



Promoção:

IPT/DIGEO

Caixa Postal: 7141

01064-970 São Paulo SP

Tel: (011) 268.2211 r. 361

Fax: (011) 819.0661

PATROCÍNIO:



**PETROBRAS**



Rio de Janeiro, set/96

Volume 1

8<sup>o</sup>

CONGRESSO  
BRASILEIRO  
DE  
GEOLOGIA  
DE  
ENGENHARIA

SFS  
19/1/96

# PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DA REGIÃO DE SÃO CARLOS-SP

A 282 p

René Levy Aguiar <sup>1</sup>Nilson Gandolfi <sup>2</sup>

## RESUMO

O estudo de caracterização geotécnica, importou uma superfície de 186 km<sup>2</sup>, e abrangeu área em torno da cidade de São Carlos - interior de São Paulo.

A visão propiciada pelo trabalho de AGUIAR(1989) permitiu uma análise conjunta da porção mapeada e fundamentou o acréscimo de novas unidades geotécnicas. Da edificação dessas unidades, à elaboração dos documentos cartográficos - em escala final 1:25.000, analisaram os dados preexistentes, sumariando-se as investigações anteriores sobre a região, relacionando os resultados das pesquisas e os comparando com os encontrados neste estudo.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos que recobrem as rochas da área estão posicionados indistintamente, quer em discordância erosiva sobre as demais unidades quer desenvolvendo perfis de alteração sobre as rochas das quais são originados.

Com base nas referências de MELO & PONÇANO(1983), nos comentários de BORTOLUCCI(1983) e nos dados obtidos em campo, pode-se associar linhas de seixos a dois eventos, segundo AB'SABER(1969): os níveis situados nas áreas de maior elevação são relativamente mais antigos, sendo considerados como correlativos das várias fases de clima seco, tendo suas deposições controladas por contatos litológicos ou estruturas tectônicas; as linhas mais recentes, vinculadas às vertentes da topografia atual, são atribuídas às duas últimas fases de clima seco no final do Pleistoceno.

Coberturas aluvionares e coluvionares, provavelmente holocênicas, são observadas em várias partes da área, tais como nos alúvios desenvolvidos ao longo

Contribuição Técnica ao 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia; Rio de Janeiro, RJ; setembro, 1996.

<sup>1</sup> UTAM e EESC/USP - Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Depto. de Geotecnia, São Carlos-SP, Fone (0162)74-9238

<sup>2</sup> EESC/USP e UNESP/Rio Claro - Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Depto. de Geotecnia, São Carlos-SP, Fone (0162)74-9238

SYSNO	908823
PROD	000084
ACERVO EESC	

908823

221196

4.08.10.30-0

3.22.02.00-1

4.08.01.01-1



das principais drenagens que integram as bacias do Moji-Guaçu e do Jacaré-Guaçu e nos colúvios posicionados nos sopés das encostas mais íngremes.

## 2. TIPOS DE MATERIAIS

Utilizando-se das informações obtidas, foi possível o estabelecimento de nove unidades de materiais inconsolidados, que foram subdivididas em dois grupos:

**Materiais Residuais** - correspondem aos materiais provenientes da alteração das rochas sem que tenham sofrido qualquer tipo de transporte, isto é, se mantiveram sobre a rocha-matriz, a saber: Residuais do Botucatu, Residuais dos Magmatitos Básicos e Residuais do Bauru.

**Materiais Transportados** - correspondem aos que apresentam indícios de retrabalhamento e de transporte significativo e os orgânicos; foram subdivididos em materiais: Arenoso I, Arenoso II, Arenoso III, Aluvionar, Coluvionar e Orgânico.

### 2.1 Descrição dos Tipos

Este tópico abrange comentários sobre as características morfológicas, físicas e, mais raramente, químicas, assim como a respeito de sua rocha-matriz. Tais observações se baseiam na análise dos resultados de ensaios laboratoriais realizados durante o trabalho, em trabalhos prévios, bem como na interpretação dos perfis de sondagens existentes.

As propriedades estimadas foram conseguidas a partir dos métodos sugeridos por ZUQUETTE(1987); contudo, devem ser encaradas com a devida cautela, vez que, em sua grande maioria, tais métodos não são muito adequados às peculiaridades dos materiais de regiões tropicais. Tabuladas e analisadas as informações, confeccionou-se o Mapa de Materiais Inconsolidados da Figura 1.

