,42 mm) com $LL < 40\%$ e $IP < 15\%$ e o equivalente de areia da fração que passa na peneira N° 4 (4,76 mm) $\geq 30\%$. Segundo esta norma, solos lateríticos de graduação graúda são aqueles cuja relação sílica-sesquióxido (Kr) é menor que 2% e que apresentam expansão medida no ensaio de ISC inferior a 0,2%, sendo a argilosidade ou nocividade da fração argila avaliada por meio do ensaio de equivalente de areia. A primeira crítica que deve ser feita à esta norma se refere à utilização do ensaio de equivalente de areia em vez de técnicas mais apropriados aos solos tropicais brasileiros, podendo citar como exemplo o ensaio de adsorção de azul de metileno. Outra crítica é sobre a utilização da relação sílica-sesquióxidos para definição do caráter laterítico ou não laterítico em detrimento da classificação MCT, que é mais apropriada para a classificação dos solos tropicais (OLIVEIRA, 2023).

Segundo Serra (1987), a utilização do ensaio de equivalente de areia para avaliar a existência de quantidades indesejáveis de silte e argila, pode muitas vezes levar ao abandono de materiais de bom comportamento em base de pavimentos. Esse autor apresentou o resultado do ensaio de equivalente de areia para quatorze amostras de SAFL (solo arenoso fino laterítico), utilizados em rodovias do interior de São Paulo, que apresentaram valores entre 2% e 28%, com média aritmética de 11,1%. Apesar dos baixos valores apresentados de Equivalente de Areia ($< 30\%$), os solos apresentaram bom desempenho ao serem utilizados em bases de pavimentos.

Tradicionalmente a atividade da fração argilosa do solo é calculada de acordo com a proposta de Skempton (1953), pelo índice de atividade do solo, definido como a relação entre o índice de plasticidade e a porcentagem de argila. No entanto, segundo Fabbri (1994), apesar do coeficiente de atividade proposto por Skempton ser determinado para a fração argila, ele incorpora também os defeitos decorrentes da utilização dos limites de Atterberg, que normalmente são inadequados para caracterização dos solos tropicais e apresentam baixa reprodutibilidade. Além disto, esses limites são determinados com a fração que passa na peneira N° 40 (0,42 mm), que normalmente apresenta muito material inerte e não refletem necessariamente a atividade do material fino presente no solo.

Fabbri (1994) propôs que o coeficiente de atividade da fração granulométrica de um solo seja determinado através do ensaio de adsorção de azul de metileno, em função do volume de azul de metileno adsorvido pelo solo e da porcentagem que o solo contém desta fração.

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar uma metodologia alternativa à metodologia prescrita pela norma DNIT 098 (DNIT, 2007) para determinar o comportamento laterítico ou não laterítico dos solos lateríticos de graduação graúda e para avaliar o grau de nocividade da fração argila destes solos, que não seja fundamentada na determinação da relação molecular sílica-sesquióxidos (Kr) e nos resultados de ensaio de equivalente de areia.

A partir do objetivo geral descrito acima, foram traçados os seguintes objetivos específicos: Avaliar a utilização do ensaio de adsorção de metileno para a definição do grau de atividade da fração argila dos solos lateríticos de graduação graúda; avaliar a utilização da Classificação MCT para a determinação do caráter laterítico ou não laterítico da fração fina que passa na peneira N° 10 (2,0 mm) dos solos lateríticos de graduação graúda.



REFERENCIAL TEÓRICO

Adsorção de Azul de Metileno

Segundo Casanova (1986), Fabbri e Sória (1991), Pejon (1992), Fabbri (1994) e Bonini (2005), o ensaio de adsorção de azul de metileno é uma alternativa rápida e eficiente para a caracterização e classificação dos solos tropicais brasileiros.

O ensaio de azul de metileno pelo método da mancha consiste na titulação de uma suspensão de solo + água com uma solução de azul de metileno (corante) padronizada em meio intensamente agitado. Após adição de uma quantidade inicial conhecida de corante na solução solo + água, retira-se uma gota da solução solo + água + corante, que é pingada em um papel filtro padronizado. Se a figura formada pela difusão da gota no papel apresentar uma aura azulada ao redor do núcleo, significa que há excesso de corante e que ocorreu o ponto de viragem, caso contrário adiciona-se outra quantidade de corante e repete-se o teste da mancha até atingir o ponto de viragem. A partir da quantidade adicionada de corante pode-se calcular a superfície específica (SE) e, consequentemente a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo analisado (FABBRI, 1994). A Figura 1 mostra detalhes do ensaio de azul de metileno pelo método da mancha.

