

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ESTUDO DA COLAPSIBILIDADE DE UM SOLO DO CAMPO EXPERIMENTAL  
DA FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - UNICAMP

POR

MARIA DENISE MONACCI

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Maria Denise Monacci e aprovada pela Comissão Julgadora em 12 de setembro de 1995. Campinas, 20 de outubro de 1995.

Orientador

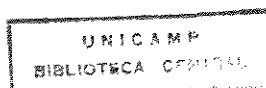
David de Carvalho

  
Presidente da Banca

Dissertação apresentada em cumprimento aos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola  
Área de Obras de Infra-Estrutura: Construções Rurais

Campinas, SP

Setembro de 1995



|              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| UNIDADE      | BC                                  |
| N.º CHAMADA: | UNICAMP                             |
|              | M74e                                |
| V.           | Ex.                                 |
| TOMBO BC/    | 26406                               |
| PROC.        | 667/96                              |
| C            | <input type="checkbox"/>            |
| D            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREÇO        | R\$ 14,00                           |
| DATA         | 13/04/96                            |
| ASSINADO     |                                     |

CM-00083046-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M74e Monacci, Maria Denise  
Estudo da colapsibilidade de um solo do campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP / Maria Denise Monacci.--Campinas, SP: [s.n.], 1995.

Orientador: David de Carvalho.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Mecânica dos solos. 2. Fundações (Engenharia).  
3. Solos - Classificação. 4. Solos. I. Carvalho, David de.  
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, à minha mãe MARIA THEREZINHA PIRES MONACCI que não habita mais esse nosso mundo, mas que eternamente habitará o meu coração.

A ela eu agradeço o amor que nos deu em toda a sua existência, sua paz, suavidade e inteligência, sempre se esforçando para ser a melhor, para nos dar o melhor.

"Eu sou a ressurreição e a vida; quem crê em mim, mesmo se estiver morto, viverá; e quem vive e crê em mim não morrerá eternamente" (Jó,11,25).

"Obrigada pela luz que você se tornou, para iluminar meu caminho".

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Antônio Seraphim, da Engenharia Civil da UNICAMP, por ter me encaminhado nos ensaios edométricos, dando-me a disponibilidade do uso da prensa e interrompendo o seu trabalho para que eu pudesse realizar esta pesquisa.

À CAPES, pelo apoio financeiro, sem o qual a pesquisa não seria realizada.

Aos Professores José Liberato Bozza, Maurício Pereira, Jônio Ribeiro Nogueira e José Veríssimo Nery Filho, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCCAMP), pelos conhecimentos ministrados na Graduação e pelos incentivos para que este mestrado fosse realizado.

Aos Professores de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos e apoio técnico, em especial ao Prof. Dr. Wesley Jorge Freire e Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola, do Comitê de Orientação, pelas sugestões, pelo carinho, disponibilidade em ajudar e em ouvir. "Obrigada à amizade que vocês deixaram acontecer".

Ao Wanderley Antonio Tremocoldi, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC - Seção de Pedologia), pelo inestimável apoio a mim prestado pelos ensaios de Difração de Raios-X.

Ao José Luiz Guerra, da Universidade de São Paulo (USP-São Carlos), pela realização dos ensaios de consistência (Limite de Liquidez - LL e Limite de Plasticidade - LP).

Aos companheiros Paulo José Rocha de Albuquerque e Alexandre Tadeu Claro, pela ajuda prestada na moldagem dos

blocos de amostras indeformadas e pela companhia oferecida durante a execução dos ensaios de pesos específicos.

Ao Chefe do Departamento de Engenharia de Transportes da Faculdade de Engenharia Civil, José Carlos Zanfêlice, por ceder o Laboratório, e aos técnicos - Luiz Eduardo Meyer, José Benedito Cipriano, Édison Jurgensen e Reinaldo Benedito Leite da Silva, pelo auxílio técnico e acompanhamento durante os ensaios edométricos.

À técnica do Laboratório da Faculdade de Engenharia Agrícola, Célia Panzarin Gonçalves, pelo auxílio, amizade e simpatia demonstrados na realização do ensaio de granulometria.

Aos amigos Lúcia Helena Vasconcelos Rabello e Luiz Eduardo Balau, pelo apoio, amizade e pelas mãos estendidas quando dos nossos vacilos.