#### 2.1.1 Residual do Botucatu (R. JKb)

Esta unidade se encontra representada por estreitas faixas em diversos pontos da área e é de difícil enquadramento no mapa de materiais inconsolidados, vez que as espessuras observadas não ultrapassam a 2,0 m. É mais comum a exposição direta da rocha, com a quase ausência de cobertura inconsolidada mapeável na escala adotada. Recebe esta denominação por ser única e exclusivamente oriunda dos litótipos da Formação Botucatu.

As informações inerentes aos materiais são decorrentes do levantamento em campo e da análise de algumas poucas amostras coletadas, cujos resultados demonstram, claramente, insignificantes variações; as cores secas amareladas vão de 2,5YR 6/2 a 10YR 8/1 e as úmidas de 2,5YR a 10YR 7/2 (Notação de

Munsell); há total predominância da areia, particularmente a areia fina e quando somada com a areia média, nunca é inferior a 75%.

Diversos portos de areia explotam estes materiais, associados aos da unidade Material Arenoso I (item 2.1.4), para emprego direto na construção civil. À exceção de duas amostras, que destoam das outras, uma por apresentar 20% de finos e a segunda pela presença significativa de pedregulho (10%), o comportamento geral do material é muito similar, com a massa específica dos sólidos em torno de  $2,64 \text{ g/cm}^3$ , ausência de plasticidade e a umidade higroscópica muito baixa, entre 0,6% e 6,0%.

O índice de vazios também exibe valores relativamente pequenos, máximo de 0,74 (na amostra com pedregulho) e médio de 0,51, possivelmente como influência única da remobilização do cimento silicoso; a massa específica seca do material fica, em média, próxima a  $1,69 \text{ g/cm}^3$ .

Mineralogicamente o quartzo é o constituinte principal, aproximadamente 90%, seguido por alguns minerais de argila originados dos feldspatos e micas presentes no arenito, com domínio da caulinita. A capacidade de troca catiônica, considerando-se esta composição mineralógica e os dados oriundos de material bastante similar, **Material Arenoso I**, deve estar próximo a  $18,0 \pm 8,0 \text{ e.mg/100g}$  de argila, permanecendo o pH por volta de 5,0.

A partir dos resultados laboratoriais, pôde-se estimar um coeficiente de permeabilidade entre  $10^{-4} \text{ cm/s}$  e  $10^{-2} \text{ cm/s}$  ou mesmo superior, ausência de expansibilidade e compactidade variando de mediana a muito compacto, enquanto pelo índice de atividade as argilas são inativas.

No Sistema Unificado de Classificação dos Solos os materiais agrupam-se entre os tipos SP a SC com predomínio das areias mal graduadas. Pela HRB enquadram-se do grupo A-1b ao A-2-4, passando com frequência pelo A-3. Provavelmente, os materiais da unidade Residual do Botucatu se posicionariam no campo NA da classificação MCT, pois muito se assemelham com os da Material Arenoso I (item 2.4.1).

#### 2.1.2 Residual dos magmatitos básicos (R. JKsg)

Os materiais provenientes da decomposição das rochas básicas estão representados em todos os quadrantes da área em questão, relacionados tanto aos corpos hipoabissais quanto aos extrusivos. Em fotografias aéreas, apresentam tonalidades escuras de cinza e textura lisa, aspectos que os diferenciam dos demais.



Granulometricamente, domina a faixa argilosa, com boa participação da areia fina, em cuja composição mineralógica sobressaem os opacos - magnetita e ilmenita. Este predomínio varia com a profundidade, passando a fração argila, normalmente em torno dos 5,0 m, a ser superada de maneira discreta pelo silte, até se alcançar o substrato rochoso.

As colorações não demonstram grandes oscilações, situando-se, pela notação de Munsell, nas cores avermelhadas entre 10R 3/4 a 5YR 5/6 (cor seca) e 10R 3/3 a 5YR 4/6 (cor úmida). Outras características, ao contrário, exibem variações consideráveis: para a massa a  $3,00 \text{ g/cm}^3$ ; os resultados do índice de plasticidade vão de não plásticos a até 20%, permanecendo os índices mais freqüentes em torno dos 10%; o maior limite de liquidez constatado foi de aproximadamente 56%, enquanto a média ronda os 45%.

