

## 2 CARACTERÍSTICAS DE DEPÓSITOS MOLES

Neste capítulo serão apresentados aspectos a respeito da formação dos depósitos moles, a sua constituição mineralógica, e alguns efeitos e influências que o processo de amostragem pode causar nos resultados dos ensaios de laboratório em amostras indeformadas desse tipo de solo. Também serão apresentadas características e parâmetros de compressibilidade de outros estudos realizados em solos moles da Baixada Fluminense, Rio de Janeiro.

Não cabe, no escopo do presente trabalho, apresentar aspectos teóricos da teoria do adensamento, pois esse assunto é clássico na Mecânica dos Solos.

### 2.1. Origem e Formação dos Depósitos Moles

O conhecimento prévio da origem e formação de um solo é importante para uma melhor compreensão de algumas de suas propriedades, como por exemplo, o seu sobreadensamento.

Os depósitos moles encontrados no litoral brasileiro são constituídos por solos de granulometria fina que se depositaram em ambientes marinhos. Do ponto de vista geológico, esses depósitos são bastante recentes, formados no Período Quaternário quando, segundo Massad (1988), ocorreram pelo menos dois ciclos de sedimentação, um no Pleistoceno e outro no Holoceno.

Estes ciclos estão diretamente relacionados com as variações do nível do mar. Há cerca de 120 mil anos (Pleistoceno) o nível marinho elevou-se em aproximadamente 8 metros, originando os sedimentos denominados de Formação Cananéia. Posteriormente, há cerca de 15 mil anos, o nível do mar abaixou em 130 metros durante o período de glaciação, onde grande parte da água do mar foi desviada para os pólos e para as regiões setentrionais da terra para a formação das geleiras e das calotas de gelo. Como consequência, houve um intenso processo de erosão que removeu parte dos sedimentos já depositados. Com o término da

glaciação, iniciou-se outro processo de transgressão marinha, há aproximadamente 6 mil anos (Holoceno), resultando em uma elevação do nível de água de 4 metros e na formação dos depósitos atuais.

De acordo com Massad (1988), após o Holoceno, o mar entrou em um processo contínuo e lento de regressão, interrompido por “rápidas” oscilações negativas de seu nível. O conhecimento dessas oscilações negativas é importante sob o ponto de vista geotécnico, pois pode justificar o leve pré-adensamento observado em algumas camadas superficiais desse tipo de solo.

## **2.2. Constituição Mineralógica**

Conforme é de conhecimento geral (e.g., Santos, 1975), os solos argilosos são constituídos essencialmente por argilominerais, podendo conter também matéria orgânica, outros minerais não considerados argilominerais, como por exemplo, o quartzo e a alumina, e outras impurezas.

Os argilominerais são constituídos por duas unidades básicas, que se associam formando folhas e se agrupam em camadas. A distância perpendicular entre essas camadas é definida como distância interplanar ou espaçamento basal. Os diversos tipos de argilominerais existentes são resultado das diferentes ligações entre essas camadas e da substituição de íons de alumina ou sílica.

As unidades básicas são:

- i) Unidade tetraédrica, que normalmente é constituída por um átomo de silício ( $\text{SiO}_4$ ) no centro e quatro de oxigênio igualmente distanciados do primeiro. A Figura 2.1 ilustra essa unidade e suas ligações formando folhas.

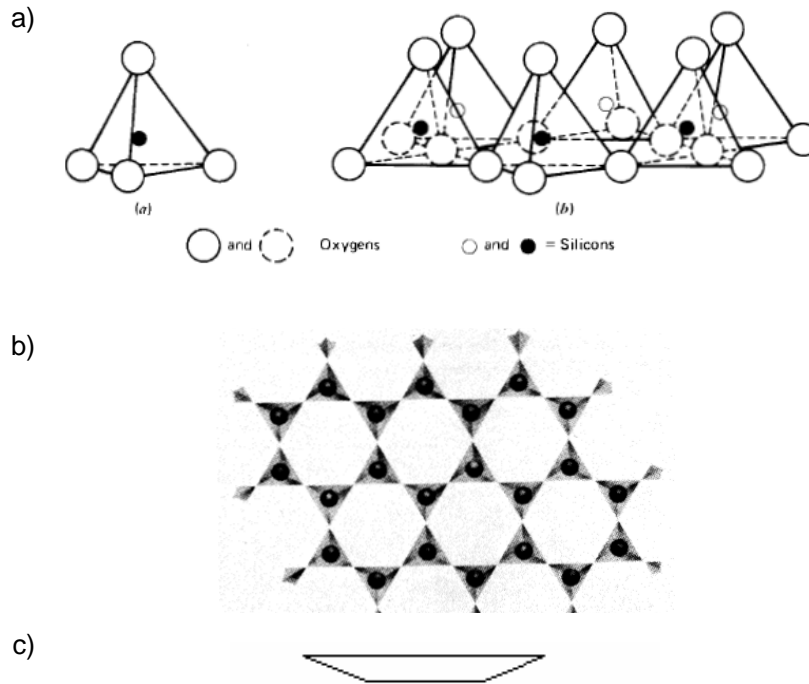


Figura 2.1 – a) Unidade e folha tetraédrica. b) Visão espacial da lâmina tetraédrica. c) Representação da unidade tetraédrica (Mitchell, 1976).