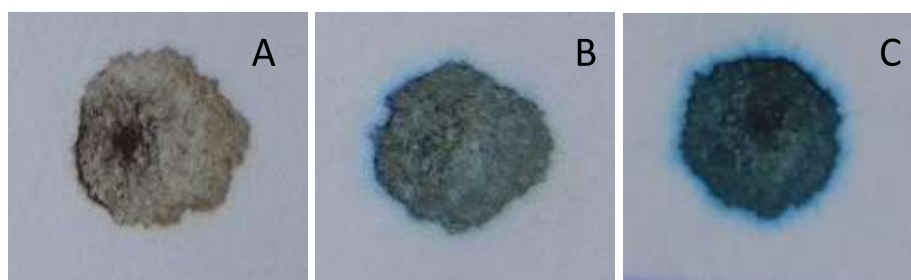


Figura 1. Detalhes do ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha: a) Início do ensaio; B) Início da formação da mancha azulada no papel filtro; C) Final do ensaio, após o surgimento da mancha azul no ponto de viragem (OLIVEIRA *et al.*, 2023)

De acordo com Fabbri (1994), o Valor de Azul (V_a) e o Coeficiente de Atividade (CA) devem ser calculados por meio das Equações 1 e 2, respectivamente. Na Equação 1, V_a corresponde ao volume total em mililitros de Azul de Metileno consumido por 1 g de amostra de solo integral, enquanto V é o volume total de Azul de Metileno adicionado à suspensão durante o ensaio em mililitros. P_{200} é a porcentagem do solo que passa na peneira N° 200 (0,075 mm) e w é o teor de umidade do solo imediatamente antes do início do ensaio. Na Equação 2, o coeficiente de atividade (CA) é calculado em função da porcentagem da fração do solo, em peso, que se deseja avaliar a atividade (P_F) e do Valor de Azul (V_a).

$$V_a = V \times \frac{P_{200}}{100} \times \left(1 + \frac{w}{100}\right) \quad (1)$$

$$CA = 100 \times \frac{V_a}{P_F} \quad (2)$$

De acordo com Fabbri (1994), existem três graus de atividade para os grupos de argilominerais em função de seus coeficientes de atividade (CA): a) muito ativos ($CA > 80$), que abrangem os



argilominerais dos grupos das montmorillonitas e vermiculitas; b) ativos ($11 < CA < 80$), que abrangem os argilominerais dos grupos das caulinitas e/ou ilitas, e; c) pouco ativos ($CA < 11$), que abrangem os materiais inertes e os argilominerais laterizados. A partir desses valores, esse autor propôs um ábaco do tipo porcentagem de argila *versus* volume de azul (Va) que permite enquadrar o solo estudado em um dos três graus de atividade propostos.

Classificação MCT

De acordo com Nogami e Villibor (1995), o excelente desempenho apresentado por diversas pistas experimentais executadas com base de solos arenosos finos lateríticos, construídas pelo DER-SP na década de 60, comprovou as limitações dos critérios tradicionais de caracterização e classificação de solos para a seleção de materiais de base de pavimento, em regiões tropicais. Mesmo não atendendo aos critérios tradicionais, elas apresentavam um bom desempenho quanto à resistência e à durabilidade. Segundo estes autores, isto mostrou a necessidade de se desenvolver critérios de classificação mais apropriados, não relacionados demasiadamente às propriedades índices tradicionais, porém mais ligados às propriedades mecânicas e hidráulicas dos solos compactados.

No início da década de 80, os engenheiros Douglas Fadul Villibor e Job Shuji Nogami desenvolveram uma nova sistemática que passou a ser denominada tecnologia MCT (M - miniatura; C - compactado; T - tropical) e inclui também uma nova classificação de solos tropicais, denominada classificação MCT. Esta classificação é obtida a partir da execução dos ensaios de compactação Mini-MCV e Perda de Massa por Imersão, e divide os solos em dois grupos: Lateríticos (L) ou Não lateríticos (N), com as seguintes subdivisões entre eles: areia (A), arenoso (A'), silteoso (S') e argiloso (G').