De um modo geral, a determinação do índice de vazios mostrou valores indo de 0,80 a 1,60, estando a massa específica seca do material entre  $1,13 \text{ g/cm}^3$  e  $1,65 \text{ g/cm}^3$ . O ensaio de resistência à penetração (SPT) apresenta, também, grande variação, indo de 2 golpes até impenetrável, aumentando tanto com a profundidade.

Tais diferenças estão intrinsecamente relacionadas às espessuras do material, principalmente naquelas superiores a 5,0 m. A aproximação do substrato rochoso desta unidade provoca não somente maior valor de SPT, diminuição da porosidade e da susceptibilidade à colapsividade (VILAR *et al.*, 1981), mas, também, modificações dos demais valores naturais. Isso é propiciado pela sobrecarga do material superposto e, de forma bem marcante, pelo menor grau de alteração nas proximidades da rocha. As espessuras da unidade enquadram-se entre as classes de 0-2 m até 5-10 m.

A composição mineralógica engloba argilominerais (destacando-se a caulinita), quartzo, óxidos de ferro - magnetita e ilmenita, além de feldspatos, limonita e zircão.

Os coeficientes de permeabilidade, para as porções mais afastadas do substrato rochoso (porosa), giram ao redor de  $10^{-3} \text{ cm/s}$ , diminuindo gradativamente até  $10^{-5} \text{ cm/s}$  ou menor, conforme se aprofunda no perfil. Estima-se um índice de compressão mínimo da ordem de 0,3 e o máximo próximo a 0,7.

Com base na composição mineralógica, no índice de atividade das argilas, no ensaio de perda por imersão e na capacidade de troca catiônica, pode-se, com boa segurança, prever a não expansibilidade desses materiais.

Segundo as sondagens, a resistência dos materiais apresentam variações para a coesão entre 0,03 MPa a 0,28 MPa; o ângulo de atrito efetivo entre  $20^\circ$  a  $30^\circ$  e o módulo de deformabilidade se encontra por volta de 12 MPa.

Dados originados do trabalho de OLIVEIRA & PRADO(1984) mostram resultados da capacidade de troca catiônica com grandes variações, desde 2,2 e.mg/100g a 7,2 e.mg/100g de TFSA, com média de 4,2 e.mg/100g; estes valores sobem para 4,1 e.mg/100g a 17,6 e.mg/100g, quando calculados para 100 gramas de argila (média de 8,8 e.mg/100g de argila). Nesta unidade inclui-se, da pedologia, os Latossolos Vermelho-Escuros e Roxos, Terra Roxa Estruturada e o Litólico de Basalto.

De acordo com os ensaios de Proctor Normal, realizados por ZUQUETTE(1981) e pelo DER, obteve-se a massa específica seca máxima entre  $1,38 \text{ g/cm}^3$  (em pontos próximos aos limites da área) e  $1,67 \text{ g/cm}^3$ , com respectivas umidades ótimas de 39,7% a 23,4%. O índice de atividade demonstrou serem as argilas todas inativas.

Apesar das variações apresentadas, a maior parte das amostras se enquadra, pelo Sistema Unificado, no grupo CL (64%), observando-se também o SM (14%), o MH (10%), o ML (6%) e o SC (6%) - a classificação como SM e SC é decorrente da grande quantidade de óxidos de ferro encontrados na fração areia fina. Pela HRB, 40% das amostras permaneceram no grupo A-7-5 e as restantes distribuídas quase equitativamente nos grupos A-4, A-5 e A-6, com apenas uma, das trinta e seis amostras ensaiadas, no A-2-4. Na classificação MCT, todas as amostras ensaiadas se posicionaram próximas ao limite entre as classes LA', LG' e NG'.

### 2.1.3 Residual do Bauru (R. Kb)

Onde ocorrem estes materiais, as espessuras permanecem na classe de 0-2 m. Em termos granulométricos, vão de areia fina a média até argila arenosa, com presença significativa de silte (4,6% a 25,9%) e de pedregulho (até 11,7%). As colorações também variam bastante, de avermelhadas a esbranquiçadas, indo de 10R 5/6 a 5YR 4/6 quando secas e de 10R 5/6 a 2,5YR 5/2 - úmidas, com manchas variegadas, citadas comumente nas descrições dos perfis de sondagens.