À Eliane Marta Quinones, por ter me levado e apresentado à Faculdade de Engenharia Agrícola.

Ao colega José Ricardo de Freitas Lucarelli, pela análise micromorfológica realizada na Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz" (ESALQ - USP de Piracicaba - Laboratório de Solos).

Ao João Evaristo Bérnago, pelo auxílio no acompanhamento das fotos e filmagens na abertura do poço e moldagem dos blocos.

À FAPESP, pelo apoio financeiro para a realização dos ensaios de campo.

A todos os que direta e indiretamente estiveram comigo

técnicos, profissionais, colegas de classe), nem sempre nomeados, mas sempre presentes.

Ao Prof. Dr. David de Carvalho, meu orientador e amigo, por acreditar em mim, por sua compreensão, ajuda e apoio. O meu muitíssimo obrigada a ele por tudo o que fez por mim.

---

A toda minha família - meu pai Darcy Monacci, aos meus irmãos Luis Fernando e Paulo Roberto, aos meus sobrinhos e, principalmente, a minha irmã Lilian Rose Monacci Cerutti, pelo imenso auxílio, companheirismo e compreensão, com quem sempre pude contar nos momentos mais conflitantes.

## SUMÁRIO

Página

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| SUMÁRIO.....                                                                   | i   |
| RESUMO.....                                                                    | iii |
| I-CAMPO EXPERIMENTAL.....                                                      | 1   |
| 1-Introdução.....                                                              | 1   |
| 2-Localização.....                                                             | 2   |
| 3-Região da Cidade de Campinas.....                                            | 3   |
| 4-Geologia da Região do Campo Experimental.....                                | 4   |
| 5-Characterização Geotécnica do Subsolo do Campo Experimental.....             | 5   |
| 6-Situação Atual do Campo Experimental e Perspectivas Futuras.....             | 6   |
| II-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE SOLOS COLAPSÍVEIS.....                          | 18  |
| 1-Introdução.....                                                              | 18  |
| 2-Experiências Brasileiras.....                                                | 23  |
| 2.1-Characterização do Solo.....                                               | 23  |
| 2.2-Barragens e Canais.....                                                    | 30  |
| 2.3-Fundações.....                                                             | 42  |
| III-METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSIBILIDADE DO SOLO..... | 54  |
| IV-MATERIAL E MÉTODOS .....                                                    | 62  |
| 1-Introdução.....                                                              | 62  |
| 2-Ensaio de Characterização.....                                               | 62  |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 3-Ensaio Oedométrico.....                          | 63  |
| 4-Difração de Raios-X.....                         | 67  |
| 5-Lâminas para Análise Micromorfológicas.....      | 67  |
| V-RESULTADOS .....                                 | 70  |
| VI-ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                     | 92  |
| 1-Introdução.....                                  | 92  |
| 2-Análise através de Ensaio de Caracterização..... | 92  |
| 3-Análise através de Ensaio Oedométrico.....       | 93  |
| 4-Análise através de Ensaio de Raios-X.....        | 95  |
| 5-Lâminas para Análise Micromorfológicas.....      | 97  |
| VII-CONCLUSÕES.....                                | 107 |
| VIII-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....               | 109 |

## RESUMO

---

O objetivo desta pesquisa é analisar as características de colapsibilidade de um solo residual de diabásio, bem como contribuir para a implantação de um campo experimental, para estudos de Mecânica dos Solos e Fundações neste solo. Procurou-se atingir tais objetivos através da realização de ensaios de campo e laboratoriais em solo de área especialmente cedida para este fim, junto ao Campus da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

## **I- CAMPO EXPERIMENTAL**

### **1- Introdução**

---

Em Engenharia Geotécnica, e particularmente em Engenharia de Fundações, diante às limitações impostas por modelos, é importante que se conheça o comportamento das obras em escala natural. Também no domínio da Mecânica dos Solos é importante que estudos aprofundados sejam feitos, visando à investigação de propriedades de solos tropicais brasileiros, em muitos casos não saturados, em relação aos quais o meio técnico ressen-te-se da falta de informações.