- ii) Unidade octaédrica, que geralmente é constituída por um átomo de alumina ( $Al^{3+}$ ) eqüidistante de seis de oxigênio ou hidroxilas, formando a configuração octaédrica ilustrada na Figura 2.2.

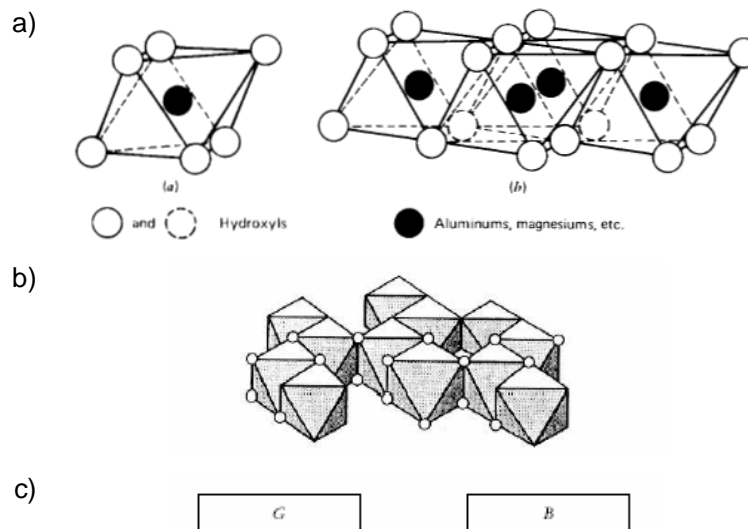


Figura 2.2 – a) Unidade e folha octaédrica. b) Visão espacial da lâmina octaédrica. c) Representação da unidade octaédrica (Alshawabkeh, 2001)

Existem três grupos de argilominerais de interesse na prática da engenharia: o da caulinita, da esmectita e da illita. A caulinita é formada pelo empilhamento de uma folha tetraédrica com uma folha octaédrica, originando estruturas de camada 1:1. É considerada uma estrutura estável, sem moléculas de água entre as camadas, tendo como propriedades baixos valores tanto de expansão como de retração.

A esmectita, argilomineral do tipo 2:1, é constituída por uma folha octaédrica entre folhas de silicato tetraédricas, unidas entre si por oxigênios comuns às folhas. Essas camadas sucessivas estão fracamente ligadas entre si e moléculas de água ou polares, de espessuras variáveis, podem entrar entre elas, chegando a separá-las totalmente. Este argilomineral quando em contato com água ou ambiente úmido pode ter o seu espaçamento basal aumentado, fazendo com que os cátions interplanares fiquem susceptíveis de serem trocados por outros cátions, formando, desse modo, novos argilominerais. Conseqüentemente, as argilas constituídas por esmectitas geralmente possuem, em elevado grau, propriedades plásticas e coloidais, e apresentam grandes variações em suas propriedades físicas (Santos, 1975).

A illita também é um argilomineral do tipo 2:1, e possui uma estrutura cristalina semelhante à da esmectita, porém, o alumínio é substituído pelo silício e o cátion neutralizante é o potássio. Como conseqüências dessas diferenças, as camadas estruturais são rigidamente ligadas e não expandem (Santos, 1975).

### **2.3.**

#### **Efeitos do Amolgamento da Amostra**

A qualidade dos processos de amostragem tem sido motivo de muita preocupação no meio geotécnico. A influência da qualidade de amostras em ensaios de adensamento é observada desde a década de 30 por Casagrande (1936), entretanto ainda vêem-se resultados de ensaios com indícios de má qualidade das amostras.

Rutledge (1944) sugere que os efeitos do amolgamento em amostras de ensaios de adensamento são:

- i) Diminuição do índice de vazios para qualquer nível de tensão efetiva. O processo de amolgamento ocorre de maneira praticamente não drenada,

e no caso das argilas moles do litoral brasileiro, que se encontram saturadas, esse processo ocorre com índice de vazios constante. Desse modo, não há deformação volumétrica no solo, mas sim distorções que destroem parcialmente ou totalmente a sua estrutura, fazendo com que se modifique, por exemplo, a relação  $e$  vs  $\sigma'_v$  no ensaio edométrico.

- ii) A história de tensões do solo (e conseqüentemente a tensão de pré-adensamento) torna-se mascarada ou indefinida;
- iii) Redução do valor estimado da tensão de pré-adensamento;
- iv) A compressibilidade é majorada na região de recompressão e reduzida na região de compressão virgem.

Martins & Lacerda (1994) acrescentaram a esta lista a influência do amolgamento na forma geométrica do trecho de compressão virgem da curva  $e$  vs  $\sigma'_v$ , ressaltando que ensaios realizados em amostras de boa qualidade apresentam esse trecho curvilíneo, enquanto que em ensaios realizados em amostras de má qualidade esse trecho apresenta-se retilíneo. Diferenças de comportamento de curvas apresentadas para amostras de boa e má qualidade já haviam sido observadas por Ferreira & Coutinho (1988). A Figura 2.3 ilustra bem tanto os diferentes comportamentos para as amostras de boa e de má qualidade, como as observações de Martins & Lacerda (1994) a respeito do trecho de compressão virgem.