A massa específica dos sólidos varia de  $2,60 \text{ g/cm}^3$  a  $2,80 \text{ g/cm}^3$ , o índice de vazios de 0,74 a 1,06, e a massa específica seca do material, em média, é de  $1,60 \text{ g/cm}^3$ ; os limites de consistência variam de não plásticos até índice de plasticidade de 17%. Nos ensaios realizados por BORTOLUCCI(1983) e



ZUQUETTE(1981), a massa específica seca máxima está entre  $1,52 \text{ g/cm}^3$  e  $1,92 \text{ g/cm}^3$ , permanecendo a umidade ótima entre 13,0% e 25,8%.

Dados estimados do coeficiente de permeabilidade apresentam grandes variações, desde  $10^{-5} \text{ cm/s}$  até maiores que  $10^{-2} \text{ cm/s}$ , valores estes encontrados para materiais com quantidades mais expressivas de finos e pedregulhos.

Avalia-se ainda um comportamento não expansivo, tanto pela mineralogia, com quartzo (predominante), feldspatos e argilo-minerais caulínicos, quanto pela capacidade de troca catiônica (em torno de 22,5 e.mg/100g de argila) e pelo índice de atividade das argilas (inativas). No tocante ao grau de compactidade, o material oscila entre pouco compacto a compacto.

Pela Classificação Unificada, os materiais se agrupam entre os tipos SM e MH, inclusive com presença de pedregulho. Os grupos A-2-4, A-5 e A-7-5/6 são verificados na HRB.

#### 2.1.4 Material arenoso I (Ar. I)

Na área e onde predominam os sedimentitos da Formação Botucatu, que lhes dão origem, ocorre um material francamente arenoso, com insignificante contribuição das unidades Serra Geral e Bauru e que foi denominada de Arenoso I.

Tal material apresenta relativa homogeneidade em suas características físicas, mecânicas e químicas, tanto em superfície quanto em profundidade; está intimamente relacionado à unidade pedológica Areia Quartzosa Profunda. Tem espessuras entre as classes 2-5 m e 10-20 m e exibe, em fotografias aéreas, tonalidades claras, geralmente esbranquiçadas, escassez de drenagem superficial, sendo freqüente a presença de voçorocas.

Tipificado por sua granulometria, pois em nenhuma das amostras ensaiadas neste estudo o total de finos ( $< 0,074 \text{ mm}$ ) ultrapassou 15,0%, possui como faixa dominante a da areia fina a média, com a presença constante da areia grossa - que o caracteriza como não plástico.

O valor médio para a massa específica dos sólidos é de  $2,65 \text{ g/cm}^3$  com alterações não superiores a  $\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ , permanecendo a umidade higroscópica em níveis muito baixos, não mais do que 3,0%. Para o índice de vazios, são observados resultados entre 0,54 a 0,86, percebendo-se com nitidez que os resultados abaixo de 0,65 decorrem freqüentemente do aumento significativo da profundidade. A massa específica seca do material, por sua vez, oscila entre  $1,42 \text{ g/cm}^3$  a  $1,79 \text{ g/cm}^3$ ; e dos ensaios de compactação

(Proctor Normal) executados por ZUQUETTE(1981) e pelo DER, têm-se valores de massa específica seca máxima entre  $1,84 \text{ g/cm}^3$  e  $2,07 \text{ g/cm}^3$ , com umidades ótimas de 7,5% a 15,8%.

As colorações amareladas são as mais comuns e variam, na notação de Munsell, entre 2,5YR 4/6 a 2,5Y 7/2 (cor seca) e 2,5YR 2,5/4 a 2,5Y 5/2 (cor úmida), sendo a quantidade de finos responsável pelos tons avermelhados, em vista da proximidade dos corpos básicos.

Possuem composição mineralógica simples, quase exclusivamente representada pelo quartzo, tendo como segundo mineral a caulinita e, em pequenas proporções, os óxidos de ferro. A respeito disso, OLIVEIRA & PRADO(1984) acharam valores da capacidade de troca catiônica variando de 8,7 e.mg/100g a 31,1 e.mg/100g de argila (relativamente elevado), tendo um pH entre 4,8 a 5,0; o índice de atividade para as argilas sugere a inatividade das mesmas.