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram coletadas na região do Triângulo Mineiro, nos locais indicados na Tabela 1, e transportados para os laboratórios do Núcleo de Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto (NUGEO/UFOP).

Tabela 1. Localização das jazidas

Jazida	Material	Cidade	Coordenadas
ROM1	Laterita	Romaria/MG	18°54'55.4"S 47°36'08.6"W
CRM2	Laterita	Coromandel/MG	18°31'03.5"S 47°13' 03.7"W
ABAD	Solo de graduação gráuda com seixos	Abadia dos Dourados /MG	18°19'15.8"S 47°30'48.0"W

Todas as amostras foram secas ao ar e em seguida separadas em três frações por meio de um agitador mecânico, da seguinte forma: a) material retido na peneira $\frac{3}{4}$ "; b) material que passa na peneira de $\frac{3}{4}$ " e fica retido na peneira nº 4 (4,76 mm) e; c) material que passa na peneira nº 4 (4,76 mm). Cada uma dessas frações foi pesada separadamente e a proporção entre elas foi mantida para a montagem de todas as amostras utilizadas para a execução dos ensaios.



Após a preparação das amostras, elas foram submetidas aos seguintes ensaios exigidos pela norma DNIT 098 (DNIT, 2007): análise granulométrica – NBR 7181 (ABNT, 2016c), limite de liquidez – NBR 6459 (ABNT, 2016a), limite de plasticidade – NBR 7180 (ABNT, 2016b), e equivalente de areia – DNER-ME 054 (DNER, 1997). A relação sílica-sesquióxidos (Kr), para as amostras ROM1 e CRM2, foi determinada de acordo a norma DNER-ME 30 (DNER, 1994), nos laboratórios de Traços Metálicos e de Via Úmida Inorgânica do SENAI/FIEMG-MG, e para a amostra ABAD, foi realizada de acordo com o método de ataque sulfúrico (TEIXEIRA *et al.*, 2017), no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Para avaliação do desempenho mecânico dos materiais, foram realizados os ensaios de compactação com a energia do Proctor Modificado, segundo a norma NBR 7182 (ABNT, 2016d) e Índice de Suporte Califórnia (ISC) e expansão, norma NBR 9895 (ABNT, 2016e).

Após a caracterização das amostras, foi possível observar que todas elas apresentaram baixos valores de equivalente de areia, o que motivou a utilização de uma metodologia alternativa para avaliação do grau de nocividade da fração argila através do ensaio de Adsorção de Azul de Metileno, norma NBR 14949 (ABNT, 2017), utilizando as amostras secas ao ar conforme foi sugerido por Fabbri (1994).

Para permitir a classificação MCT, foram executados os ensaios de compactação Mini-MCV e perda de massa por imersão, DNIT-ME 258 (DNIT, 2023a). A classificação foi realizada de acordo com a norma DNIT-CLA 259 (DNIT, 2023b).

O teor de matéria orgânica foi determinado no Departamento de Ciência do Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de acordo com os procedimentos do Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (TEIXEIRA, *et al.*, 2017), e o ensaio de expansibilidade foi realizado de acordo com os procedimentos da norma DNIT-ME 160 (DNIT, 2012), no laboratório de Pavimentos do NUGEO/UFOP.

RESULTADOS E ANÁLISES

Análise Granulométrica

Conforme pode ser visualizado na Figura 2, que apresenta as curvas granulométricas das três amostras estudadas, todas as amostras se enquadraram na Faixa A da norma DNIT 098 (DNIT, 2007), no entanto a porcentagem passante na peneira N° 200 (0,075 mm) foi maior que 2/3 do material passante na peneira N° 40 (0,42 mm), o que não é permitido por essa norma, e, portanto, necessitam de ajustes na distribuição granulometria para serem utilizadas em base de pavimento.

Os valores de massa específica dos grãos foram de 2,468 g/cm³ na amostra ABAD, 2,745 g/cm³ na amostra CRM2 e 2,807 g/cm³ na amostra ROM1.

