

IDENTIFICAÇÃO DA GÊNESE DE SOLOS TROPICAIS PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO

Marcelo de Castro Takeda

Alexandre Benetti Parreira

Eliana Fernandes

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Transportes

RESUMO

Este artigo apresenta e compara os resultados de diferentes técnicas utilizadas na identificação da gênese e do caráter laterítico de solos tropicais. Inicialmente, foram coletadas e caracterizadas setenta e duas amostras do subleito de rodovias do Estado de São Paulo. Entre estas, foram selecionadas trinta amostras que foram submetidas aos ensaios da Metodologia MCT, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-x e adsorção de azul de metileno pelo método da mancha. Concluiu-se que os comportamentos laterítico e não laterítico determinado pela Metodologia MCT foram confirmados pelos resultados fornecidos pelas outras técnicas de análise.

ABSTRACT

This paper presents and compares different techniques for genesis identification applied to the tropical soils. For this purpose, seventy two soils samples from São Paulo State subgrade pavements were collected and characterized. Among them, thirty samples were selected and the tests of MCT Methodology, X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and methylene blue spot were performed. It was concluded that the lateritic or non-lateritic behaviors obtained by MCT Methodology were confirmed by the others techniques.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta e discute os resultados do estudo para a identificação da gênese de solos do subleito de rodovias do interior paulista, desenvolvido como parte de uma pesquisa onde se estuda o comportamento mecânico de solos tropicais frente à variação da umidade pós-compactação (Takeda, 2006). A identificação da gênese dos solos é importante visto que é objetivo da pesquisa estabelecer uma comparação entre o comportamento mecânico de solos lateríticos e não-lateríticos para uso na construção rodoviária. Para esta identificação, as amostras foram analisadas segundo quatro diferentes metodologias, ou seja: classificação MCT, microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios-x (DRX) e adsorção de azul de metileno pelo método da mancha.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar e analisar os resultados de diferentes métodos de identificação da gênese de solos tropicais aplicados a amostras do subleito de rodovias do interior paulista e compará-los com informações fornecidas pela Metodologia MCT de Classificação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2. Coleta e caracterização dos solos

Os solos estudados nesta pesquisa foram coletados em taludes de rodovias do interior do Estado de São Paulo. Optou-se pela exclusão do litoral e da capital em face à dificuldade de se abranger todo o estado.

A orientação inicial para a definição dos locais de coleta foi feita com o auxílio de mapas

pedológicos. Dessa forma, procurou-se selecionar materiais principalmente dentre os argissolos e os latossolos, que, segundo Oliveira *et al.* (1999), correspondem a 33% e 40% do total de unidades de mapeamento registradas, respectivamente. Ou seja, estas duas classes representam 73% das ocorrências no Estado de São Paulo. Outro critério considerado na escolha dos materiais foi a busca de um equilíbrio entre as quantidades de amostras representativas de solos apresentassem menos ou mais de 35% das partículas passando na peneira nº 200.

A partir da análise dos mapas pedológicos, foram escolhidos 12 itinerários ao longo dos quais foram coletadas 72 amostras de solos. Estas foram conduzidas ao Laboratório de Estradas da EESC-USP e então preparadas, caracterizadas e classificadas. Entenda-se por preparação, a secagem, o peneiramento na peneira nº4 e o quarteamento das amostras. A caracterização corresponde à determinação da massa específica dos sólidos, a análise granulométrica conjunta e a determinação dos limites de consistência, todos ensaios realizados segundo normas específicas da ABNT. Os resultados destes ensaios permitiram a classificação dos solos segundo o Sistema Unificado e HRB (*Highway Research Board*).

O conjunto de amostras foi subdividido em três grupos com composições granulométricas distintas, denominados Grupo I, Grupo II e Grupo III, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Limites granulométricos adotados para a definição dos Grupos I, II e III

Grupo	Faixa granulométrica
I	$P_{200} < 35\%$
II	$35\% < P_{200} < 50\%$
III	$P_{200} > 50\%$

Obs.: P_{200} = porcentagem que passa na peneira nº 200

A Figura 1 indica a localização geográfica aproximada dos pontos de coleta no mapa do Estado de São Paulo.