Os valores de SPT variam de 1 até o máximo de 31; porém, o intervalo mais representativo varia de 2 a 9, até os primeiros 5,0 m, e de 5 a 27, para níveis abaixo da mencionada cota. Com base nos dados apresentados e pelos resultados de ensaios *in situ*, o coeficiente de permeabilidade mínimo e mais comum é da ordem de  $10^{-3} \text{ cm/s}$ . Quanto à compactidade, são considerados como fofos a mediantemente compactos, não são expansivos e apresentam valores do índice de compressão entre 0,2 e 0,5, com ângulo de atrito efetivo de  $25^\circ$  a  $40^\circ$  e módulo de deformabilidade de 4,9 MPa a 14,0 MPa.

Pelas classificações usadas verificam-se, na Unificada, os grupos - em ordem decrescente de resultados: SM, SP-SC e SP-SM; entretanto, na HRB, ocorre o amplo predomínio do grupo A-2-4. Pela MCT todas as amostras permanecem ao campo NA, sendo pouco possível o material ser introduzido em outra classe, tendo em vista a alta perda por imersão e a pequena quantidade de finos.

Assim como os materiais residuais do Botucatu, este material é explotado em portos de areia para utilização direta na construção civil.

#### 2.1.5 Material arenoso II (Ar. II)

Trata-se de unidade situada nas áreas de ocorrência do Arenito Botucatu, nas proximidades dos magmatitos básicos, razão pela qual exibe maiores teores de finos que a unidade Ar. I, sendo este, um dos principais critérios distintivos entre as duas, pois provoca diferenças nas demais propriedades.

As espessuras desta unidade se posicionam entre as classes 5-10 m a 10-20 m e, em fotos aéreas, mostram tonalidades claras de cinza, marcando, com



freqüência, as porções mais elevadas do relevo, cujas feições exibem perfis de encostas e curvas de nível convexas.

Em termos de distribuição granulométrica, a heterogeneidade é significativa, quando as percentagens de finos variam de um mínimo de 15,0% ao máximo de 36,4%, sendo que permanecem majoritariamente entre 20,0% a 30,0%; entretanto, não exibem grandes modificações em profundidade, ocorrendo comumente níveis de seixos; as colorações apresentam variedades avermelhadas e amareladas, mostrando para as cores secas as notações 5YR 6/4 a 7,5YR 5/4 e para as úmidas, 10R 3/6 a 7,5YR 4/6.

Outras características naturais também apresentam valores que se enquadram em pequenos intervalos: a massa específica dos sólidos varia de 2,61 g/cm<sup>3</sup> a 2,70 g/cm<sup>3</sup>, a umidade higroscópica é relativamente baixa, porém sempre superior a 3,5% e inferior a 10,0%; o índice de vazios oscila de 0,69 a 0,91, sendo em média próximo a 0,78, enquanto a média da massa específica seca do material é igual a 1,52 g/cm<sup>3</sup>, oscilando entre 1,43 g/cm<sup>3</sup> a 1,69 g/cm<sup>3</sup>. Para os limites de consistência, apesar de serem comuns os materiais Não Plásticos, exibem alguns limites de liquidez até 39% e índices de plasticidade alcançando os 12%. Os resultados de Proctor Normal mostram valores de massa específica seca máxima em torno de 1,95 g/cm<sup>3</sup>, com umidade ótima de 13,5%.

Na composição mineralógica, o quartzo ocupa papel de destaque, com mais de 90%, seguido da caulinita e magnetita; segundo dados obtidos junto ao Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, outro mineral pesado bastante freqüente é o zircão. De acordo com as informações adquiridas, a capacidade de troca catiônica média para esta unidade é de 13,2 e.mg/100g de argila e o pH gira em torno dos 4,7 ± 0,7.

Os valores de SPT entre 2 e 9 são os mais freqüentes, verificando-se que nos primeiros 3,0 m estes não ultrapassam a 6 - em geral de 2 a 4; aumentam gradativamente com a profundidade, chegando a atingir, entre os 5,0 m e 10,0 m, índices variando de 5 a 14; abaixo destas cotas, podem apresentar valores superiores a 30.

Agrupado como fofo a mediantemente compacto, este material revela, nos ensaios de permeabilidade em campo, coeficientes na ordem de 10<sup>-5</sup> cm/s, podendo chegar a 10<sup>-3</sup> cm/s ou maiores. Estima-se, para o mesmo, ausência de expansibilidade, índice de compressão entre 0,3 e 0,5, com o ângulo de atrito interno entre 20° e 35°, estando o módulo de deformabilidade entre 4,9

MPa a 10,7 MPa. Finalmente, pelo índice de atividade, as argilas se apresentam como **inativas e não expansivas**.

