

13ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA – 13ª RPU

MACEIÓ/AL – BRASIL – 5 A 7 de abril de 2006

Local: Centro Cultural e de Exposições de Maceió

Metodologia de Investigação Geotécnica de Vias Urbanas Não Pavimentadas Com o Emprego do Método das Pastilhas e Cone de Penetração Dinâmico–DCP Parte 1 - Classificação e Seleção de Solos

Glicério Trichês¹; Cláudia Moreira Dal Paí²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Rua João Pio Duarte Silva s/n - Córrego Grande – CEP 88040-970 Florianópolis/SC e-mail: ecv1gtri@ecv.ufsc.br

² Rua José Feliciano Karasek, 51 – Carvoeira – 88040 660 Florianópolis/SC, e-mail: claudiamoreirasfs@hotmail.com

RESUMO

Estabelecer procedimentos de investigação geotécnica “in situ” empregando-se técnicas rápidas, eficazes e de baixo custo na caracterização das propriedades geotécnica de interesse para a pavimentação é uma tendência mundial, principalmente para as vias de baixo volume de tráfego. No Brasil tem sido uma constante a execução de pavimentos urbanos sem uma avaliação adequada do solo de fundação para o dimensionamento da espessura total do pavimento. O emprego de ensaios como o Método das Pastilhas e o Cone de Penetração Dinâmico (DCP - Dynamic Cone Penetrometer) podem contribuir de maneira decisiva para o aumento da vida útil dos pavimentos urbanos. Eles permitem avaliar as características de expansividade, resistência e de capacidade de suporte do solo de fundação e das camadas do pavimento, com a vantagem de serem ensaios simples, facilmente executáveis em campo e de baixo custo na obtenção dos resultados. Em 2005 foi finalizada uma pesquisa na Universidade Federal de Santa Catarina, em que se avaliou a potencialidade do emprego do Método das Pastilhas para a caracterização geotécnica e seleção de solos a serem empregados em corpo de aterro e camadas de reforço e o emprego do ensaio de DCP para caracterizar a capacidade de suporte “in situ” dos solos de fundação de vias urbanas não pavimentadas. A metodologia proposta foi testada no município de São Francisco do Sul-SC e reconhece-se que ela seja válida para a caracterização de solos finos desenvolvidos no ambiente tropical. A partir dos resultados obtidos, estabeleceu-se um procedimento para a caracterização geotécnica e avaliação da capacidade de suporte “in situ” dos solos com estes equipamentos, bem como desenvolvimento de ábacos de dimensionamento da espessura total do pavimento a partir destes dados. O presente trabalho (Parte 1) detalha o emprego do Método das Pastilhas para a caracterização do solo de fundação e de jazidas a serem empregadas na construção do corpo de aterro, camada final de terraplenagem e camada de reforço, classificando os solos tropicais em solos de comportamento Laterítico (L) e Não Laterítico (N), permitindo selecionar os solos quanto às propriedades de resistência, compressibilidade, permeabilidade e a expansibilidade do solo a ser empregado. No trabalho serão apresentados procedimentos de coleta de amostra empregando-se mapas temáticos, a realização do ensaio e a classificação geotécnica do solo.

PALAVRAS-CHAVES: Método das Pastilhas, Solos Tropicais, classificação geotécnica do solo.

ABSTRACT

It is a world tendency to establish geotechnical investigation procedures “in situ” using fast, efficient and with low cost techniques, in characterization of geotechnical properties of pavement, mainly for the ways of low volume of traffic. The execution of municipal urban floors without an adequate evaluation of the soil of foundation for unfamiliarity of the existence of simple techniques on the part of the City halls in the characterization of the hydraulical and mechanics properties of soil necessary for the sizing of the total thickness of the floor is a constant. The use of techniques as the Método da Pastilhas (Disk Method) and the Dynamic Cone of Penetration (DCP) can contribute for the increase of the useful life of the urban pavements. These assays are procedures that allow to evaluate the expansive characteristics, resistance and bearing capacity of the soil of foundation and the layers of the pavement with the advantage to be simple assays, easily executed in field, and of low cost in the attainment of the results. In 2005, a research in the Federal University of Santa Catarina was finished, where it was evaluated the potentiality of the use of the Disk Method for the characterization and election of soils and the DCP to characterize the support capacity “in situ” of soil foundation of non-pavement urban ways. The methodology proposal was tested in the city of São Francisco do Sul - SC and it is recognized as validate for fine soil developed in Tropical environment. From the gotten results, one established a procedure for the geotechnical characterization and evaluation of the support capacity “in situ” of soil with these equipment, as well as development of abacuses of sizing of the total thickness of the pavement from these data. This work (Part 1) details the use of the Disk Method for the characterization of the foundation soil and of deposits to be employed in the construction of the body of soil, final layer of earth moving and layer of reinforcement, classifying Tropical Soil in Lateritic (L) and Non-Lateritic (N) behaviors, allowing to select soils about the resistance properties, compressibility, permeability and the expansibility of the soil to be used. In this work will be presented procedures of sample collection, using thematic maps, the accomplishment of the assay and the geotechnical classification of the soil.

KEYS WORDS: Método das Pastilhas (Disk Method), Tropical Soil, DCP, geotechnical classification of the soil.