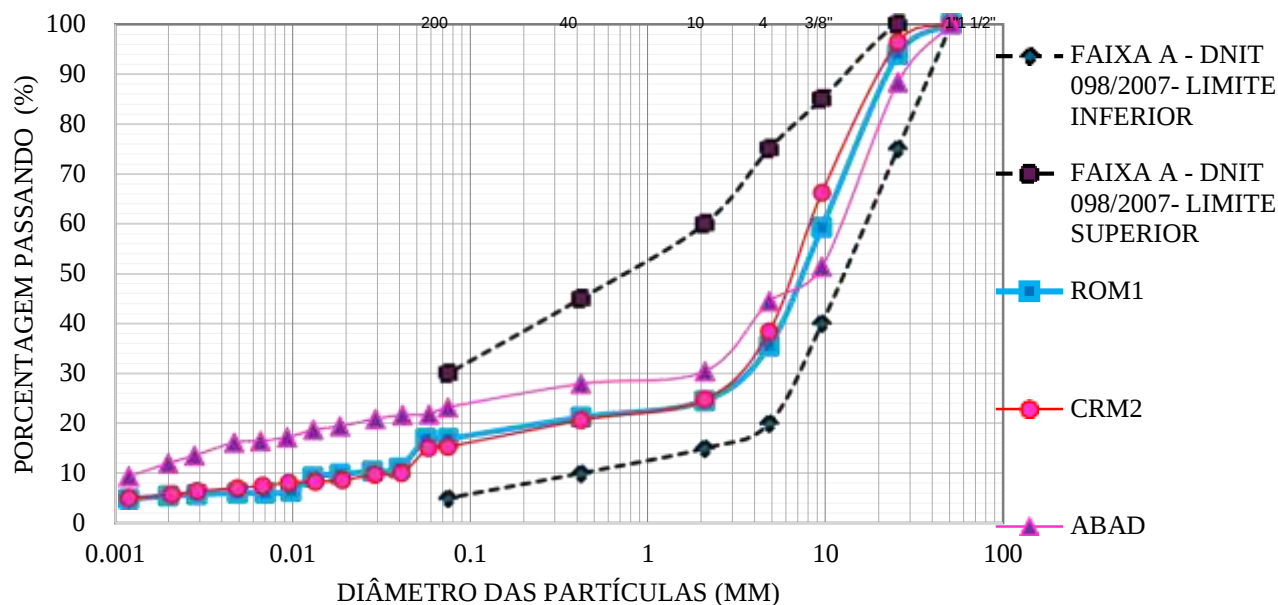


Figura 2. Curvas Granulométricas das amostras

LL, LP e Equivalente de Areia

A Tabela 2 mostra os resultados do limite de liquidez, índice de plasticidade e equivalente de areia das amostras.

Tabela 2. LL, LP e Equivalente de Areia			
Amostra	ROM1	CRM2	ABAD
LL (%)	33	36	42
IP (%)	10	13	13
Equivalente de Areia (%)	15	22	27

Conforme pode ser observado na Tabela 2, a amostra ABAD apresentou limite de liquidez acima do limite prescrito pela norma DNIT 098 (DNIT, 2007), ($LL \leq 40\%$), mas as amostras ROM1 e CRM2 apresentaram valores menores que 40%, conforme exigido pela citada norma. Os valores de índice de plasticidade (IP) foram menores que 15% para as 3 amostras, dentro dos limites de aceitação da norma. Quanto aos valores de equivalente de areia, todas as amostras apresentaram baixos valores, menores que 30%, e deveriam ser descartadas, pois a segundo a norma DNIT 098 (DNIT, 2007), os solos lateríticos de graduação graúda utilizados em base devem apresentar equivalente de areia maior que 30%.



Compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de Compactação, ISC e expansão medida no ensaio ISC das amostras.