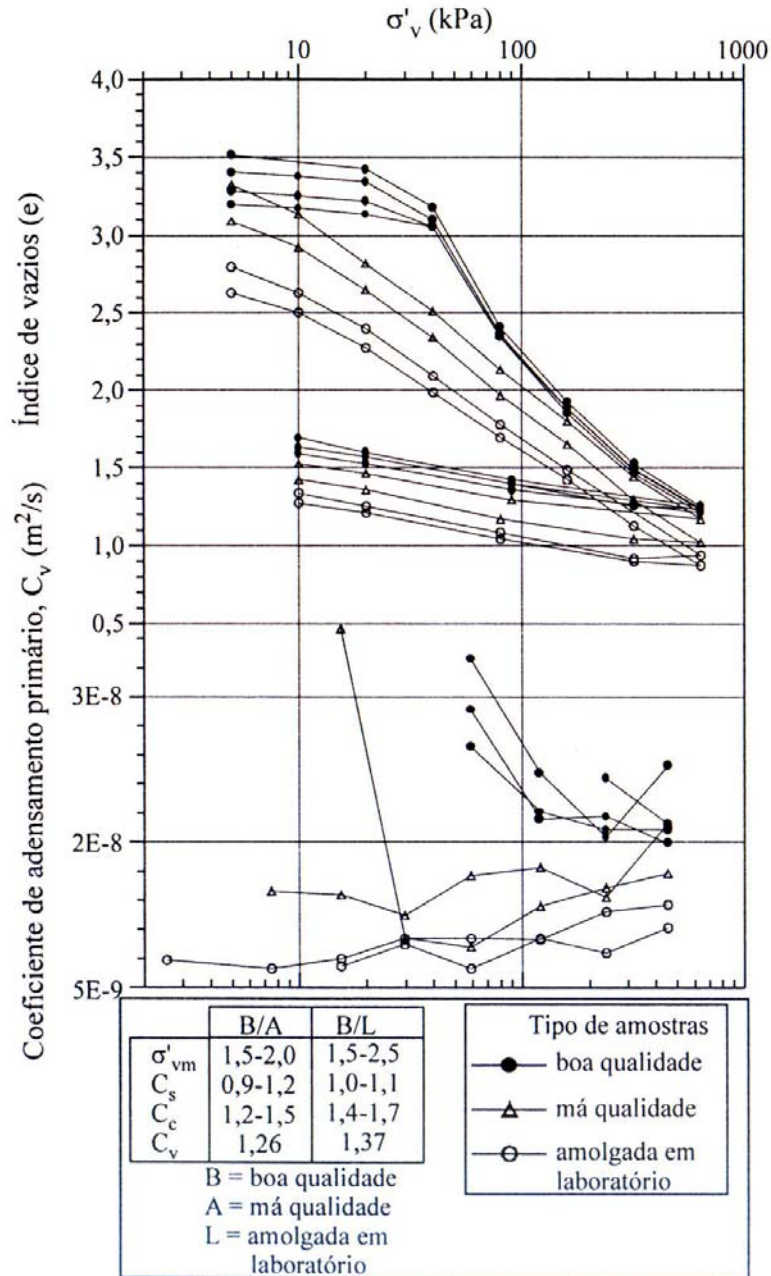


Figura 2.3 – Efeito do amolgamento durante a amostragem na compressão unidimensional da argila de Sarapuí (Coutinho, 1976)

Martins & Lacerda (1994) também realizaram um estudo visando avaliar o efeito da qualidade da amostra sobre o cálculo de recalques, e constataram que o amolgamento pode conduzir a erros da ordem de 100%. Estes erros podem ser maiores ou menores dependendo do domínio de tensões em que se esteja trabalhando.

Correia & Lacerda (1982) apresentaram a influência do amolgamento na curva  $m_v$  vs  $\log \sigma'_v$ . Esta curva, como pode ser observado na Figura 2.4, apresenta um pico na região na tensão de pré-adensamento, e quanto menor a perturbação da amostra, mais pronunciado é o máximo desta curva. Os autores também sugerem que, em amostras de boa qualidade, uma estimativa da tensão de pré-adensamento seria utilizar a pressão correspondente ao ponto médio entre o ponto de inflexão e o ponto máximo da curva  $m_v$  vs  $\log \sigma'_v$ .