INTRODUÇÃO

O uso de uma metodologia apropriada de investigação geotécnica dos solos locais é de grande importância para se conhecer as propriedades de interesse à pavimentação urbana, principalmente para os solos desenvolvidos em regiões de clima tropical. Nogami e Villibor (1981) desenvolveram a metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) para a classificação dos solos tropicais que se baseia em propriedades mecânicas e hidráulicas de uma série de ensaios realizados em corpos-de-prova de dimensões reduzidas. Em 1985, Nogami e Villibor apresentam um procedimento expedito de classificação dos solos tropicais da metodologia MCT designado de procedimento expedito das pastilhas. É um procedimento simples, que emprega técnicas rápidas, eficazes e de baixo custo para a caracterização das propriedades geotécnicas com vistas à pavimentação de vias de baixo volume de tráfego. O Método das Pastilhas (MP) pode ser facilmente empregado por Prefeituras Municipais para inferir as propriedades geotécnicas dos solos a serem empregados na pavimentação, opondo-se às ideias das administrações públicas de que uma investigação geotécnica é um procedimento relativamente caro, trabalhoso e demorado quanto à obtenção de resultados. Em não se fazendo a investigação geotécnica, tão pouco será motivo de preocupação o controle de qualidade de execução de vias urbanas. No Brasil, desde a década de 40 são empregados na Classificação Geotécnica dos Solos o Sistema Unificado de Classificações dos Solos – USCS (United Soil Classification System) e a Classificação HRB (Highway Research Board) que se baseiam nas Propriedades Índices do solo - Limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade) e granulometria. Esta pesquisa, tem como diferencial o emprego do MP desenvolvido por Nogami e Cozzolino (1985), em substituição aos sistemas USCS e HRB, por serem procedimentos que apresentam limitações quando empregado em solos tropicais.

PROCEDIMENTO DE COLETA DE AMOSTRA NO CAMPO DE JAZIDAS E DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS

Para orientar a coleta de amostra de solos na área em estudo, foi empregado mapa geológico, pedológico e geomorfológico na escala 1:50.000 do IBGE/SC. Buscando informações na Prefeitura Municipal e reconhecimento expedito “in situ”, localizaram-se as jazidas de solos exploradas no Município e os tipos de solos empregados no revestimento primário das vias, associando-os os pontos amostrados às Unidades Geotécnicas através de coordenadas geográficas UTM (Universal Transverso de Mercator), empregando-se um GPS (Global Position System). A Figura 1 localiza e identifica os pontos amostrados de jazidas e vias não pavimentadas no mapa pedológico de uma área da Ilha de São Francisco do Sul.

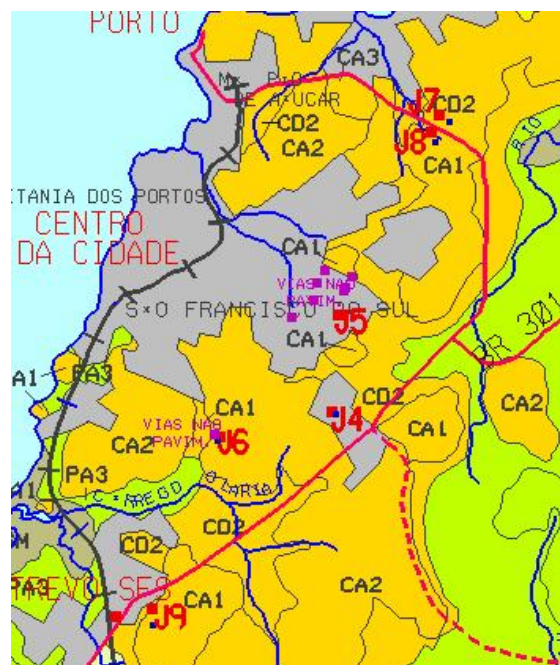


Figura 1: Localização e Identificação dos pontos amostrados de Jazidas e Vias Não Pavimentadas. Unidade Cambissolo.

METODOLOGIA MCT

A metodologia MCT consiste em uma série de ensaios com corpos-de-prova de dimensões reduzidas (50mm de diâmetro) e abrange dois grupos de ensaios: mini-CBR e mini-MCV e seus ensaios associados (capacidade de suporte mini-CBR, expansão, contração, infiltrabilidade, permeabilidade, penetração por imprimadura), proposta por Nogami e Villibor no início da década de 80 para suprir as limitações dos procedimentos tradicionais (USCS e HRB) de caracterização e classificação dos solos tropicais. A Classificação Geotécnica dos Solos segundo a metodologia MCT separa os solos tropicais em duas grandes classes: os de comportamento Lateríticos (L) e os de comportamento Não Lateríticos (N). Os solos de comportamento lateríticos são subdivididos em 3 grupos: LA - areia laterítica quartzosa, LA' - solo arenoso laterítico e LG' - solo argiloso laterítico. Os solos de comportamento não laterítico (saprolíticos) são subdivididos em 4 grupos: NA - areias, siltes e misturas de areias e siltes com predominância de grão de quartzo e/ou mica, não laterítico, NA' - misturas de areias quartzosas com finos de comportamento não lateríticos (solo arenoso), NS' - solo siltoso não laterítico e NG' - solo argiloso não laterítico. (Fortes; Neto e Merighi, 2002a). Para tornar o procedimento de classificação mais rápido e simples, Nogami e Cozzolino propuseram em 1985 a primeira identificação expedita dos grupos de solos tropicais pelo ensaio designado de “Ensaio Expedito das Pastilhas”. A partir desta data, o MP ter passado por adaptações, destacam-se Bernucci (1987), Fortes e Nogami (1991), Nogami e Villibor (1994 e 1996), Godoy (1997), Nogami e Villibor (2003).