Pesquisas em escala natural exigem a observação do elemento estudado em operação, através do funcionamento normal da obra ou através de provas de carga no caso de fundações. Para uma perfeita interpretação de dados de campo é necessário um conhecimento preciso das propriedades do solo no qual a obra foi implantada, propriedades estas que devem ser obtidas através de ensaios especiais de campo e laboratório. Tanto estes ensaios especiais como a realização de provas de carga e acompanhamento do comportamento de obras exigem pessoal qualificado e equipamentos especiais, que são de custo elevado. Isto faz com que este procedimento nem sempre seja adotado nas obras comuns de Engenharia, ficando sua utilização restrita a obras especiais ou proje-

tos de pesquisas, estes últimos desenvolvidos geralmente por Universidades ou Institutos de Pesquisas.

Considerando-se o exposto, visando a uma otimização de custos e a uma obtenção de diversos parâmetros válidos para determinado tipo de solo, pôde-se implantar um Campo Experimental para a realização de pesquisas. Neste caso, partindo-se da caracterização geotécnica do subsolo de um Campo Experimental, pode-se analisar o comportamento de obras instaladas neste tipo de solo, analisando-as isoladamente e comparando-as entre si. Sendo assim, parâmetros obtidos em um local podem ser utilizados em outros locais com condições geotécnicas semelhantes.

Nesta pesquisa, objetivou-se analisar as características de colapsibilidade de um solo residual de diabásio e contribuir para implantação de um campo experimental, para estudos de Mecânica dos Solos e Fundações neste solo, na cidade de Campinas - SP.

A parte da pesquisa referente à implantação do Campo Experimental foi desenvolvida em conjunto com o Engº Luís Eduardo Balau, através de projeto FAPESP EC-93/2413-5.

## **2- Localização**

O Campo Experimental em implantação localiza-se no Campus da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) junto

aos prédios do Laboratório de Materiais da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) - FIGURA 1. A área oficialmente autorizada pela Congregação da Faculdade para sua implantação foi de  $228m^2$  (12\*19m) (ANEXO I), havendo possibilidade de futura expansão.

A UNICAMP encontra-se no município de Campinas - SP, localizado na porção Centro-Leste do Estado de São Paulo. Sua posição geográfica é determinada pelas coordenadas  $22^{\circ}53'22''$  de latitude sul e  $47^{\circ}04'39''$  de longitude oeste (FIGURA 2).

### **3- Região da Cidade de Campinas**

A temperatura média mensal varia entre  $17^{\circ}C$  e  $24^{\circ}C$ , ultrapassando  $30^{\circ}C$  nos dias mais quentes e ficando abaixo de  $12^{\circ}C$  nos dias mais frios. A pluviosidade apresenta dois períodos distintos:

- o chuvoso, que ocorre entre outubro e março, responsável por 74% das chuvas.
- o seco, que corresponde ao período entre abril e setembro, responsável por 26% das chuvas.

Segundo o D.A.E.E.(1981), a região está compreendida entre as isoietas médias anuais de 1100 e de 1300mm, e o clima é do tipo Cwa (Köppen) ou mesotérmico de inverno.

#### 4- Geologia da Região do Campo Experimental

Na região, ocorrem as intrusivas básicas da formação Serra Geral (diabásio). A litologia predominante é o diabásio, mineralogicamente composto de labradorita, clinopiroxênio augita e/ou pigeonita, e acessórios, como a titanita, magnetita e apatita (apud GIACHETTI, 1991).

Através de perfis geológicos é possível observar a grande ocorrência dos magmáticos básicos na parte norte da região de Campinas, os quais afloram em três áreas, perfazendo  $98\text{Km}^2$  e ocupando 14% da área total da folha de Campinas.

Nos afloramentos, é possível verificar que os diabásios estão bastante fraturados, formando blocos pequenos, e as fraturas normalmente estão abertas ou então preenchidas com materiais argilosos. As paredes das fraturas apresentam-se com uma faixa estreita intemperizada, alargada na parte superficial do terreno. Na FIGURA 3, apresenta-se um perfil geológico da região, onde se localiza a UNICAMP.

Na FIGURA 4 apresenta-se um perfil do subsolo no local do Campo Experimental, obtido através de sondagem sísmica, onde se apresentam as camadas de solo superficial, solo desenvolvido, saprólito e a rocha sã.