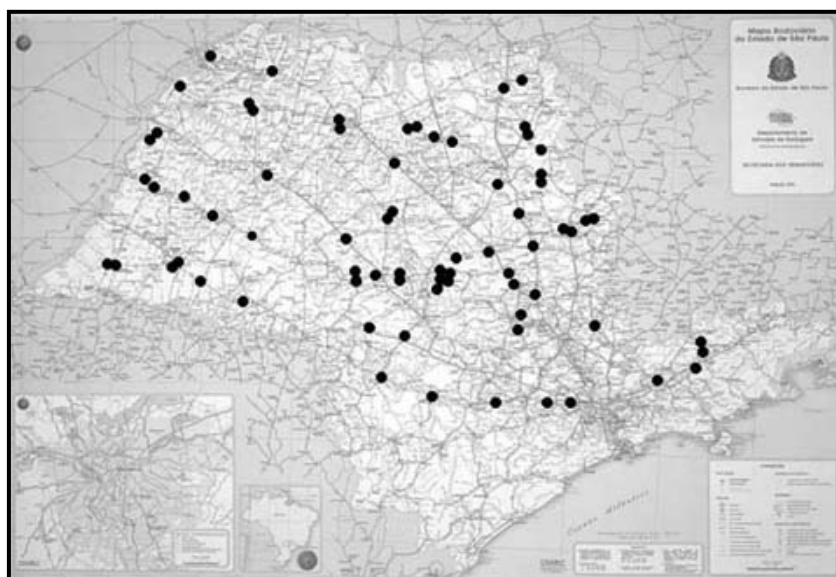


Figura1: Localização geográfica dos pontos de coleta no mapa do Estado de São Paulo

3.2. Identificação do caráter laterítico dos solos – ensaios realizados

Todo o conjunto de 72 amostras coletadas foi submetido aos ensaios de classificação MCT e de MEV. Entretanto, apenas 30 amostras, selecionadas para a etapa de estudo do comportamento mecânico frente à variação da umidade, foram submetidas aos ensaios de DRX e de azul de metileno.

- **Classificação MCT**

Após os procedimentos de preparação e caracterização, os 72 solos foram ensaiados e classificados segundo a metodologia MCT, cujo resultado indica o comportamento laterítico ou não-laterítico destes materiais. Destaca-se que esta metodologia não garante a concordância total entre o comportamento do material e a sua gênese pedológica. Para a classificação dos solos segundo esta metodologia adotaram-se os procedimentos descritos nas normas DNER - M 256-94 e DER – M 196-89.

- **Microscopia eletrônica de varredura**

As amostras foram submetidas ao ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com a finalidade de se observar a micro-estrutura dos argilominerais presentes na fração fina dos solos (porcentagem que passa na peneira nº 200). Para a realização do ensaio, pequenas porções de solo são fixadas com esmalte incolor sobre pinos de alumínio, com dimensões padronizadas, e submetidas a um banho metálico de ouro, que deposita sobre as mesmas uma camada do material. Para cada uma das amostras, obtiveram-se duas imagens, correspondendo, respectivamente, a aumentos de 3.000 vezes e 10.000 vezes.

- **Difração de Raios-X**

Os ensaios de difração de raios-x (DRX) foram realizados com a finalidade de identificar os argilominerais presentes na fração fina dos solos. O procedimento adotado seguiu o proposto por Brinatti (2001), com varredura contínua de 5° a 70° e velocidade de 2°/minuto em amostras secas em estufas e usadas na forma de pó.