MÉTODO DAS PASTILHAS

O MP consiste em avaliar as propriedades geotécnicas em pastilhas de solo (material passante na peneira 0,42mm) moldadas em anéis de aço inox de pequenas dimensões para solos essencialmente finos. Para Godoy e Bernucci (2000), o MP “vem substituir os índices de consistência e a granulometria na identificação e classificação preliminar dos solos tropicais, pois possibilita uma hierarquização dos solos, inferindo propriedades geotécnicas de comportamento “in situ””. Estes autores citam diversas vantagens do emprego do MP: “pode ser executado no próprio campo, pouco tempo para obtenção dos resultados, reduzido volume de amostra utilizada em cada ensaio, simplicidade dos equipamentos e praticidade na execução, além de ser rápido, simples e eficaz”. Burmister (1970) citado por Godoy e Bernucci (2000) “ênfatisa que a identificação de solos no campo e no laboratório é o primeiro e o mais essencial passo na investigação do solo para uso em engenharia. Ressalta ainda que freqüentemente a fração fina tem influência dominante nos comportamentos dos solos, particularmente, em questões de drenagem, valores de suporte e estabilidade de solos”.

Propriedades Avaliadas pelo MP

De acordo com Godoy e Bernucci (2000), as propriedades de interesse à pavimentação que estão relacionadas com as propriedades avaliadas pelo MP são: a *Deformabilidade*, que é medida através da contração diametral da pastilha por perda de umidade; a *resistência*, que é avaliada através da penetração da pastilha por um penetrômetro padrão após a pastilha ser submetida à reabsorção de água; e a *permeabilidade*, que é avaliada através do tempo de ascensão capilar d'água de reabsorção após secagem prévia da pastilha. Segundo os autores “as propriedades de contração, penetração e reabsorção de água, de certa forma sintetizam o comportamento de um solo para aplicação em pavimentação. Enquanto que a contração se correlaciona com a compressibilidade dos solos compactados, a reabsorção de água e a penetração estão relacionadas com a coesão e a resistência desses solos em presença de água”. Os mesmos destacam que a classificação MCT e o MP avaliam diretamente as propriedades de interesse geotécnico enquanto que as classificações internacionais (USCS e HRB) utilizam índices para classificar o solo e então inferir as propriedades geotécnicas.

Classificação Geotécnica dos Solos Tropicais pelo Método das Pastilhas

A classificação geotécnica dos solos pelo MP caracteriza-se pela moldagem de pastilhas de solos (material passante na peneira 0,42mm) em anéis de aço inox de 20mm de diâmetro por 5mm de altura, que após a secagem a temperatura de 60 graus centígrados, são submetidos a reabsorção d'água, quando se observa o surgimento de trincas, a expansão, tempo de ascensão capilar e a resistência à penetração de uma agulha padrão de 10 gramas. A Figura 2 mostra a nova Tabela de Identificação dos grupos de solos da metodologia MCT apresentada por Nogami e Villibor (2003) que mostra o zero da escala vertical na parte superior e não na parte inferior como a versão original apresentada por Nogami e Villibor em 1981. Essa nova disposição coincide com aquela que se observa na maioria dos perfis naturais das ocorrências, em que as camadas de comportamento laterítico ocorrem na parte mais superficial e superior, sendo que geralmente o grau de laterização diminui sensivelmente nas proximidades do contato com a camada subjacente dos

solos de comportamento não laterítico. A Figura 2 ilustra a Tabela de Identificação que indica nas abscissas os valores da Contração (Ct) diametral das pastilhas seca, em milímetros, e nas ordenadas, os valores da Penetração (Pn) – multiplicar por 2 o valor de Pn para entrar na tabela - em milímetros obtida com o penetrômetro padrão com agulha de 10 gramas medida após a reabsorção de água pela pastilha (Nogami e Villibor, 2003).