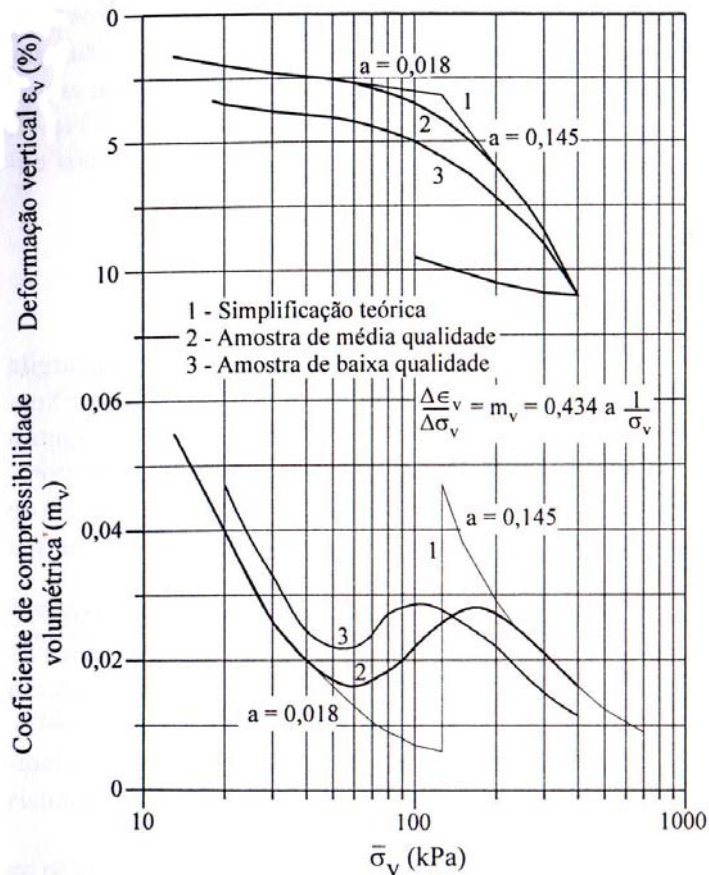


Figura 2.4 – Efeito do amolgamento na curva  $m_v$  vs  $\sigma'_v$  (Correia & Lacerda, 1982)

Lunne *et al.* (1997) propuseram uma avaliação da qualidade de amostras utilizadas em ensaios de adensamento. Esta avaliação é baseada na relação  $\frac{e_{v0} - e_0}{e_0}$ , onde  $e_{v0}$  é o índice de vazios corresponde à tensão efetiva de campo e  $e_0$  é o índice de vazios inicial do corpo de prova. A Tabela 2.2 mostra os critérios de avaliação sugeridos por Lunne *et al.* (1997) para as argilas da Noruega.

Tabela 2.1 - Critério de avaliação de qualidade de amostras (Lunne *et al.*, 1997)

| OCR   | $\Delta e / e_0$      |               |             |             |
|-------|-----------------------|---------------|-------------|-------------|
|       | Muito Boa a Excelente | Boa a Regular | Pobre       | Muito Pobre |
| 1 - 2 | < 0,04                | 0,04 – 0,07   | 0,07 – 0,14 | > 0,14      |
| 2 - 4 | < 0,03                | 0,03 – 0,05   | 0,05 – 0,10 | > 0,10      |

No Brasil, Coutinho *et al.* (1998) adaptaram o critério de Lunne *et al.* (1997) para as argilas de Recife, e posteriormente, Oliveira (2002) sugeriu que um novo critério de classificação, adaptado para a estrutura plástica das argilas brasileiras, fosse adotado. Este se encontra na Tabela 2.3 abaixo.

Tabela 2.2 – Critério de avaliação de qualidade de amostras (Oliveira, 2002)

|                  | Muito Boa a Excelente | Boa a Regular | Pobre       | Muito Pobre |
|------------------|-----------------------|---------------|-------------|-------------|
| $\Delta e / e_0$ | < 0,05                | 0,05 – 0,08   | 0,08 – 0,14 | > 0,14      |

#### 2.4. Argila Mole da Baixada Fluminense

De acordo com Antunes (1978) os depósitos moles da Baixada Fluminense são constituídos por sedimentos flúvio-marinhos, que se depositaram há cerca de 6000 anos atrás, durante o período Quaternário, nas terras baixas em torno da Baía de Guanabara. A formação desses depósitos se deu pelo carreamento de sedimentos erodidos das montanhas adjacentes transportados por rios que desembocam nas Baías de Guanabara e de Sepetiba, e por sedimentos marinhos depositados durante os períodos de transgressão e regressão marinha.

Alguns desses depósitos já foram amplamente estudados por diversos profissionais da área de geotecnia, principalmente em meados dos anos 70 até o início dos anos 90, quando a PUC-Rio e a COPPE/UFRJ, em cooperação com o IPT-DNER executaram um amplo programa experimental na região de Sarapuí envolvendo ensaios de campo e laboratório, além da construção e monitoramento de dois aterros experimentais e a execução de uma escavação instrumentada.



Existem estudos também para outras regiões de solo mole da cidade do Rio de Janeiro, tais como: Santa Cruz (Aragão, 1975; Santos, 2004), região da Rua Uruguaiana - próximo ao metrô (Vilela, 1976), Botafogo (Lins & Lacerda, 1980), Itaipu (Carvalho, 1980; Pinheiro, 1980), Juturnaiba (Coutinho, 1986), Caju (Cunha, 1988), Baixada de Jacarepaguá (Garcés, 1995) e Barra da Tijuca (Almeida, 1996) dentre outras.