- **Adsorção de Azul de Metileno**

Os ensaios de adsorção de azul de metileno pelo método da mancha foram realizados segundo método proposto por Fabbri (1994), que permite a caracterização da fração fina de solos tropicais. O resultado do ensaio indica o grau de atividade da fração fina do solo, relacionando-o com a presença de diferentes argilominerais na sua constituição, a saber: muito ativos - montmorilonita, vermiculita, etc (grupo das smectitas); ativos - caulinitas, e/ou ilitas, combinações destes com os de grupos mais ativos e de grupos menos ativos, e; pouco ativos - materiais inertes até argilominerais laterizados ou ainda combinações entre estes e os de outros grupos mais ativos. Desta maneira, a presença de argilominerais ativos ou muito ativos caracterizaria os solos não-lateríticos, enquanto a presença de argilominerais pouco ativos seria característica de solos lateríticos.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Classificação MCT

A Figura 2 mostra o gráfico de classificação MCT com a indicação da posição dos 72 solos que compõem o conjunto de amostras estudadas. Nesta figura, pode-se observar uma grande concentração de amostras na região próxima aos limites da transição entre os comportamentos laterítico e não-laterítico.

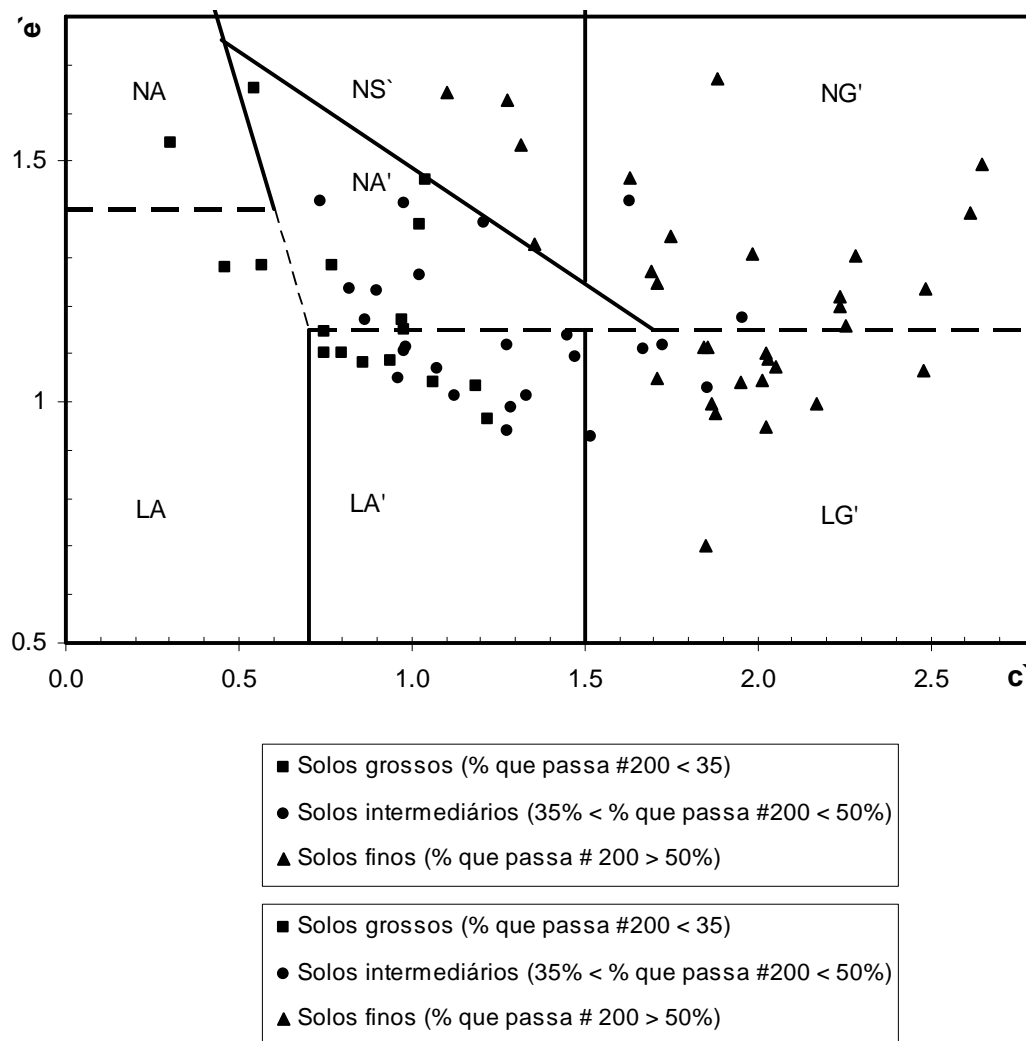


Figura 2: Gráfico de classificação MCT com a indicação da posição dos 72 solos ensaiados

A Tabela 2 apresenta a quantidade de solos encontrada em cada grupo granulométrico, destacando também as classes MCT correspondentes.