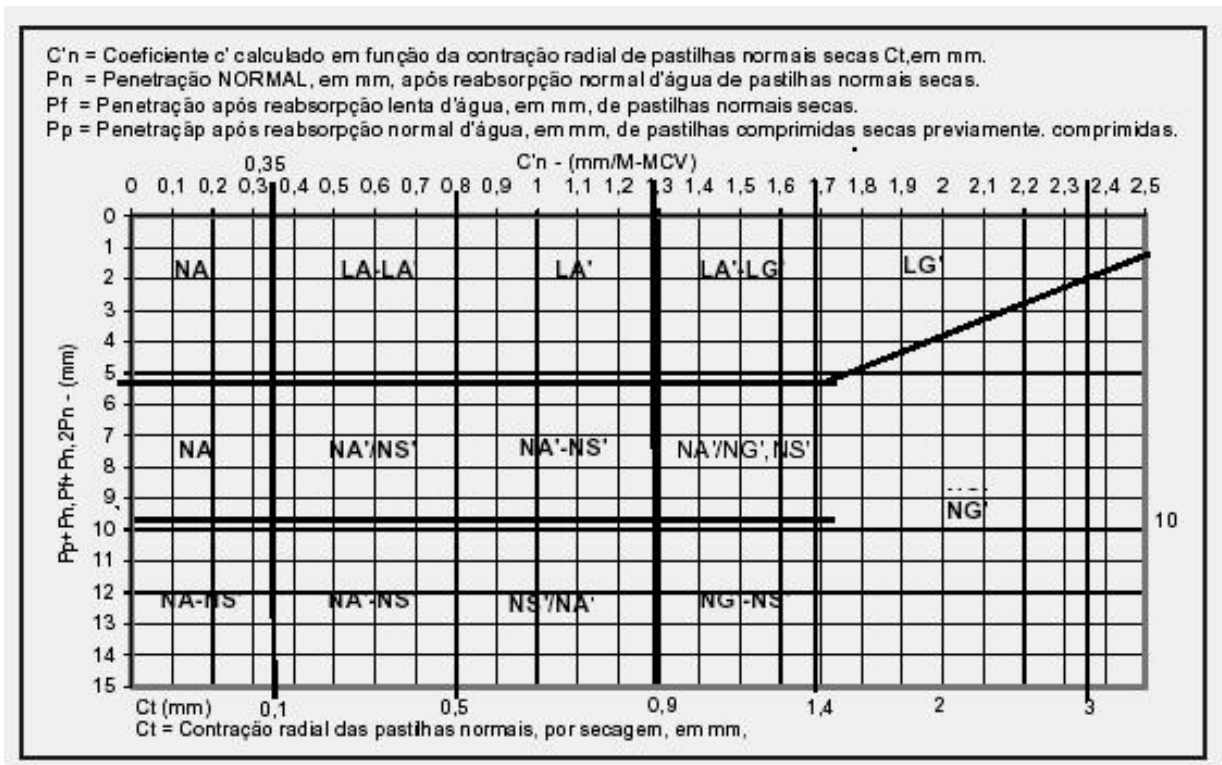


Figura 2 : Tabela de Identificação para uso do mini penetrômetro com pé, pastilhas secas normais ou comprimidas (solos arenosos), submetidas a reabsorção d'água normal ou lenta – aproximação 2002 (NOGAMI; VILLIBOR, 2003, p.66).

Caracterização Geotécnica dos Solos das Jazidas e do Revestimento Primário

O ensaio do MP é conduzido da seguinte forma: a) Secar o solo ao ar até a umidade higroscópica e destorroar e passar nas peneiras nº.10 (# 2mm) e nº.40 (# 0,42mm). Do material passando na # 0,42mm, pesa-se cerca de 50 gramas de solo, colocando-o em um recipiente com água destilada deixando-o em repouso por 8 horas. Após esse tempo, espátula energeticamente o solo (cerca de 100 vezes para solos arenosos e argilosos não laterítico e cerca de 400 vezes para solo arenoso e argiloso laterítico) até se obter uma pasta de solo com uma umidade tal que resulte em uma penetração de 1mm do penetrômetro agulha de 10 gramas (FORTES e MERIGHI, 2003); b) Moldagem e secagem das pastilhas: com a pasta de solo, faz-se uma bola de aproximadamente 1cm de diâmetro, colocando-a dentro do anel de aço, pressionando-a com o dedo para preencher o anel. O excesso de solo é cortado com fio de nylon fino. Finalizada a confecção da pastilha, anel e pastilha são colocados em estufa a 60°C, na posição vertical, por 6 horas; c) Contração: após a secagem, mede-se a contração diametral da pastilha com paquímetro (três vezes, a 120°), obtendo-se a média dos valores; d) Reabsorção da pastilha: coloca-se o anel com a pastilha sobre o papel filtro úmido, o qual deve estar assente sobre uma pedra porosa, para reabsorção de água destilada. A pedra porosa deve estar colocada em um recipiente com água de tal forma que se tenha uma distância de 0,5cm entre o nível d'água e a superfície da pedra porosa (pressão negativa de 5mm). Observa-se o tempo de ascensão capilar da água, deixando-a saturar por um tempo de 2 horas. Ao fim desse tempo, faz-se a penetração pastilha; e) Penetração: Embora não seja necessário, utilizou-se o equipamento Penetrômetro Universal para medir a penetração do penetrômetro padrão (agulha com diâmetro de 1,3mm e peso total de 10 gramas). Posiciona-se a ponta da agulha rente a superfície da pastilha e na metade do raio do anel. Anota-se a leitura inicial e em seguida solta-se o penetrômetro até estabilizar o seu movimento. Fazem-se 3 penetrações da agulha na pastilha, a cada 120°, obtendo-se a média entre os valores. Deve-se moldar no mínimo 2 pastilhas para se obter a

contração e penetração do solo ensaiado. Com os valores de contração e penetração, obtêm-se na Tabela de Identificação (Figura 2) o grupo a que pertence o solo ensaiado. A Figura 3 ilustra a seqüência de execução do ensaio.



Figura 3: Seqüência de realização do ensaio MP da metodologia MCT.

METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida segundo as seguintes fases:

- Primeira fase: Identificação dos solos da ilha de São Francisco do Sul e seleção do bairro onde seria desenvolvida a pesquisa;
- Segunda fase: Realização de ensaios de pastilhas com solos do bairro escolhido e seleção dos solos representativos;
- Terceira fase: Realização de ensaios tradicionais para caracterização geotécnica; e,
- Quarta fase: Análise dos resultados e conclusões.

IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO

Esta primeira fase da pesquisa constituiu em se identificar, através do MP, os solos predominantes nas jazidas exploradas no município e nos revestimentos primários das vias. Os pontos amostrados foram localizados e identificados no mapa pedológico ilustrado na Figura 1. Com isso, pode-se obter uma visão geral dos tipos de solos da Ilha de São Francisco do Sul. Na seqüência, foi escolhido o bairro Jardim Acaraí para o desenvolvimento da pesquisa por este apresentar um grande número de vias não pavimentadas, ser populoso e estar assente em uma Unidade Geotécnica representativa do município (Cambissolo, substrato granitóide). Além disso, a Prefeitura tinha um plano de início de obras de pavimentação de vias neste bairro (revestimento com lajotas).

REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DAS PASTILHAS COM OS SOLOS DO BAIRRO

A segunda fase da pesquisa constituiu-se em caracterizar e selecionar os solos de fundação e do revestimento primário das vias não pavimentadas do bairro. Utilizando-se um trado de 15cm de diâmetro, foi possível investigar os solos de fundação das vias, coletando-se amostras desde a superfície até uma profundidade em torno de 80 a 100cm. Para cada ponto amostrado, foram identificadas as suas coordenadas geográficas UTM. A Figura 4 ilustra uma parte do traçado das vias não pavimentadas e os pontos amostrados de solo de fundação e perfis de solos na Unidade Geotécnica Cambissolo de substrato granitóide de relevo ondulado (Ca1). A cor cinza indica área urbanizada do bairro.



Figura 4: Bairro Jardim Acaraí – traçado das vias não-pavimentadas e pontos amostrados n.ºs. 50 a 61.

A Figura 5 ilustra a coleta das amostras no leito das vias não pavimentadas e em cortes no bairro Jardim Acaraí. Durante a sondagem verificou-se que na maioria das vias, o greide estava assente no horizonte B e em poucas, no horizonte C.

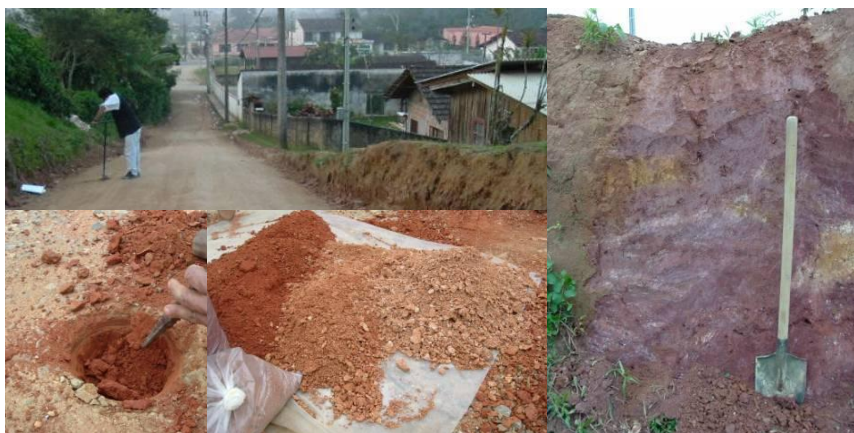


Figura 5: Coleta de amostra nos horizontes B e C das vias não pavimentadas e perfis de solo do bairro selecionado.

Segundo a Secretaria de Obras da Prefeitura, o “saibro” empregado como revestimento primário das vias não pavimentadas da região é retirado do Morro do Ubatuba (Unidade Geotécnica Cambissolo substrato granitóides CA3 – de relevo montanhoso). No bairro Jardim Acaraí, observou-se que em alguns trechos das vias com inclinação acentuada o “saibro” encontrava-se com uma espessura muito delgada ou era inexistente. Portanto, decidiu-se caracterizar o material diretamente do Morro do Ubatuba. A Figura 6 ilustra os pontos amostrados no mapa pedológico nas áreas 2 e 3 da jazida e vistas parciais destas áreas.

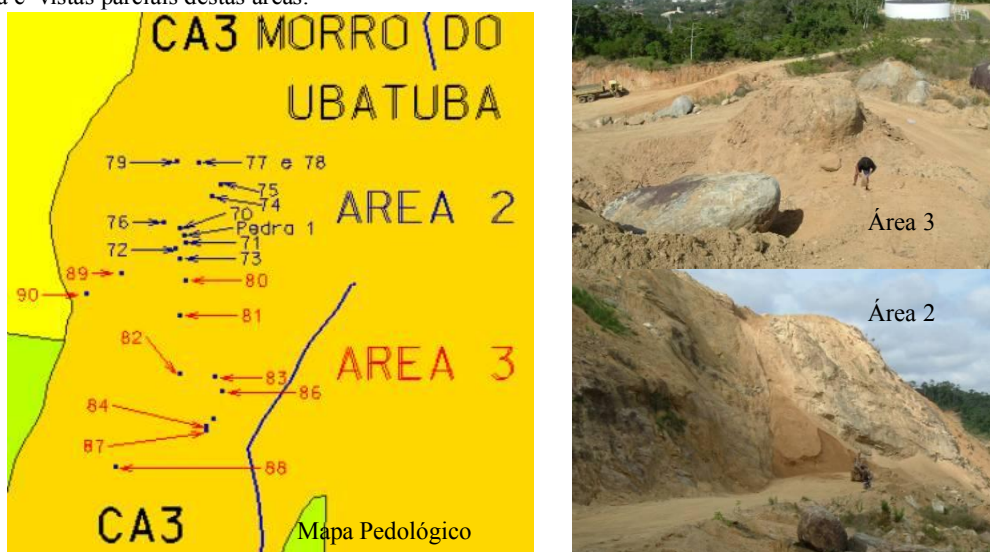


Figura 6: Pontos amostrados do Morro do Ubatuba, horizonte C, saprolítico e rocha alterada de granitóides.