Muitos desses estudos indicaram que a composição mineralógica predominante na fração argila é a caulinita, com indícios de illita e esmectita, ocorrendo também alguns minerais primários como o quartzo, a mica e o feldspato. De acordo com Antunes (1978), a coloração cinza escura desses depósitos se deve ao ambiente redutor. Apesar de serem descritas como argilas orgânicas, estes solos apresentam muitas vezes baixos teores de matéria orgânica (4 a 6,5%).

Segundo Antunes (1978), o depósito mole de Sarapuí apresenta um teor de sais solúveis variando de 4,7 g/L a 8,5 g/L, um Ki (relação sílica/alumina) de 2,7 e valores médios de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 28% e 18,6% respectivamente. Em Juturnaiba (Coutinho & Lacerda, 1994), as análises químicas apresentaram um Ki de 2,2 indicando a presença de caulinita, e para as profundidades de 0,5 a 1,5 e 2,0 a 2,5 o Ki variou de 3 a 3,5 indicando a presença de argilominerais do tipo 2:1. Os cátions adsorvidos são predominantemente o Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> e H<sup>+</sup>, e a presença de matéria orgânica induz a uma elevada capacidade de troca catiônica e a um baixo valor de pH, que variou de 3,1 a 5,9.

A Figura 2.5 apresenta perfis esquemáticos de alguns depósitos argilosos do Rio de Janeiro. De acordo com Futai *et al.* (2001), algumas considerações, tais como a limitação dos tipos de materiais e desconsideração da cota do terreno, foram feitas para facilitar a comparação. Nesses casos a camada mole geralmente encontra-se sobrejacente a areias e argilas arenosas e possui uma espessura variável de 5 a 15m.

Costa Filho *et al.* (1984) observaram que para as argilas das regiões das baixadas da Baía de Guanabara e da Baía de Sepetiba o nível d'água praticamente coincide com o nível do terreno na maioria dos perfis, com alguma variação durante o ano.

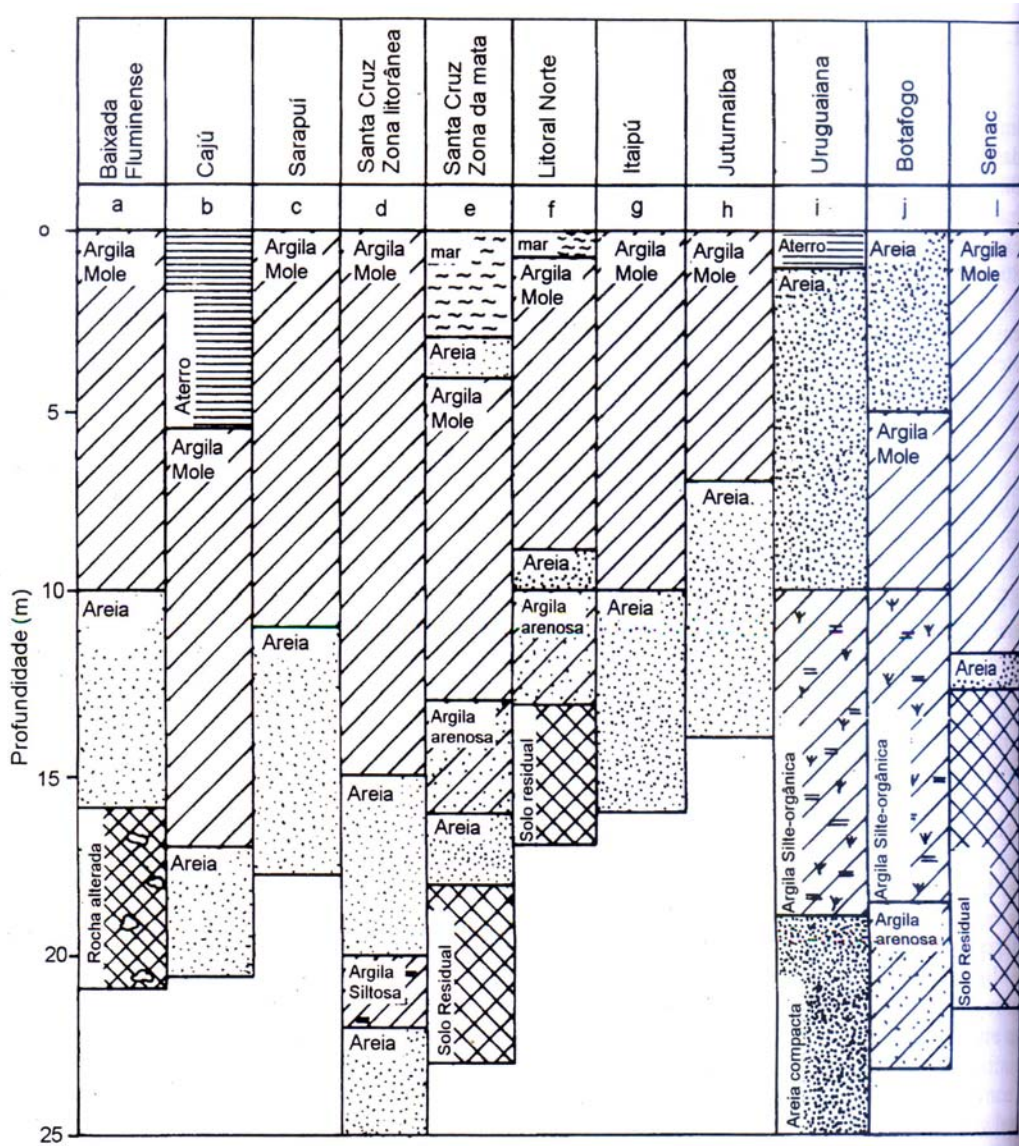


Figura 2.5 - Perfis Geotécnicos das Argilas do Rio de Janeiro (Futai *et al.*, 2001)

A Tabela 2.3 resume os principais parâmetros geotécnicos dos solos citados acima.