Segundo as das diversas classificações, obtiveram-se os seguintes resultados: **Sistema Unificado** - apresentou amplo domínio do grupo SM (77%), sendo raros os grupos SC- SM e SC; **HRB** - a não ser por uma única amostra posicionada no grupo A-6, todo o restante do material enquadrou-se no A-2-4; **MCT** - analisados com certa flexibilidade, os materiais estão sempre próximos aos limites do campo LA', sendo normalmente levados aos grupos dos não-lateríticos, quando da menor presença da fração argilosa que, via de regra, aumenta os percentuais de perda por imersão.

No total, ocupa aproximadamente 10,0 km<sup>2</sup> e tem servido de material de empréstimo para muitas rodovias vicinais.

#### 2.1.6 *Material arenoso III (Ar. III)*

Essa unidade ocupa a maior extensão da área mapeada, atingindo cerca de 60,0 km<sup>2</sup>, coincidindo quase integralmente com os limites do relevo de Colinas Médias e da unidade pedológica Canchim (Latossolo Vermelho Amarelo).

Este material inconsolidado é predominantemente areno-argiloso e sofreu influência de todas as unidades geológicas integrantes da área. Apresentam, em fotografias aéreas, tons de cinza médios e, em termos comparativos, maior densidade de drenagem superficial.

Exibe relativa homogeneidade, tanto ao longo da superfície quanto em profundidade e possui todas as classes de espessura propostas por ZUQUETTE(1987) para a escala adotada. São freqüentes, ainda, linhas de seixos em profundidades variadas, dos 2,5 m aos 8,0 m, com espessuras de 0,1 a 0,5 m; apesar destas linhas estarem comumente marcando o contato superior dos sedimentitos do Grupo Bauru, que serve de principal substrato para a unidade, foram observadas, em diversos pontos e sondagens, distâncias de até 1,5 m entre estes níveis grosseiros e o topo daquela unidade litoestratigráfica.

À semelhança do que ocorre nas duas outras unidades arenosas, a fração granulométrica predominante é a areia fina e o total de finos nunca é inferior a 27%. Dos 3,5 m aos 5,0 m de profundidade, a fração siltosa passa a apresentar percentuais mais elevados do que os da argila (principal fino em toda a unidade), formando lentes ou delgadas camadas areno-siltosas. Em alguns raros pontos e em perfis de sondagens, verificam-se valores superiores a 50%, sobretudo nas proximidades dos magmatitos básicos, mas constituem exceção.



Tais materiais possuem colorações amarelo-avermelhadas, nos matizes 2,5YR, 5YR, 7,5YR e 10YR, tanto para cores secas quanto úmidas. Mineralogicamente, são compostos por quartzo, em maioria, caulinita, magnetita e outros opacos. A capacidade de troca catiônica varia entre 5,2 e.mg/100g a 22,1 e.mg/100g para 100 gramas de argila, estando o pH por volta de 4,9.

Obteve-se, para a massa específica dos sólidos, um mínimo de  $2,56 \text{ g/cm}^3$  e máximo de  $2,83 \text{ g/cm}^3$ ; o primeiro valor se deve à presença de matéria orgânica e o outro às concreções lateríticas (comuns nesta unidade) e/ou proximidade do material de alteração do derrame básico, pois os valores mais frequentes são da ordem de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ . A umidade higroscópica também apresenta intervalo expressivo, entre 4,5% e 16,3%, enquanto os limites de consistência variam de materiais Não Plásticos até médias máximas de índice de plasticidade igual a 12% e limites de liquidez de 35%.

Os índices de vazios, freqüentemente elevados, desde as porções mais superficiais do terreno até por volta de 5,0 m de profundidade, mostram variações entre 0,63 e 1,50, sendo mais comuns os resultados pouco acima de 1,00. Para a massa específica seca dos materiais, os valores oscilam de  $1,18 \text{ g/cm}^3$  a  $1,71 \text{ g/cm}^3$ . Dos ensaios de compactação tem-se que a massa específica seca máxima é, em média,  $1,80 \text{ g/cm}^3$  e a umidade ótima 17,2%.