## 5- Caracterização Geotécnica do Subsolo do Campo Experimental

---

No Campo Experimental, foram realizados diversos ensaios de campo e ensaios laboratoriais em amostras deformadas e indeformadas.

Foram os seguintes os ensaios de campo realizados:

- oito sondagens de simples reconhecimento (SPT) (FIGURA 5) (ANEXO II), até 20m;
- sete sondagens de penetração estática (CPT), com medida contínua da resistência de ponta e resistência total (FIGURA 6) (ANEXO III);
- duas sondagens de penetração estática (CPT) com medida de resistência de ponta e atrito lateral (FIGURA 7 e 8);
- sondagem elétrica vertical e sondagem sísmica (FIGURA 4);
- ensaio sísmico "cross - hole".

Na FIGURA 9, apresenta-se a localização destes ensaios dentro da área do Campo Experimental.

Foram os seguintes os ensaios laboratoriais realizados através de amostras indeformadas, retiradas de até 18m de profundidade e deformadas até 20m (TABELA I):

- granulometria
- umidade e limites
- massa específica
- ensaio de compressão simples

- ensaio triaxial adensado rápido
  - ensaio de adensamento
  - grau de saturação e o índice de vazios do solo.
- 

## **6- Situação Atual do Campo Experimental e Perspectivas Futuras**

Pela quantidade de ensaios geotécnicos já realizados no local e tendo em vista a autorização oficial para utilização da área, considera-se que já se possui um Campo Experimental implantado.

Obtiveram-se amostras indeformadas (em blocos de 25\*25\*25cm), retiradas de metro em metro até 18m de profundidade, armazenadas em câmara úmida. Estas amostras foram utilizadas nas investigações de propriedades básicas destes solos (resistência, deformabilidade, etc.).

Em nível de ensaios de campo, realizaram-se sondagens de simples reconhecimento (SPT, SPT com torque) e sondagens de penetração estática e ensaios sísmicos do tipo "cross-hole", sondagem elétrica vertical e sísmica de refração.

Em nível de pesquisas em fundações, pretende-se executar diversos tipos de fundações no local e submetê-las a provas de carga, na continuidade de trabalhos, verificando-se, assim, seu comportamento neste tipo de solo.

No momento, mais dois mestrandos (Engº Luís Eduardo Balau. Engº Paulo José Rocha de Albuquerque) estão

desenvolvendo suas dissertações de mestrado utilizando o Campo Experimental. Informações obtidas no local já foram utilizadas na tese de doutorado do Engº Heraldo Luiz Giacheti (GIACHETTI, 1991) e na dissertação de mestrado do geólogo Vagner Roberto Elis (ELIS, 1993).

---

**TABELA I NÚMEROS DAS AMOSTRAS E SUAS RESPECTIVAS PROFUNDIDADES**

| Nº das Amostras | Profundidades em metros     |
|-----------------|-----------------------------|
| 01              | 0,50-0,75                   |
| 02              | 1,75-2,00                   |
| 03              | 2,75-3,00                   |
| 04              | 3,75-4,00                   |
| 05              | 4,75-5,00                   |
| * 06            | 5,90 (camada concrecionada) |
| * 07            | 6,50                        |
| 08              | 6,75-7,00                   |
| 09              | 7,75-8,00                   |
| 10              | 8,75-9,00                   |
| 11              | 9,75-10,00                  |
| 12              | 10,75-11,00                 |
| 13              | 11,75-12,00                 |
| 14              | 12,75-13,00                 |
| 15              | 13,75-14,00                 |
| 16              | 14,75-15,00                 |
| 17              | 15,75-16,00                 |
| 18              | 16,75-17,00                 |
| * 19            | 18,00                       |
| * 20            | 19,00                       |
| * 21            | 20,00                       |

\* Nestas profundidades foram retiradas apenas amostras deformadas.