Tabela 2.3 - Propriedades Geotécnicas de Alguns Solos Moles do Rio de Janeiro

|                                    | Santa Cruz<br>(Z. Litorânea) | Rua<br>Uruguiana | Botafogo                    | Itaipu                                    | Juturnaiba         | Caju            | Baixada de<br>Jacarepaguá | Barra da<br>Tijuca | Sarapuí                        | Santa Cruz       |
|------------------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|--------------------------------|------------------|
| Referências                        | Aragão<br>(1975)             | Vilela<br>(1876) | Lins &<br>Lacerda<br>(1980) | Carvalho<br>(1980);<br>Pinheiro<br>(1980) | Coutinho<br>(1986) | Cunha<br>(1988) | Garcés<br>(1995)          | Almeida<br>(1996)  | Almeida &<br>Marques<br>(2002) | Santos<br>(2004) |
| Espessura<br>(m)                   | 15                           | 9                | 6                           | 10                                        | 7                  | 12              |                           | 12                 | 12                             | 5 - 15           |
| w <sub>nat</sub> (%)               | 112                          | 54,8 ± 1 9,5     | 35                          | 240 ± 110                                 | 154 ± 95,6         | 88              | 35,8 – 84,4               | 100 - 500          | 143 ± 21,7                     | 31 – 161,4       |
| LL (%)                             | 60                           | 71 ± 30          | 38                          | 175 ± 83                                  | 132 ± 44           | 107             | 39 – 87                   | 70 - 450           | 120 ± 18                       | 18 – 159         |
| IP (%)                             | 32                           | 40 ± 22          | 11                          | 74 ± 30                                   | 64 ± 22            | 67              | 12 – 49                   | 120 – 250          | 73 ± 16                        | 2,6 – 118        |
| % argila                           |                              | 39,4 ± 10,11     | 28                          |                                           | 60,7 ± 12,74       |                 | 25 - 55                   | 28 – 80            | 70                             | 52 – 62          |
| γ (kN/m³)                          | 13,24                        | 16,1 ± 1,39      | 17,04                       | 12 ± 1,85                                 | 12,5 ± 1,87        | 14,81           |                           | 12,5               | 13,1 ± 0 49                    |                  |
| Sensitividade                      | 3,39                         | 3                |                             | 4 – 6                                     | 5 – 10             | 3               |                           | 5                  | 2,59 ± 0,69                    |                  |
| % Mat. Org.                        |                              | 2,56 ± 1,04      |                             | 32,63 ± 20,46                             | 19 ± 10,63         |                 | 5 – 13,9                  |                    |                                | 0,41 – 10,4      |
| e <sub>0</sub>                     | 3,09                         | 1,42 ± 0,36      | 1,10                        | 6,72 ± 3,1                                | 3,74 ± 1,98        | 2,38            |                           |                    | 3,71 ± 0,57                    | 1,94 – 2,64      |
| $CR = \frac{c_c}{(1+e_0)}$         | 0,32                         | 0,31 ± 0,15      | 0,16                        | 0,41 ± 0,12                               | 0,31 ± 0,12        | 0,267           |                           | 0,52               | 0,41 ± 0,07                    | 0,23 – 0,26      |
| c <sub>r</sub> / c <sub>c</sub>    | 0,10                         |                  | 0,19                        |                                           | 0,07 ± 0,06        | 0,21            |                           | 0,10               | 0,15 ± 0,02                    |                  |
| cv (cm²/seg)<br>x 10 <sup>-4</sup> | 0,2 – 18,2                   |                  | 30                          | 5                                         | 1 – 10             |                 | 1                         | 2 – 80             | 9                              | 62,5 – 80,3      |

A região de Santa Cruz, região estudada no presente trabalho, foi pesquisada por Aragão em 1975. A área analisada situa-se na Baía de Sepetiba, próximo ao Canal de São Francisco, e o seu perfil é constituído por uma camada de argila mole, orgânica, de espessura pouco variável, da ordem de 15 metros, seguida por uma série de camadas de areias siltosas até a profundidade de 31 metros, onde se inicia o solo residual caracterizado por um silte arenoso.

Costa Filho *et al.* (1984) também estudaram essa mesma região de Santa Cruz e observaram pelas análises dos ensaios de adensamento edométricos a existência de uma camada ressecada de aproximadamente 7 metros, que apresenta características de um solo pré-adensado. Abaixo dessa camada ressecada, as pressões de sobreadensamento se aproximam das pressões efetivas no local. Segundo os autores, essas observações são consistentes com as variações de umidade natural ao longo do perfil do terreno.