Conforme verificado por VILAR(1979), a alta porosidade, tanto nesta quanto nas demais unidades arenosas, torna estes materiais muito susceptíveis ao colapso, sobretudo nos primeiros 4,0 m. As sondagens realizadas nesta unidade caracterizam pacotes com SPT em geral aumentando gradativamente de 2 a 9, até os 10,0 m de profundidade, havendo alguns acréscimos significativos (aproximadamente 17), com o aparecimento dos níveis siltsos, citados anteriormente e, mais ainda, se atinge linhas de seixos. Quanto ao índice de atividade, a exemplo das outras unidades, contém argilas inativas.

Com base nestes dados, nos resultados apresentados por BORTOLUCCI(1983) e nos métodos estimativos, constata-se que a permeabilidade varia de  $10^{-2} \text{ cm/s}$  a  $10^{-3} \text{ cm/s}$ ; ausência de expansibilidade; índice de compressão e o módulo de deformabilidade, apresentam valores estimados de 0,4 a 0,7 e 4,9 MPa a 9,0 MPa, respectivamente, com o ângulo de atrito efetivo próximo a  $25^\circ$ .

Quando observados os critérios das classificações empregadas, esta unidade encontra-se representada em diversos grupos. Na Unificada, 63% das amostras foram posicionadas no grupo SM, 24% no SC 8% como sendo SC-

SM e as 5% restantes dentro do grupo CL. Também em termos percentuais, no tocante à HRB, 41% caíram no grupo A-4, 31% no A-2-4, 19% no A-6 e os 9% restantes distribuídos igualmente entre os grupos A-2-6, A-2-7 e A-7-6.

Na classificação MCT, estão melhor representadas no campo LG', podendo algumas vezes sofrer deslocamentos para o LA'.

### 2.1.7 Material aluvionar (Aluv.)

Esta unidade compreende materiais formados pela sobreposição de camadas sedimentares muito recentes, de natureza bastante heterogênea.

Ocupa locais de baixa declividade (0 - 2%), próximos aos córregos que são responsáveis pela deposição dos diversos materiais, sobretudo na porção sul da área; possui espessuras variadas e de difícil determinação.

Apresenta tonalidades claras, principalmente nos matizes 10YR ou 7,5YR e textura francamente arenosa, valendo ressaltar os elevados teores de finos, de pedregulhos, em alguns pontos, sobretudo ao longo do Rio Monjolinho, e freqüente presença de matéria orgânica.

As características físicas são similares à unidade Material Arenoso I, exceção feita à distribuição granulométrica, pode ser facilmente classificada como de compacidade fofa a pouco compacta, exibe permeabilidade superior a  $10^{-3} \text{ cm/s}$  e ausência de expansibilidade.

### 2.1.8 Material coluvionar

A presente unidade engloba dois tipos de materiais bastante distintos: Coluvionares dos Magmatitos Serra Geral (C. JKsg) e Coluvionares do Arenito Botucatu (C. JKb).

Ambos dispõem-se nas encostas das maiores escarpas sub-verticais, que aparecem com declividades superiores a 15% e possuem espessuras maiores do que 10,0 m. A distinção que se faz entre as duas sub-unidades diz respeito a maior contribuição do basalto ou do arenito, pois à exceção do colúvio da área da Fazenda Canchim, todos os demais apresentam participação significativa ou de um ou do outro litótipo.

O material coluvionar do Botucatu, de cromas e valores variados dentro do matiz 7,5YR, exibe como classe de declividade predominante a de 5 - 10%, é composto basicamente por alto percentual de areia fina quartzosa, com presença marcante de finos, blocos de arenito e de basalto em menor quantidade. Possui alta permeabilidade, acima de  $10^{-3} \text{ cm/s}$ , e quanto à compacidade varia de fofa a pouco compacta.



Ao contrário, o material coluvionar do basalto mostra colorações avermelhadas (matiz 2,5YR) e granulometria onde a fração fina total é proeminente, havendo, em alguns casos, a maior participação da areia fina (minerais opacos). Verificam-se ainda elevados índices de vazios, não inferiores a 1,00, o que torna este material susceptível ao colapso, até mesmo em profundidades acima de 5,0 m. Sua consistência varia de muito mole a mole, podendo ser estimado um coeficiente de permeabilidade em torno de  $10^{-4}$  cm/s e não ocorre expansão.

### 2.1.9 Material orgânico

É encontrado em três locais e se desenvolveu em baixios topográficos; ao longo de drenagens, origina níveis estratificados; apresenta altos teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, cores acinzentadas de tonalidades médias a escuras.