RESULTADOS DO MÉTODO DAS PASTILHAS

Nos Quadros 1 e 2 são apresentados os resultados de caracterização pelo MP dos pontos amostrados no bairro Jardim Acaraí e do Morro do Ubatuba, identificando: a) descrição expedita do solo, indicando entre colchetes as variações das espessuras quando da mudança de cor ou horizonte, cor do solo e textura; b) a Contração (Ct.); c) a Penetração (Pn); e d) a identificação dos grupos de solos. Também é indicada, qualitativamente, a propriedade expansiva do solo compactado (Nogami e Villibor, 1995) e os seus valores numéricos encontrados na Tabela III.3 da mesma referência.

Quadro 1: Resultados dos ensaios com solos do Jardim Acaraí. Amostra de solo de fundação e perfis de solo.

Identificação	Ct. (mm)	Pn. (mm)	Grupo MCT	Expansão (%)	
Am.50.1 hz.B, marrom, tx.G'	1,93	1,65	LG'	B	< 0,5
Am.51: [0-40], vermelho, tx. G'	2,18	0,42	LG'	B	< 0,5
Am.52.2 [15-65], marrom claro, tx.G'	1,83	0,07	LG'	B	< 0,5
Am.52.3 [65-85], marrom escuro, tx.G'	1,60	0,09	LG'	B	< 0,5
Am.54.1 [0-30], vermelho, tx.G'	2,18	0,45	LG'	B	< 0,5
Am.54.2 [30 - 50], rosa, tx.G'	2,09	0,87	LG'	B	< 0,5
Am.54.3 [50], rosa mais claro, tx. G'	2,01	0,74	LG'	B	< 0,5
Am.55 [0-90], amarela, tx.G'	2,15	0,09	LG'	B	< 0,5
Am.56 marrom, tx. G'	2,04	0,07	LG'	B	< 0,5
Am.57.1 [15-50], preto, tx.G'	2,16	0,04	LG'	B	< 0,5
Am.57.2 [50-80], preto mais claro, tx.G'	2,25	0,07	LG'	B	< 0,5
Am.59, superficial, marrom, tx. G'	2,13	0,06	LG'	B	< 0,5
Am.60.1 hz.B(esp~2m),J5, marrom, tx.G'	2,11	0,68	LG'	B	< 0,5
Am.61.1 hz.B(esp~0,8m), J5,marrom,tx. G'	2,16	0,21	LG'	B	< 0,5
Am.58.1, roxa, tx. S', corte 60 cm	0,99	5,98	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3
Am.58.2 roxa, tx.S', corte 150 cm	1,03	6,03	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3
Am.50.2 hz.C, roxa, tx.S'	0,95	6,23	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3
Am.60.2 hz.C(esp~5m),J5,roxa claro,tx.S'	0,77	6,07	NS'/NA'	E / B	> 3 / < 0,5
Am.61.2 hz.C(esp~2,5m), J5, roxa, tx.S'	1,15	6,18	NG' - NS'	M,E - E	< 0,5 - 3

Am: amostra; hz: horizonte, tx: textura; G': argiloso; S': siltoso.

Quadro 2: Resultados dos ensaios com solos do Morro do Ubatuba – Saibro.

Amostra	Ct. (mm)	Pn. (mm)	Grupo MCT	Expansão (%)	
74	1,59	2,33	LG'	M,E	0,5 - 3 a > 3
75	1,64	1,93	LG'	B	< 0,5
87	1,97	7,20	NG'	M,E	0,5 - 3 a > 3
73	1,41	4,72	NG'	M,E	0,5 - 3 a > 3
79	2,21	6,49	NG'	M,E	0,5 - 3 a > 3
90	1,04	6,76	NG'-NS'	B,M-M,E	< 0,5 - 3 a > 3
80	0,95	6,76	NG'-NS'	B,M-M,E	< 0,5 - 3 a > 3
70	0,77	6,83	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
71	0,82	7,03	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
72	0,67	6,57	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
76	0,77	6,75	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
78	0,58	6,43	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
82	0,59	6,80	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
83	0,67	6,89	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
84	0,76	7,20	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
85	0,63	6,77	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
86	0,69	6,64	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
88	0,77	6,78	NS'/NA'	B,M/B	< 0,5 - 3 %
77	0,70	3,03	NA'-NS'	B-B,M	< 0,5 - 3 %
81	1,18	3,60	NA'/NG',NS'	B/(M,E-B,M)	< 0,5 a > 3

A legenda adotada para a expansão é a seguinte: B: Baixa, M: Média, E: Elevada. Quanto aos valores de expansão (%), tem-se: Baixa < 0,5%; Média de 0,5 a 3%; Elevada > 3%.

Assim, a partir da identificação do grupo da classificação MCT a que pertence o solo pelo Método das Pastilhas, pode-se empregar a Tabela III.3 de Nogami e Villibor (1995) para obter dados qualitativos sobre as propriedades mecânicas e hidráulicas que são de interesse para avaliar o desempenho do solo em rodovias. Ressalta-se que essas propriedades foram obtidas com corpos-de-prova compactados nas condições de umidade ótima e massa específica aparente seca máxima, moldados com 10 golpes do soquete tipo leve da compactação mini-Proctor. Essa condição de compactação resulta em corpos-de-prova com propriedades que se assemelham àquela obtidas com o Proctor Normal. (Nogami e Villibor, 1995).

Segundo Nogami e Villibor (1995), para análise de resultados, as amostras devem ser agrupadas segundo o critério genético, a fim de que as camadas que elas a que elas pertencem possam ser delimitadas com maior fidelidade possível, utilizando-se para isso leis genéticas, geológicas e pedológicas. Observou-se nos ensaios das pastilhas que os valores de contração e penetração dos perfis de solo amostrados diferenciam-se com o desenvolvimento pedológico, como constatado por Godoy et al. (1998).