Tabela 3. Compactação, ISC e Expansão das amostras

Material	ROM1	CRM2	ABAD
ISC (%)	165,0	145,0	29,0
Expansão (%)	0,01	0,05	0,5
W ₀ (%)	9,0	9,0	10,6
$\rho_{d_{max}}$ (g/cm ³)	2227,0	2162,0	2025,0

Conforme pode ser observado na Tabela 3, as amostras ROM1 e CRM2 apresentaram valores de ISC maiores que 80% e valores de expansão menores que 0,2%, que indicam o bom desempenho mecânico dessas amostras. No entanto, para a amostra ABAD os resultados apontam para um mal desempenho mecânico, com ISC igual a 29%, expansão igual a 0,5% e expansibilidade igual a 12% (Tabela 6), características que impossibilitam a sua utilização em base de pavimento.

Adsorção de Azul de Metileno

São apresentados na Tabela 4 e Figura 3 os resultados do ensaio de adsorção de azul de metileno das amostras estudadas. Para a realização deste ensaio foram separadas as amostras formadas pelo material que passa na peneira N° 4 (4,76 mm), da mesma forma que é feito no ensaio de equivalente de areia, desta forma as porcentagens de argila de cada amostra foram calculadas em função destas amostras.

Tabela 4. Adsorção de Azul de Metileno

Amostra	ROM1	CRM2	ABAD
Va* (ml/g)	1,0	1,3	2,2
Porcentagem de argila na amostra **(%)	31,1	34,0	31,8
Grau de Atividade	Pouco Ativo	Pouco Ativo	Pouco Ativo

* Valor de Azul para cada 1g de fração argila

** Amostra formada pela fração que passa na peneira n° 4 (4,76 mm)

Conforme visualizado na Tabela 4 e Figura 3, todas as amostras foram classificadas como “Pouco Ativo”, indicando uma baixa influência dos argilominerais presentes na fração argila dessas amostras, ou seja, que elas possuem uma fração argila constituída por minerais que em conjunto apresentam uma baixa atividade, equivalente à atividade dos solos lateríticos.

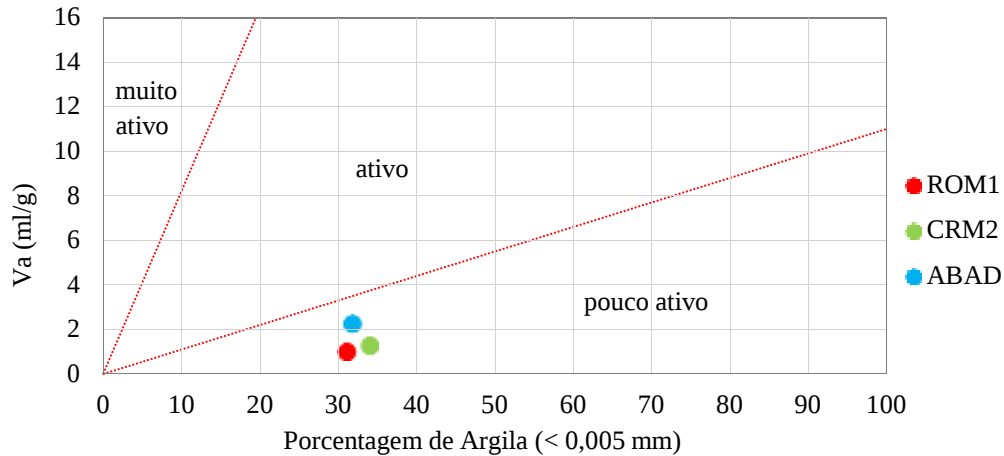


Figura 3. Porcentagem de argila das amostras versus valores de azul

Relação Sílica Sesquióxidos e Classificação MCT

A Tabela 5 apresenta os resultados da relação sílica-sesquióxidos (Kr), da expansibilidade e do teor de matéria orgânica das 3 amostras.

Tabela 5. Relação sílica sesquióxidos (Kr), Expansibilidade e Teor de Matéria Orgânica

Amostra	ROM1	CRM2	ABAD
Relação sílica sesquióxidos (Kr)	1,23	0,89	1,16
Expansibilidade (DNIT 160/2012-ME)	3,97	6,33	12,0
Matéria orgânica (%)	0,65	1,32	2,8

Segundo a norma DNIT 098 (DNIT, 2007), entende-se como solos lateríticos de graduação graúda aqueles cuja relação molecular sílica-sesquióxido (Kr) é menor que 2% e que apresentam expansão medida no ensaio de ISC inferior a 0,2%. Para os casos de expansão medida no ensaio de ISC compreendida no intervalo $0,2\% < \text{expansão (ISC)} < 0,5\%$, admite-se valores de expansibilidade (DNIT 160/2012-ME) menores que 10%.