Os materiais dessa unidade são pouco permeáveis, texturalmente bastante diversificados, tendo sido verificados estratos arenosos, siltosos e argilosos (dominantes), com plasticidade entre o não plástico a muito plástico. Mostram consistência variando de muito mole a mole, decorrente da quantidade da fração arenosa.

## 3. CONCLUSÃO

Durante a execução do trabalho foram constatados materiais inconsolidados, que por seus comportamentos e propriedades geotécnicas puderam ser agrupados em nove unidades homogêneas, ocupando as maiores extensões os materiais arenosos I, II e III.

De um modo geral a área apresenta poucos problemas relativos à erosão, ocorrendo este fenômeno, sobretudo, pela ocupação desordenada dos espaços e, em menor proporção, por características inerentes ao meio físico (declividade, tipo de materiais, vegetação, etc.).

Excetuando-se os locais de exposição dos magmatitos básicos e do arenito Botucatu silicificado, ou onde os materiais que os recobrem possuem pequena espessura (menor que 2,0 metros), a área exibe boas condições para possíveis escavações e instalações de obras enterradas.

## 4. BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, R.L. (1989) - Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos-SP: *contribuição ao planejamento*. EESC/USP, São Carlos-SP, Dissertação de Mestrado, 2 V.

BORTOLUCCI, A.A. (1983) - Caracterização geológico-geotécnica da região de São Carlos - SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento. EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 67 p.

MELO, M.S. de & PONÇANO, W.L. (1983) - Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no Estado de São Paulo. IPT, São Paulo - SP, Publicação nº 1364, Série Monografias nº 9, 75 p.

OLIVEIRA, J.B. de & PRADO, H. do (1984) - Levantamento semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos - II memorial descritivo. IAC, Bol. Tec. Inst. Agron., Campinas - SP, no 98, 188 p.

VILAR, O.M. (1979) - Estudo da compressão unidirecional do sedimento moderno (solo superficial) da cidade de São Carlos EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 110 p.

VILAR, O.M. et al. (1981) - Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, I, ABMS, Rio de Janeiro - RJ, Anais, V. 1, p. 209-224.

ZUQUETTE, L.V. (1981) - Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos. EESC/USP, São Carlos - SP, Dissertação de Mestrado, 2 V., 86 p.

ZUQUETTE, L.V. (1987) - Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. EESC/USP, São Carlos - SP, Tese de Doutorado, 3 V., 673 p.





*Antenor Braga Paraguassú*<sup>2</sup>

A caracterização geotécnica, objetivo do presente estudo, abrange área de 715 km<sup>2</sup>, e engloba a Folha Conchal 1:50.000 (IBGE) no Estado de São Paulo.

O trabalho desenvolvido por AGUIAR(1995) permitiu uma avaliação conjunta da área e fundamentou o acréscimo de unidades geotécnicas de materiais inconsolidados, representadas em documento cartográfico - em escala final 1:50.000. O procedimento adotado incluiu análise dos dados preexistentes, englobando-se as investigações anteriores sobre a região, e relacionando-as com os resultados encontrados através deste estudo.

Os paralelos 22° 15' e 22° 30' sul e meridianos 47° 00' e 47° 15' oeste, são os limites da área cujo mapeamento geotécnico foi desenvolvido por AGUIAR(inédito). Situa-se na porção centro-leste do estado de São Paulo e abrange superfície de aproximadamente 715 km<sup>2</sup>. Pelo levantamento topográfico realizado pelo IBGE(1971), a totalidade da área corresponde a Folha SF-23-Y-A-II-4.

A conduta adotada na realização do trabalho da região abrangida pela Folha de Conchal, não se diferencia de métodos tradicionais de mapeamento geotécnico, somados ao uso de recursos computacionais para cruzamento de dados e obtenção de produtos cartográficos.

Basicamente podem-se identificar quatro etapas distintas neste mapeamento: I) levantamento de dados e aerofotointerpretação para confecção de mapas e cartas temáticas prévios; II) trabalhos de campo; III) ensaios laboratoriais;

Contribuição Técnica ao 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia; Rio de Janeiro, RJ; setembro, 1996.

IMA/AM e EESC/USP - Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Depto. de Geotecnia, São Carlos-SP, fone (016)274-9238

<sup>2</sup> EESC/USP - Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Depto. de Geotecnia, São Carlos-SP, fone (016)274-9238