Analisando-se conjuntamente a Figura 2 e a Tabela 2, observa-se que, 39 amostras são identificadas como de comportamento laterítico, sendo dois LA (areias lateríticas), dezenove LA' (lateríticos arenosos) e dezoito LG' (lateríticos argilosos). As demais 33 amostras são identificadas como não-lateríticas. Dentre estas, um NA (areia não-laterítica), treze NA' (não-lateríticos arenosos), quinze NG' (não-lateríticos argilosos) e quatro NS' (não-lateríticos siltosos).

Observa-se ainda que todos os solos do Grupo III são classificados como LG', NG' e NS'. Quanto aos solos Grupo I, estes são classificados como LA, NA, LA' e NA', destacando-se que a maioria (82%) situa-se nas duas últimas classes enumeradas. Já os solos do Grupo II são classificados como LG', NG', NA' e LA', portanto, com a maioria (75%) situando-se nas duas últimas classes citadas.

Tabela 2: Distribuição dos solos em função da faixa granulométrica e da classe MCT

Faixa granulométrica	Classe MCT	Quantidade
Grupo I	LA	2
	NA	1
	LA'	8
	NA'	6
Grupo II	LA'	11
	NA'	7
	LG'	4
	NG'	2
Grupo III	LG'	14
	NG'	13
	NS'	4

O conhecimento da distribuição geográfica das amostras e os resultados da classificação MCT permitiram a identificação de alguns padrões de ocorrência de solos dentro da área de coleta. Inicialmente, poder-se-ia afirmar que os solos encontram-se distribuídos de maneira aproximadamente uniforme na área selecionada para a coleta, independentemente do comportamento laterítico ou não-laterítico determinado pela MCT. Portanto, não se verifica uma predominância de qualquer um dos tipos de solos em qualquer região específica do estado de São Paulo.

A Figura 3 mostra o mapa do Estado de São Paulo com a indicação dos locais de coleta dos solos separados em função das faixas granulométricas adotadas nesta pesquisa (vide Tabela 1). De modo a facilitar as análises, este mapa é dividido em quatro regiões, a saber: (i), (ii), (iii) e (iv). O principal parâmetro considerado na divisão destas regiões é a predominância ou ausência de solos do Grupo II nas mesmas.

Analisando-se a Figura 3, observa-se que na região (i) existe predominância de solos do Grupo II. Já nas regiões (ii) e (iv), os solos desta faixa granulométrica não são encontrados dentro do conjunto de amostras estudadas, havendo prevalência de solos dos Grupos I e III, respectivamente. No caso da região (iii), observa-se a ocorrência de solos de todas as faixas granulométricas, sem indicativos de predominância de um ou outro grupo.