As amostras ROM1 e CRM2 apresentaram Kr menor que 2% (Tabela 5) e expansão medida no ensaio de ISC menor que 0,2% (Tabela 3), portanto, segundo o prescrito pela norma DNIT 098 (DNIT, 2007), elas foram classificadas como solos lateríticos de graduação graúda. Para o caso da amostra ABAD, pode-se observar que ela apresentou Kr menor que 2% (Tabela 5) e expansão maior que 0,2% (Tabela 3), e em função disto foi necessário analisar o resultado do ensaio de expansibilidade, norma DNIT160/2012-ME (DNIT 2012), que apresentou valor de 12% (maior que 10%), e portanto esta amostra foi classificada como solo não laterítico de graduação graúda, que não se enquadra no grupo de solos tratados na norma DNIT 098 (DNIT, 2007).



A Tabela 6 e a Figura 4 apresentam os resultados da classificação MCT das amostras.

Tabela 6. Classificação MCT

Amostra	ROM1	CRM2	ABAD
e'	0,66	0,68	1,25
c'	1,71	1,56	1,83
Pi	7,0	4,0	78,0
Classificação MCT	LG'	LG'	NG'

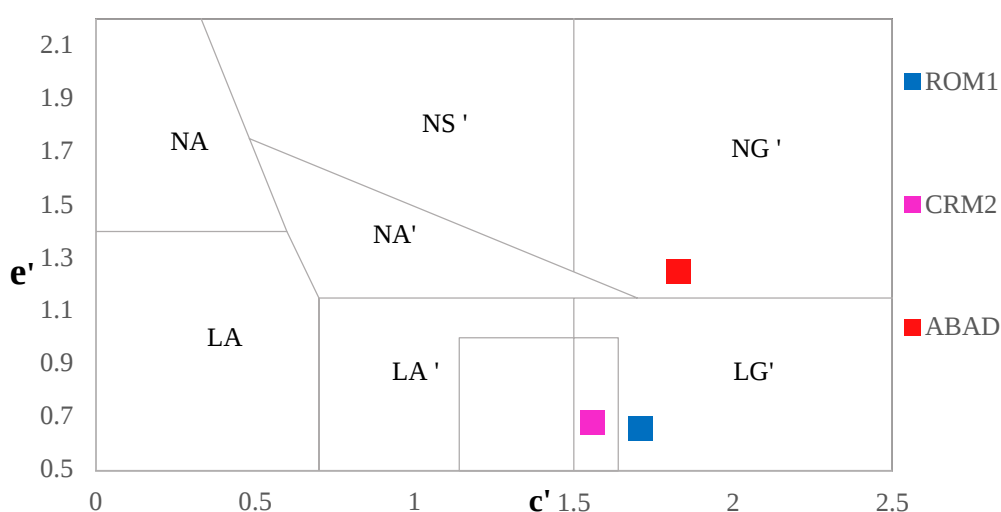


Figura 4. Classificação MCT das amostras

Conforme pode ser observado na Tabela 6 e Figura 4, as amostras ROM e CRM2 foram classificadas como LG', comportamento laterítico argiloso, e a amostra ABAD como NG', comportamento não laterítico argiloso.

É importante destacar que a amostra ABAD, com comportamento não laterítico, apresentou o teor de matéria orgânica de 2,8% (Tabela 5), muito maior que as amostras ROM1 (0,65%) e CRM2 (1,32%), que apresentaram comportamento laterítico. Segundo Pejon (1992), a matéria orgânica não adsorve o azul de metileno, portanto no caso da amostra ABAD a adsorção de azul de metileno indica apenas a atividade dos minerais da amostra, que se mostrou baixa conforme pode ser visualizado na Figura 3, sem considerar a atividade da matéria orgânica que normalmente é mais alta.