Aragão (1975) e Costa Filho *et al.* (1984) apresentaram diversas correlações estatísticas, relacionando os índices físicos com a profundidade e parâmetros de compressibilidade também com a profundidade. A Tabela 2.4 apresenta as correlações propostas, assim como os seus coeficientes de correlação. Os coeficientes de correlação abaixo de 0,4 foram julgados de validade estatística discutível, entretanto os autores consideram que devido ao grande número de determinações, as expressões médias indicadas na Tabela 2.4 são razoavelmente representativas das propriedades do depósito mole estudado.

Tabela 2.4 – Correlações estatísticas para o depósito mole de Santa Cruz (Aragão, 1975)

| Relação                                                      | Expressão                                            | Número de pontos | Valor médio | Coef. correlação |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|-------------|------------------|
| $\gamma_t \times \text{Prof (m)}$                            | $\gamma_t = 0,009.H + 1,32 \pm 0,08$                 | 504              |             | 0,36             |
| $w_i \times \text{Prof (m)}$                                 | $w_i = 0,35.H^2 + 2,21.H + 119,6 \pm 19$             | 472              | 112         | -                |
| $LL \times \text{Prof (m)}$                                  | $LL = 0,14.H^2 + 2,02.H + 54,2 \pm 9$                | 305              | 60          | 0,19             |
| $LP \times \text{Prof (m)}$                                  | $LP = 0,16.H^2 - 0,43.H + 29,7 \pm 7$                | 305              | 28          | -                |
| $IP \times \text{Prof (m)}$                                  | $IP = 0,614.H^2 + 2,55.H + 24,6 \pm 9$               | 305              | 32          | -                |
| $\sigma'_{vm} \text{ (t/m}^2\text{)} \times \text{Prof (m)}$ | $\sigma'_{VM} = 0,0372.H^2 - 0,44.H + 4,98 \pm 1,56$ | 76               |             | 0,36             |
| $c_c \times \text{Prof (m)}$                                 | $c_c = 0,0167.H^2 + 0,22.H + 0,80 \pm 0,45$          | 76               | 1,30        | 0,4              |

Foi realizada também uma caracterização química no perfil desse solo, que se encontra resumida nas Tabelas 2.5 e 2.6 abaixo.

Tabela 2.5 – Análises químicas no solo de Santa Cruz (Aragão, 1975)

| Prof. (m) | Cátions trocáveis (meq/100g) |                  |                |                 |                |                  | pH  | % mat. orgânica |
|-----------|------------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------|-----|-----------------|
|           | Ca <sup>2+</sup>             | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | H <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> |     |                 |
| 5,3       | 27,0                         | 21,0             | 2,02           | 6,85            | 1,7            | 0                | 6,7 | 2,27            |
| 9,3       | 11,5                         | 29,5             | 2,80           | 11,25           | 6,3            | 0,1              | 5,4 | 2,46            |
| 12,3      | 10,5                         | 16,5             | 2,26           | 7,70            | 2,6            | 0                | 6,4 | 2,89            |

Tabela 2.6 - Análises químicas no solo de Santa Cruz (Aragão, 1975)

| Prof. (m) | Sais solúveis (g/L) |      |      |      |       | Ki   |
|-----------|---------------------|------|------|------|-------|------|
|           | Ca                  | Mg   | K    | Na   | Total |      |
| 5,3       | 1,95                | 1,33 | 0,56 | 1,52 | 5,36  | 2,86 |
| 9,3       | 0,97                | 2,18 | 0,87 | 2,87 | 6,89  | 2,64 |
| 12,3      | 0,34                | 0,42 | 0,42 | 1,58 | 2,76  | 2,68 |

Outra pesquisa realizada na área de Santa Cruz foi feita por Santos (2004), que executou ensaios de caracterização geotécnica, físico-químico-mineralógica, além de ensaios de adensamento e de palheta no solo da região.

Neste trabalho foram apresentados os resultados dos ensaios acima citados para diferentes unidades de formação geológica, denominadas de gleissolos. A zona investigada situa-se na Baixada de Santa Cruz, e foi dividida em duas áreas, de acordo com os perfis do subsolo de duas unidades gleissolos diferentes.

A unidade GHa caracteriza-se por apresentar uma argila de alta atividade. É uma unidade de baixa permeabilidade, ácida e com características de formação sob grande influência do lençol freático, que provocam a coloração cinzenta e mosqueados característicos de reações de oxidação e redução.

A unidade GHT é um solo salino, com textura argilosa. É caracterizado por apresentar argilas de alta atividade, com elevados teores de sais solúveis, sulfetos e/ou enxofre. São ácidos, de baixa permeabilidade e apresentam coloração variando de preta a cinza esverdeado. Esta unidade apresenta alta condutividade elétrica (4,3 a 8,5 mmhoms/cm), altos teores de sais solúveis de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> e porcentagem de enxofre superior a 0,75% até a profundidade de 1 metro. Ocorrem nas desembocaduras dos rios, canais e margens de lagoas na orla marítima, com o material sedimentar de natureza argilo-siltosa ou argilosa, com detritos orgânicos. Estes solos estão sujeitos a

influência constante das marés favorecendo a acumulação de sais e compostos de enxofre.