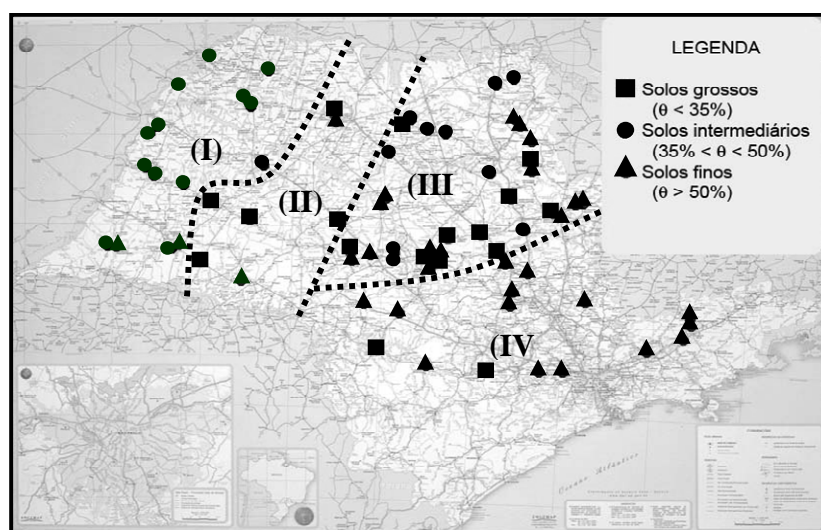


Figura 3: Locais de coleta separados em função das faixas granulométricas

Na Figura 3, associando-se na análise os grupos granulométricos e as classes MCT, conforme a Tabela 2, observa-se a predominância de solos classificados como LA' e NA' nas regiões (i) e (ii), enquanto as amostras classificadas como LG' e NG' são encontradas principalmente nas regiões (iii) e (iv). Na região (iii) verifica-se uma maior distribuição de ocorrências de classes MCT, não tendo sido observados nesta área apenas as classes NA e NS', encontrados respectivamente nas regiões (ii) e (iv).

4.2. Microscopia eletrônica de varredura

Os ensaios MEV foram realizados com o intuito de identificar padrões de imagem que pudessem distinguir os solos segundo a sua gênese laterítica ou não-laterítica.

Segundo Nogami e Villibor (1995), os solos lateríticos caracterizam-se por possuírem a sua fração argila constituída pelo argilomineral caulinita. Estes ainda contêm elevada porcentagem de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio que recobrem a caulinita conferindo ao conjunto um aspecto "cimentado". No caso dos solos saprolíticos, os argilominerais e, eventualmente, outros minerais presentes não se apresentam recobertos por óxidos e hidróxidos de Fe e Al, como no caso dos solos lateríticos. Os contornos dos argilominerais que os constituem podem ser distinguidos com nitidez nas imagens da MEV. Seguindo estas premissas, as fotografias obtidas foram analisadas e permitiram a elaboração da Tabela 3, que mostra um resumo das relações entre as indicações fornecidas a partir dos ensaios MEV e a classificação MCT para os solos coletados. Esta tabela apresenta ainda, o número de concordâncias e de discordâncias observadas na comparação entre as indicações dos ensaios, destacando os resultados em função da classe MCT.

Analisando-se a Tabela 3, observa-se que, para todas as amostras classificadas como lateríticas pela MCT, foram encontrados padrões de imagem que indicam a presença de cimentação entre suas partículas constituintes, característica esta marcante dos solos lateríticos.

Tabela 3: Número de concordâncias e discordâncias observadas na comparação entre os resultados dos ensaios de MEV e classificação MCT

Laterítico (segundo a MCT)			
Classe MCT	Total	Concorda	Discorda
LA	2	2	0
LA'	19	19	0
LG'	18	18	0
Total	39	39	0
Não-laterítico (segundo a MCT)			
Classe MCT	Total	Concorda	Discorda
NA	1	0	1
NA'	13	6	7
NG'	15	11	4
NS'	4	2	2
Total	33	19	14

Ainda na Tabela 3, observa-se, para os solos não-lateríticos, a existência de discordâncias entre o comportamento indicado pela classificação MCT e os padrões de imagens obtidos. Do total de solos assim classificados, em 14 amostras foram verificadas divergências entre os resultados. Neste caso, os padrões encontrados nas imagens são bastante variáveis, tendo sido

observado desde o contorno dos argilominerais até a presença de cimentação em alguns solos. Desataca-se que a maior parte destes casos está relacionada a solos classificados como NA', dentre os quais aproximadamente 50% apresentaram esta inconsistência. A maioria das amostras divergentes encontra-se na região de solos transicionais, segundo a proposta MCT-M (Vertamatti, 1988), e apresentariam um estágio intermediário de evolução entre os lateríticos e os não-lateríticos.

4.3. Difração de raios-X

Quando da seleção dos solos para o estudo do comportamento mecânico dos materiais com a variação da umidade pós-compactação levou-se em consideração parâmetros relacionados à granulometria, classificação e gênese dos solos. Também, evitou-se a escolha de amostras entre aquelas que apresentaram divergências entre os resultados do ensaio de MEV e classificação MCT.