Seguindo-se esta diretriz, a partir do agrupamento genético, definiu-se que os solos representativos do Jardim Acaraí são do grupo Laterítico Argiloso (LG') no horizonte B e do grupo Não Laterítico argiloso – siltoso no horizonte C. Na jazida do Morro do Ubatuba o horizonte B é desprezível. O horizonte C, pertence ao grupo Não Laterítico Siltoso – Arenoso, saprolítico. O Quadro 3 mostra o agrupamento genético dos solos do Jardim Acaraí e Morro do Ubatuba.

Quadro 3: Resumo da Caracterização Geotécnica dos Solos da Unidade Geotécnica Cambissolo substrato Granitóides.

Jazida - Local	Unidade Geotécnica	Horizonte	Grupos de Solos
Jardim Acaraí	Cambissolo substrato granitóide – Ca1	B	LG'
Jardim Acaraí	Cambissolo substrato granitóide – Ca1	C	NG'/NS'
Morro do Ubatuba	Cambissolo substrato granitóide – Ca3	C	NS'/NA'

A partir deste agrupamento, foram definidas as três amostras de solos representativos para dar seqüência aos ensaios de laboratório: Amostra AM03-LG': Cambissolo – horizonte B – Jardim Acaraí; Amostra AM02 –NG'/NS': Cambissolo – horizonte C – Jardim Acaraí; Amostra AM01 – NS'/NA': Cambissolo – horizonte C – Morro do Ubatuba – Saibro

Na Figura 7, identifica-se os pontos de coleta em uma jazida do bairro Jardim Acaraí no horizonte B (pontos 1, 2 e 3) e no horizonte C (pontos 4, 5, 6 e 7).



Figura 7: Pontos amostrados do horizonte B: Ca1 – LG’ e horizonte C: Ca1 – NG’- NS’ (substrato granitóide). Jardim Acarai.

A Figura 8 mostra o local onde foram coletados solos superficiais e soltos da área 3 no Morro do Ubatuba.



Figura 8: Coleta de solo na Área 3 no Morro do Ubatuba, horizonte C, Ca3 – NS’/NA’.

O Quadro 4 mostra os resultados obtidos com o método das pastilhas com a respectiva classificação MCT e a expectativa quanto à expansibilidade dos solos.

Quadro 4: Resultados obtidos para os solos representativos dos três agrupamentos geotécnicos.

Amostra de Solo	Classificação MCT		Deformabilidade Ct. (mm)	Resistência Pn. (mm)	Expansão Qualitativa
	Horiz.	Grupo de solos			
AM03	B	LG’	1,6 a 2,25	0,04 a 1,65	B
AM02	C	NG’-NS’	0,77 a 1,15	5,98 a 6,23	M/E - E
AM01	C	NS’/ NA’	0,58 a 0,95	6,43 a 7,20	B – B/M

ENSAIOS TRADICIONAIS DE CARACTERIZAÇÃO

Com as mesmas amostras foram realizados também ensaios tradicionais de caracterização geotécnica com objetivo de confrontar com os resultados obtidos com o Método das Pastilhas. O Quadro 5 mostra a caracterização completa para as três amostras de solo dos ensaios tradicionais.

Quadro 5: Ensaios de caracterização e classificação HRB e USC.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_{\text{grão}}$ KN/m ³	NBR 6502/95 Granulometria (%)						HRB (IG)
					A	S	AF	AM	AG	Cs	
AM03	66	46	20	26,04	52,5	13,2	5,8	16,5	12	0	A-7-5(13)
AM02	45	40	5	25,14	2,8	39,7	22	19,1	16,4	0	A-5 (3)
AM01	30	25	5	26,09	0	8,5	10	15,5	38	28	A1-b(0)

A: argila $\varnothing < 0,002$ mm; S: silte 0,002 a 0,06 mm; AF: areia fina 0,06 a 0,20 mm; AM: areia média 0,20 a 0,60 mm; AG: areia grossa 0,60 a 2,00 mm; Cs: Cascalho 2,00 a 60,00 mm (ABNT 6502/95 – Solos e Rochas).

Os Quadros 6, 7 e 8 mostram as frações de solo passante nas peneiras 2mm e 0,42mm correspondente às peneiras empregadas para preparar as amostras para o ensaio das pastilhas. Também, são apresentadas as umidades ótimas de cada solo na energia Normal e Intermediária e a variação em pontos percentuais (pp) das umidades abaixo (-2pp) e acima da umidade ótima (+2pp) correspondente às expansões obtidas dos corpos-de-prova moldados.

Quadro 6: Granulometria, Compactação e Expansão AM03

%P#10 (2mm)	99,95			
%P#40 (0,42mm)	83,92			
Energia de compactação	Normal		Intermediária	
$\omega_{\text{ótima}}$ (%)	28,9		24,9	
p.p. ao redor da $\omega_{\text{ótima}}$ (-2 e +2)	-1,43	+0,41	-0,89	+1,71
Expansão (%): cilindro CBR	0,13	0,07	0,48	0,07

% P: percentagem que passa; p.p.: pontos percentuais; $\omega_{\text{ótima}}$: umidade ótima de compactação.