O perfil da primeira, denominada de GHa, é constituído por um aterro, seguido de uma camada de argila silto-arenosa, com NSPT variando de 0 a 10. Abaixo desta camada, ocorrem intercalações de camadas argilo-siltosas, argilo-arenosas, arenosas, areno-siltosas, medianamente compactas a compactas, com NSPT apresentando uma tendência de crescimento com a profundidade, seguida de solo residual.

A segunda unidade geológica, denominada de GHT, é constituída por uma camada de argila siltosa cinza, de baixa consistência (NSPT de 0 a 5). Subjacente a esta camada encontra-se uma camada de areia fina a média, pouco argilosa, medianamente compacta, com NSPT variando de 5 a 12. Outras sondagens revelaram a presença de uma camada de aterro de aproximadamente 1,0 metro de espessura e apresentaram um perfil semelhante ao observado por Aragão (1975).

Dos ensaios de caracterização geotécnica, Santos (2004) obteve os resultados que se encontram na Tabela 2.7:

Tabela 2.7 – Caracterização do solo de Santa Cruz (Santos, 2004)

| Unidade gleissolo | Prof. (m) | w (%)      | % argila | Gs          | $\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | LL (%)     | IP (%)      |
|-------------------|-----------|------------|----------|-------------|-------------------------------------|------------|-------------|
| GHa               | 0 – 2     | 31 – 155,7 | 30 - 90  | 2,10 - 2,70 | 14,48                               | 18,4 – 159 | 2,6 – 118,5 |
| GHT               | 0 – 2     | 54 - 120   | 52 – 62  | 2,60 - 2,70 | 14,94                               | 84,4 115   | 62,7 - 71   |

Apesar dos valores de densidade dos grãos para a unidade GHa se apresentarem bastante variados, a média foi de 2,60. O autor atribui os baixos valores de Gs observados à presença de matéria orgânica.

Os resultados obtidos das análises químicas estão na Tabela 2.8. O solo não salino (GHa) foi classificado em relação ao pH como de acidez alta a acidez fraca, e o salino (GHT) como de acidez alta a alcalinidade alta.

Tabela 2.8 - Análises químicas no solo de Santa Cruz (Santos, 2004)

| Unidade gleissolo | Prof. (m) | pH               |           | % mat. orgânica | Ki   | C. E. (mS/cm) 25°C |
|-------------------|-----------|------------------|-----------|-----------------|------|--------------------|
|                   |           | H <sub>2</sub> O | KCl       |                 |      |                    |
| GHa               | 0 - 2,00  | 3,4 - 7,6        | 3,2 - 6   | 2,4 a 10,4      | 2,09 | 0,5 - 1,50         |
| GHT               | 0 - 2,00  | 3,1 - 4,1        | 2,7 - 3,3 | 0,51 a 6,04     | 2,51 | 4,02 - 4,73        |

A unidade GHa apresentou a predominância dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  (3 a 9,4 Cmolc/kg),  $\text{Mg}^{2+}$  (3,4 a 10,9 Cmolc/kg),  $\text{Al}^{3+}$  (0,2 a 7,1 Cmolc/kg) e  $\text{H}^+$  (6,3 a 48,7 Cmolc/kg), e conseqüentemente um valor de saturação de bases (S) variando entre 6,9 e 22,5 Cmolc/kg e de CTC entre 20,3 e 77,8 Cmolc/kg.

Os cátions encontrados para o solo GHT foram:  $\text{Ca}^{2+}$  (2,1 a 6,9 Cmolc/kg),  $\text{Mg}^{2+}$  (2,8 a 3,7 Cmolc/kg),  $\text{Al}^{3+}$  (10 a 14 Cmolc/kg) e  $\text{H}^+$  (7,9 a 9,7 Cmolc/kg). Com esses resultados, a saturação de bases (S) variou entre 8,7 e 12,1 Cmolc/kg e os de CTC entre 30,6 e 31,8 Cmolc/kg. Os sais solúveis encontrados foram o  $\text{K}^+$  e o  $\text{Na}^+$ , com valores médios de 0,09 e 1,83 respectivamente.

As análises mineralógicas identificaram em ambos os perfis a presença predominante da caulinita, ocorrendo secundariamente illita e esmectita.

Os ensaios de adensamento nesses solos apresentaram os resultados indicados na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Resultados dos ensaios de adensamento no solo de Santa Cruz (Santos, 2004)

| Unidade gleissolo | Prof. (m) | $\sigma'_{vm}$ | OCR  | $C_{vmédio} \times 10^{-8}$ (m <sup>2</sup> /s) | $c_c$ | $c_s$ | $m_v \times 10^{-4}$ (m <sup>2</sup> /kN) | $k \times 10^{-9}$ (m/s) |
|-------------------|-----------|----------------|------|-------------------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------|--------------------------|
| GHa               | 2,00      | 80             | 2,05 | 62,45                                           | 0,84  | 0,10  | 10                                        | 6,2                      |
| GHT               | 2,00      | 70             | 2,08 | 80,3                                            | 0,75  | 0,10  | 11                                        | 8,8                      |