Apesar desta pesquisa tratar principalmente do estudo de solos classificados como finos pela HRB (Grupos II e III) incorporou-se ao estudo uma parcela de solos classificados como grossos pela HRB (Grupo I). Assim, selecionou-se 16 solos do Grupo III, 7 do Grupo II e 7 do Grupo I. Então, para os trinta solos assim selecionados, identificaram-se os grupos a que pertencem os argilominerais principais, a presença ou não de óxidos e hidróxidos, e, a partir da análise destes resultados, inferiu-se a gênese do material, o que permitiu a sua comparação com o comportamento previsto pela MCT. Desta forma avaliou-se a existência de concordância entre a gênese determinada através do ensaio de DRX e o previsto pela MCT.

Analisando-se os resultados de DRX, observou-se que para os solos considerados de comportamento lateríticos segundo a MCT, identificou-se a presença de argilominerais menos ativos, do grupo das caulinitas. Destaca-se que a caulinita pode ser o argilomineral exclusivo ou ocorrer em conjunto com a gibsita, sendo este último de ocorrência restrita aos solos lateríticos. Em 5 amostras observou-se a presença da caulinita e da gibsita, e nos demais solos que compõem o conjunto dos lateríticos, apenas o grupo da caulinita foi encontrado. Para todas estas amostras, identificou-se a presença de óxidos e/ou hidróxidos.

Ainda analisando-se os resultados de DRX, observou-se que para os solos considerados como não-lateríticos segundo a MCT identificou-se a presença de argilominerais mais ativos, do grupo das ilitas, isoladamente ou em conjunto com argilominerais menos ativos (grupo das caulinitas). Para estes solos, não foi constatada a presença de óxidos e/ou hidróxidos.

A comparação entre a gênese obtida a partir da análise dos resultados dos ensaios de DRX e o comportamento previsto pela classificação MCT mostra concordância entre os mesmos para todos os trinta solos. Entretanto, é importante destacar que a não existência de divergências pode ser decorrente da eliminação dos solos que apresentaram discordância entre a MCT e a indicação da gênese obtida a partir da MEV durante a seleção das amostras analisadas.

4.4. Adsorção de azul de metileno

A Figura 4 ilustra os resultados dos ensaios de azul de metileno, realizados para caracterização da atividade da fração fina dos solos.

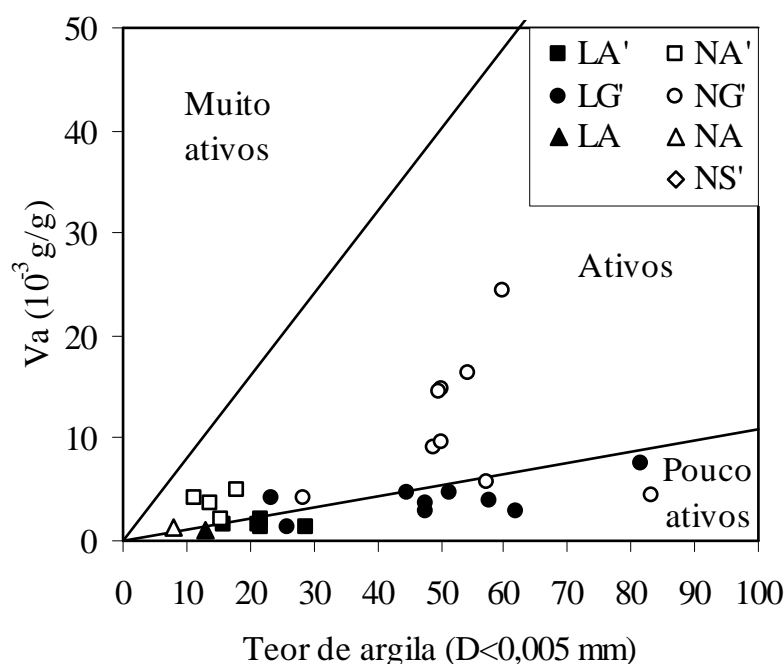


Figura 4: Ábaco para caracterização da atividade da fração argila dos solos e a posição dos solos selecionados

Analisando-se a Figura 4, observa-se a concordância entre as indicações obtidas a partir dos resultados do azul de metileno e o comportamento previsto pela classificação MCT para a maioria dos solos, à exceção de 3 amostras. Dentre as três discordâncias observadas, uma corresponde a um solo classificado como laterítico pela MCT e caracterizado como ativo pelo ensaio de azul. Neste caso, o valor de $e' = 1,12$ coloca a amostra muito próxima da transição entre os solos de comportamento laterítico e não-laterítico segundo a MCT, o que poderia levar à incongruência entre as indicações obtidas.