Discussão a Respeito dos Resultados da Adsorção de Azul de Metileno e do Equivalente de Areia

Como pode ser visualizado na Tabela 3, todas as três amostras, ROM1, CRM2 e ABAD, apresentaram valores de Equivalente de Areia menores que 30%, portanto todas elas deveriam ser descartadas. No entanto, conforme pode ser observado na Tabela 4 e Figura 3, o resultados dos ensaios de adsorção de metileno indicaram que as três amostras apresentaram uma fração argila “pouco ativa”, ou seja, não apresentam um conjunto de minerais que possam resultar em acentuado efeito nocivo ao pavimento devido a presença da água e portanto, não precisam ser descartados devido ao risco de nocividade da fração fina, conforme seria necessário caso fosse adotado o critério de descartar os solos com equivalente de areia menor que 30%.



Estes resultados mostram que o ensaio de adsorção de azul de metileno é mais apropriado que o ensaio de equivalente de areia para a identificação do grau de argilosidade ou de nocividade da fração argila, visto que, apesar dos baixos valores de equivalente de areia, os resultados do ensaio de Adsorção de Azul de Metileno indicaram uma fração argila “pouco ativa”, que permite inferir o seu bom comportamento na camada de pavimento.

Discussão a Respeito dos Resultados da Classificação MCT e dos Resultados Obtidos Através do Critério de Determinação do Caráter Laterítico Adotado pela Norma DNIT 098/2007

Conforme pode ser observado na Tabela 6 e Figura 4, segundo a classificação MCT, as amostras ROM1 e CRM2 foram classificadas como LG’ (comportamento laterítico argiloso) e a amostra ABAD como NG’ (comportamento não laterítico argiloso). Portanto, as amostras ROM1 e CRM2 poderiam ser analisadas para a utilização em base de solo laterítico de graduação graúda, por terem apresentado a fração que passa na peneira Nº 10 (2,0 mm) com comportamento LG’, mas a amostra ABAD, que foi apontada com comportamento não laterítico (NG’), teria que ser tratada como solo não laterítico, que não se enquadra nos critérios da norma DNIT 098 (DNIT, 2007).

Pode-se perceber que, através de outros critérios, a norma DNIT 098 (DNIT, 2007) permitiu alcançar-se resultados semelhantes aos obtidos por meio da classificação MCT. Segundo esta norma, as amostras ROM1 e CRM2, devido aos valores de Kr menores que 2% e de expansão medida no ensaio de ISC menores 0,2%, foram definidas como solo laterítico, enquanto a amostra ABAD, com expansão de 0,5% e expansibilidade de 12%, apesar de ter apresentado Kr menor que 2%, foi definida como solo não laterítico.

É oportuno ressaltar que apesar dos resultados obtidos pelas duas metodologias terem sido semelhantes, para a classificação MCT foram necessários dois ensaios, a compactação Mini-MCV seguida da perda de massa por imersão, enquanto para a determinação do caráter laterítico ou não laterítico pelos procedimentos da norma DNIT 098 (DNIT, 2007) foram necessárias várias análises químicas para determinação da relação sílica-sesquióxidos, além dos ensaios de compactação, ISC, expansão medida no ensaio de ISC e de expansibilidade. Outro detalhe a favor da classificação MCT é a baixa quantidade de solo necessário para a execução dos ensaios devido à utilização de corpos de prova com dimensões reduzidas neste método.

CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia prescrita na norma DNIT 098 (DNIT, 2007), que trata da execução da camada de base de pavimento estabilizada granulometricamente com solos lateríticos de graduação graúda, deve-se utilizar o ensaio de equivalente de areia, para a avaliação da nocividade da fração argila, e a relação molecular sílica-sesquióxidos (Kr), para a determinação do comportamento laterítico ou não laterítico das amostras. Por outro lado, o presente trabalho buscou avaliar uma metodologia alternativa, na qual o comportamento laterítico ou não laterítico é determinado pela classificação MCT e o grau de nocividade da fração argila é avaliado pelo ensaio de adsorção de azul de metileno.

As três amostras de solos de graduação graúda estudadas apresentaram valores de equivalente de areia menores que 30%, portanto, deveriam ser descartadas, segundo os critérios da norma DNIT 098 (DNIT, 2007).