Quadro 7: Granulometria, Compactação e Expansão AM02

%P#10 (2mm)	100			
%P#40 (0,42mm)	82,16			
Energia de compactação	Normal		Intermediária	
$\omega_{\text{ótima}}$ (%)	22,2		19,5	
p.p. ao redor da $\omega_{\text{ótima}}$ (-2 e +2)	-0,97	+3,21	-0,24	+2,29
Expansão (%): cilindro CBR	3,50	2,05	4,90	4,10

% P: percentagem que passa; p.p.: pontos percentuais; $\omega_{\text{ótima}}$: umidade ótima de compactação.

Quadro 8: Granulometria, Compactação e Expansão AM01

%P#10 (2mm)	71,62			
%P#40 (0,42mm)	29,45			
Energia de compactação	Normal		Intermediária	
$\omega_{\text{ótima}}$ (%)	11,51		9,71	
p.p. ao redor da $\omega_{\text{ótima}}$ (-2 e +2)	-2,75	+0,95	-0,86	0,98
Expansão (%): cilindro CBR	0,02	0,00	0,04	0,00

% P: percentagem que passa; p.p.: pontos percentuais; $\omega_{\text{ótima}}$: umidade ótima de compactação.

CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados foi verificado que o MP pode ser empregado com eficiência para a classificação dos solos tropicais e para avaliação da deformabilidade, resistência e expansão.

Foi verificado que o grupo de solo LG' é um solo de maior deformabilidade que os demais, ou seja, este apresentou maiores valores de contração. Também, como constatado por Godoy e Bernucci (2000), verificou-se nas amostras da pesquisa que “a contração diametral reflete o efeito da granulometria e da plasticidade no comportamento dos solos separando, desta forma, os solos de comportamento plástico (argilosos) dos não – plásticos (arenosos)”. Verificou-se ainda que os solos de comportamento laterítico diferenciam-se dos não-lateríticos por apresentarem contração elevada, penetração baixa e não apresentarem inchamento vertical.

A propriedade de *Resistência* está relacionada com a penetração do penetrômetro padrão. O solo LG' apresentou menor penetração em comparação com solos de comportamento não-laterítico. No ensaio tradicional de resistência, avaliado através do ensaio CBR, obteve-se para a AM03 (horizonte B - LG') valores de CBR de 7% (energia Normal) e de 14% (energia Intermediária), enquanto que para a AM02 (horizonte C - NG'-NS'), obteve-se valores de CBR de 3,6% (energia Normal) e de 4,9% (energia Intermediária). Pode-se observar que o horizonte B apresentou no ensaio tradicional de resistência valores maiores que o horizonte C, condizente com o que foi obtido com o ensaio das pastilhas. Assim, pode-se afirmar que o MP ser empregado na avaliação qualitativa de resistência do material aplicado na construção do pavimento, pois houve uma correspondência entre a penetração e resistência para solos com mais de 80% passando na peneira 0,42mm.

A *Expansão* dos solos pela metodologia MCT pode ser atribuída qualitativamente empregando-se a Tabela 2.1 de Nogami e Villibor, 1995, obtendo-se uma correspondência com a expansão obtida no ensaio tradicional de CBR. Com relação à *expansão* estimada pelo MP em comparação ao procedimento tradicional verificou-se que para as amostras AM03 e AM02, oriundas do horizonte B e horizonte C bem intemperizados (com 80% passante na #0,42mm), houve uma correspondência entre a penetração do penetrômetro padrão de 10g e a expansão obtida no ensaio tradicional. Ou seja, o solo do horizonte C, que teve maior penetração, apresentou maior expansão, enquanto que o solo do horizonte B, que teve menor penetração apresentou maior resistência. Para a amostra AM01 (saibro, pouco evoluído), com 29,45% da fração total da amostra passante na #0,42mm, não houve uma correspondência entre a penetração pelo MP e a expansão do solo pelo procedimento tradicional, ou seja, os 71,55% restante da fração da amostra total pode ter contribuído na não avaliação desta propriedade. Pode-se afirmar, então, que para solos mais grosseiros o Método das Pastilhas, que avalia o comportamento do solo a partir da caracterização da fração fina, não é capaz de estimar o comportamento da amostra como um todo.

Portanto, os resultados pelo MP evidenciam que as propriedades de interesse à pavimentação podem ser avaliadas adequadamente empregando esta metodologia quando os solos predominantemente finos oriundos de perfis bem evoluídos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GODOY, H. e BERNUCCI, L.L.B. Caracterização de Propriedades Geotécnicas de Solos Realizada no Próprio Campo e de Maneira Expedita. In.: *Anais da 32ª Reunião Anual de Pavimentação*, Brasília/DF, 2000.

FORTES, R.M, ZUPPOLINI Neto, A. e MERIGHI, J.V. Proposta de Normalização do Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais. In: 11ª Reunião Anual de Pavimentação. ABPV. Porto Alegre, RS. 2002a.

FORTES, M.R, MERIGHI, J.V. e ZUPPOLINI Neto, A. Método das Pastilhas para Identificação Expedita de Solos Tropicais. In: *2º Congresso Rodoviário Português*. Lisboa, Portugal, 18 a 22/novembro,2002b.

FORTES, M.R; MERIGHI, J.V. The Use of MCT Methodology for Rapid Classification of Tropical Soils in Brazil. In: *International Journal of Pavements*. IJP 2003, vol.2, nº. 3, September, 2003.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. São Paulo: Villibor, 1995. 188p.

NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F. Modificações Recentes na Classificação Goetécnica MCT. *Anais da 34ª RAP. Reunião Anual de Pavimentação*. Campinas/SP, 2003.