Quanto às outras duas discordâncias observadas, estas correspondem a solos classificados como não-lateríticos pela MCT e que apresentam na sua constituição, segundo o ensaio de azul, argilominerais pouco ativos. Em um dos casos, o CA é igual a 10, valor este muito próximo do limite (11) que separa os argilominerais ativos dos pouco ativos. Para a outra amostra, o valor de CA igual a 5,2 a posiciona na região de solos pouco ativo e distante do limite destacado anteriormente. Entretanto, analisando-se os resultados de DRX, observa-se que esta amostra apresenta apenas argilominerais do grupo das caulinitas, justificando a característica indicada pelo método do azul de metileno.

4.5. Análise comparativa dos resultados obtidos

Analisando-se conjuntamente estes resultados, observa-se que para vinte e cinco amostras, ou 83% dos casos, houve concordância entre as indicações da totalidade dos ensaios utilizados.

Observa-se ainda, que dentre as amostras em que a concordância entre as indicações dos ensaios é parcial, sempre três entre quatro ensaios produziram resultados congruentes. As divergências encontradas seriam devidas ou aos ensaios de MEV ou aos ensaios de adsorção de azul de metileno.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou aspectos relacionados à determinação da gênese de solos tropicais, estando as conclusões principais resumidas a seguir:

- Os solos lateríticos e não-lateríticos distribuem-se de forma aproximadamente uniforme dentro da região considerada na coleta.
- Todas as divergências encontradas na comparação dos ensaios de MEV e a classificação MCT estão relacionadas aos solos não-lateríticos.
- Os solos lateríticos apresentam na sua constituição argilominerais do grupo da caulinita, enquanto nos solos não-lateríticos verificou-se a presença de argilominerais do grupo das ilitas, isoladamente ou em associação com a caulinita. E, apenas para as amostras lateríticas identificou-se a presença de óxidos e/ou hidróxidos de ferro e alumínio.
- O ensaio de adsorção de azul de metileno se mostrou eficiente na caracterização dos argilominerais presentes na fração fina dos solos, possibilitando a associação do grau de atividade destes para a distinção dos solos lateríticos e não-lateríticos.
- Na análise conjunta dos ensaios MCT, MEV, DRX e azul de metileno, observa-se que em 83% dos casos houve concordância entre as indicações da totalidade dos ensaios. Verificou-se ainda, que dentre as amostras em que a concordância entre as indicações dos ensaios é parcial, sempre três entre quatro ensaios produziram resultados congruentes.
- Portanto, conclui-se que a classificação MCT conseguiu prever com eficiência o caráter laterítico ou não-laterítico dos solos selecionados na pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de doutorado do primeiro autor e recursos concedidos para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Brinatti, A. M. (2001) *Uso de espectroscopias e difração de Raios X aplicadas à caracterização mineralógica de solos*. São Carlos, Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, USP. 194p.
- Fabbri, G. T. P. (1994) *Caracterização da fração fina de solos tropicais através da adsorção de azul de metileno*. São Carlos, Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 101p.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1995) *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo, Villibor.
- Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. (1999). *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Campinas, EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Instituto Agrônomo, 64p.
- Takeda, M. C. (2006) *A Influência da Variação da Umidade Pós-Compactação no Comportamento Mecânico de Solos de Rodovias do Interior Paulista*. São Carlos. 247p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Vertamatti, E. (1988) *Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e resiliente*. São José dos Campos. Tese (Doutorado) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica.

Marcelo de Castro Takeda (mc_takeda@uol.com.br)

Alexandre Benetti Parreira (parreira@usp.br)

Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Transportes

Avenida Trabalhador São-carlense, 400 – CEP 13.566-590 – São Carlos/SP, Brasil