Estes resultados mostraram que o ensaio de equivalente de areia não é adequado para avaliar o grau de nocividade da fração argila dos solos tropicais estudados, e que o ensaio de adsorção de azul de metileno é mais adequado para esse fim. Dessa forma, quando os resultados do equivalente de areia forem menores que os 30% exigidos pela norma DNIT 098 (DNIT, 2007), a amostra deverá ser submetida ao ensaio de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha, prevalecendo o critério do azul de metileno, ou seja, se o azul de metileno indicar que a fração argila é “Pouco Ativa” a amostra pode ser utilizada, ao contrário, se o azul de metileno indicar que a fração argila é “Ativa” ou “Muito Ativa” ela deve ser rejeitada.

A classificação MCT permitiu obter os mesmos resultados obtidos pelos critérios de determinação do caráter laterítico ou não laterítico adotados pela norma DNIT 098 (DNIT, 2007). No entanto, a metodologia MCT exige menor quantidade de solo e menor número de ensaios, além de não necessitar da realização das análises químicas que o método da citada norma exige para a determinação da relação sílica-sesquióxidos.

Estes resultados apontam para a importância da classificação MCT da fração que passa na peneira Nº 10 (2,0 mm) dos solos lateríticos de graduação graúda, que mostrou-se apropriada para determinação do caráter laterítico ou não laterítico dos solos lateríticos de graduação graúda, e para importância do ensaio de adsorção de azul de metileno, que se mostrou mais apropriado que o ensaio de equivalente de areia para a avaliação do grau de nocividade ou de atividade da fração argila dos solos lateríticos de graduação graúda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: 2016a.

_____. **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: 2016b.

_____. **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181. 2016c.

_____. **Solo — Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182. 2016d.

_____. **Solo — Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895. 2016e.

_____. **Microrrevestimentos asfálticos — Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul de metileno**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14949. 2017.

BONINNI, A. O., **Proposta de um método de ensaio para determinação do volume de azul de metileno adsorvido pela fração fina de solos tropicais**. 2005. 141 f. Dissertação de Mestrado, USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

CASANOVA, F. J., O ensaio de Azul de Metileno na caracterização de solos lateríticos. In: ABPv. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. XXI, 1986. **Anais ...** Salvador: 1986. V2, p. 276-286.

DNER. **Solos – Determinação das relações sílica-alumina e sílica-sesquióxidos**. Rio de Janeiro: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 030/94: 1994.

_____. **Equivalente de areia**. Rio de Janeiro: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-ME 054/97: 1997.

DNIT. **Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico**. Rio de Janeiro: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 098/2007- ES: 2007.

_____. **Solos – Determinação da expansibilidade**. Rio de Janeiro: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-



ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 160/2012: 2012.

_____. **Compactação em equipamento miniatura – Ensaio Mini-MCV e perda de massa por imersão**. Brasília: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ME 258/2023: 2023a.

_____. **Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura**. Brasília: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-CLA 259/2023: 2023b.

FABBRI, G. T. P., SÓRIA, M. H. A.; Aplicação do ensaio de Azul de Metileno à classificação – Uma primeira aproximação. In: ABPv. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. XXV, 1991. **Anais ...** São Paulo: 1991. p. 381-399.

FABBRI, G. T. P., **Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno**. 1994. 162 f. Tese de Doutorado. USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1994.

OLIVEIRA, F. G. Estudo da estabilização granulométrica de lateritas com uso de solos do triângulo mineiro. Tese de Doutorado. Prog. Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP, 2023.

OLIVEIRA, F. G.; PEREIRA, E. L.; MARQUES, G. L. O.; MENDONÇA, W. M. Linear shrinkage and the methylene blue spot test in the analysis of plasticity of granulometrically stabilized laterites. **REM - International Engineering Journal**, Fundação Gorceix, v. 76(3), p. 255–263, 2023.

NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D.F., **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. v. 1 e v. 2., São Paulo: Editora Villibor, 1995.

PEJON, O. J., **Mapeamento geotécnico regional da Folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos**. 1992. 141 f. Tese de Doutorado, USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.

SERRA, P. R. M., **Considerações sobre mistura de solo-agregado com solos finos lateríticos**. 1987. 106 f. Dissertação de Mestrado. USP, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1987.

SKEMPTON, A. W., The Colloidal Activity of Clays. **Proc. 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING**, Zurich, 1953.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª Edição revisada e ampliada. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Sol Brasília/DF. 577 p. 2017.