- 1- Centro de Computação
- 2- Centro de Tecnologia
- 3- Faculdade de Ciências Médicas
- 4- Faculdade de Educação
- 5- Faculdade de Educação Física
- 6- Faculdade de Engenharia de Alimentos
- 7- Faculdade de Engenharia Agrícola
- 8- Faculdade de Engenharia Civil
- 9- Faculdade de Engenharia Elétrica
- 10- Faculdade de Engenharia Mecânica
- 11- Faculdade de Engenharia Química
- 12- Instituto de Artes
- 13- Instituto de Biologia
- 14- Instituto de Economia
- 15- Instituto de Estudos de Linguagem
- 16- Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
- 17- Instituto de Física
- 18- Instituto de Geociências
- 19- Instituto de Matemática, Estatística e Ciências da Comunicação
- 20- Instituto de Química
- 21- SAE - Serviço de Apoio ao Estudante
- 21- SERCA/DAC - Diretoria Acadêmica

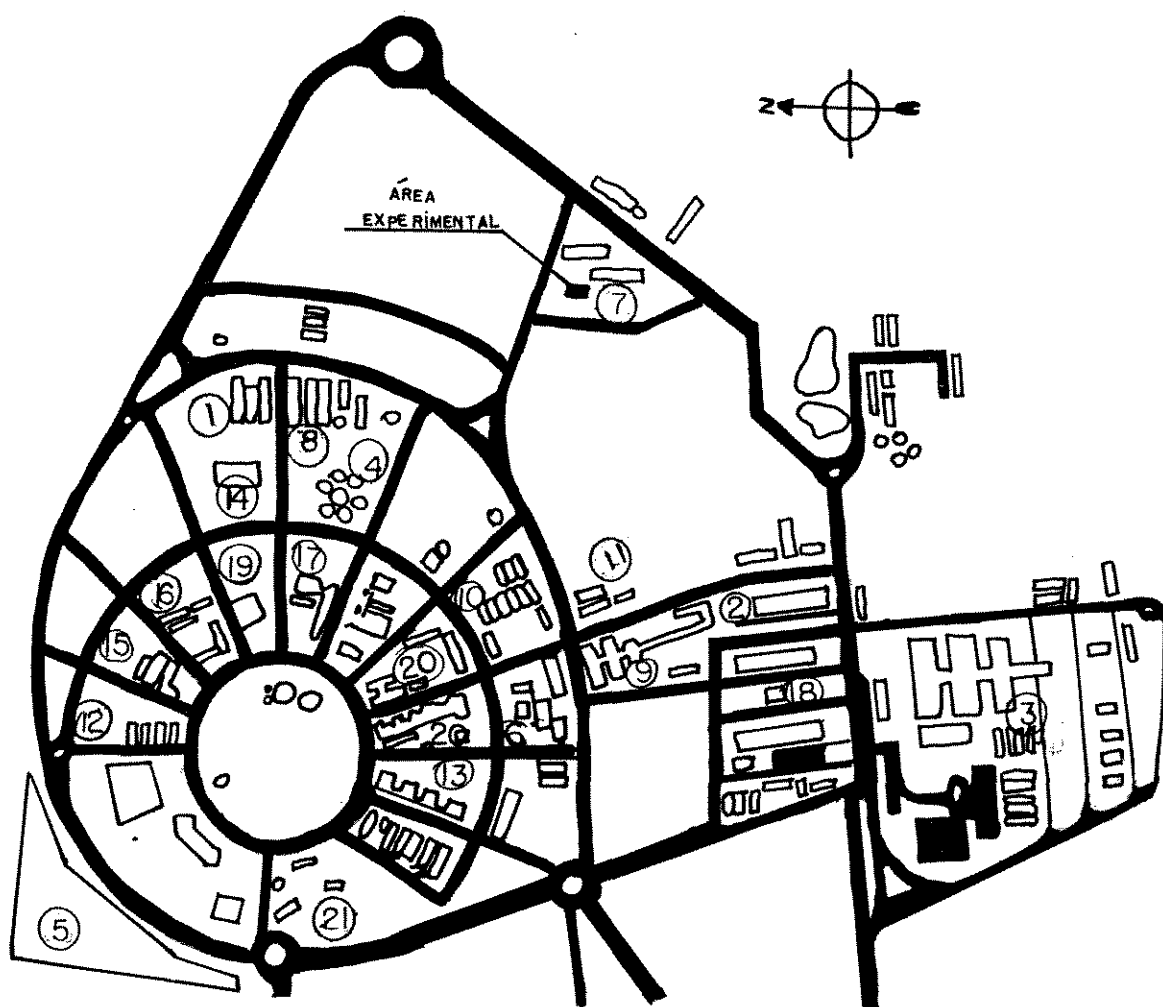


FIGURA 1 - Posição da Área Experimental dentro do Campus da UNICAMP



Figura 2 - Localização da Folha de Campinas, Estado de São Paulo

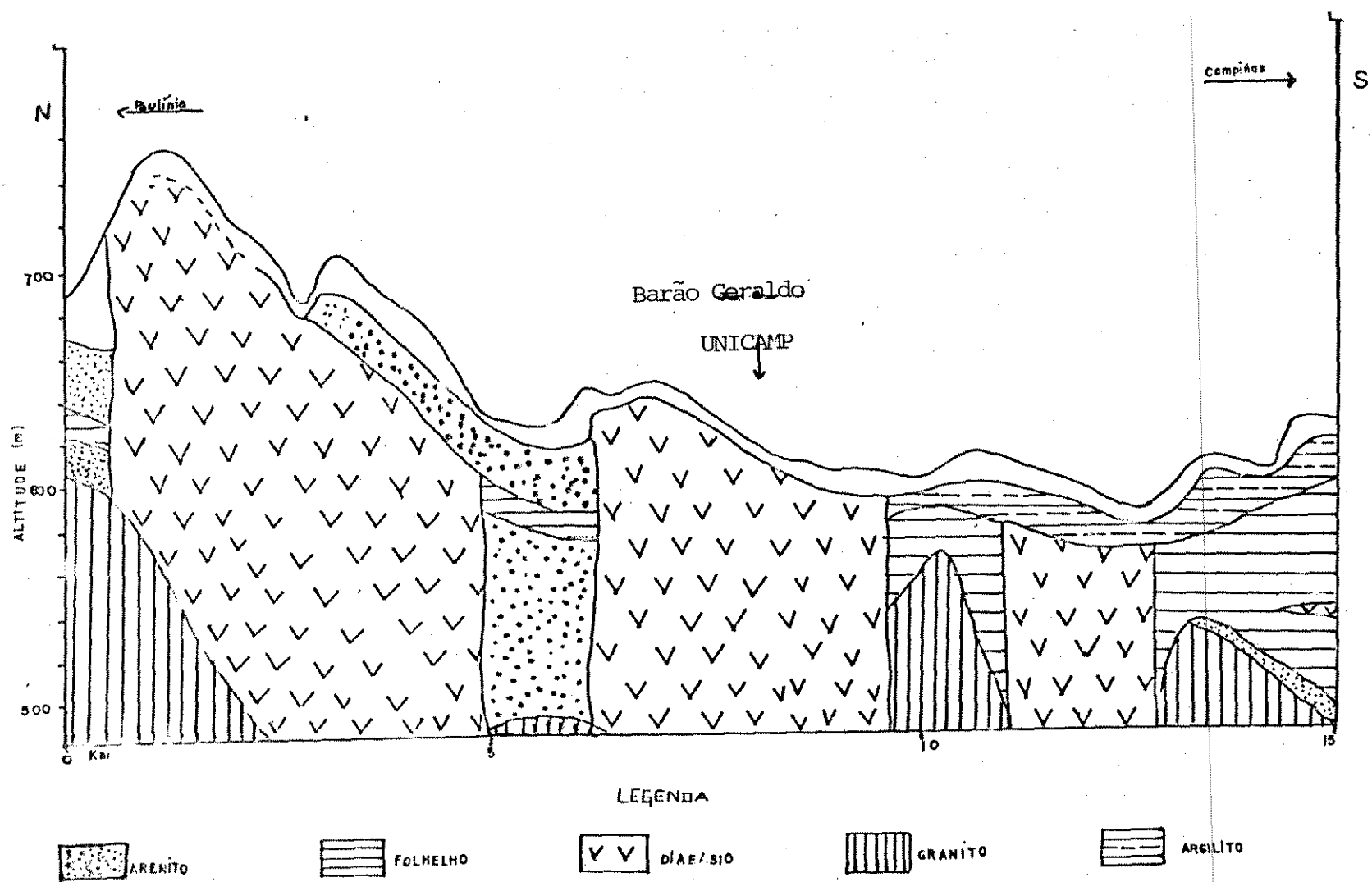
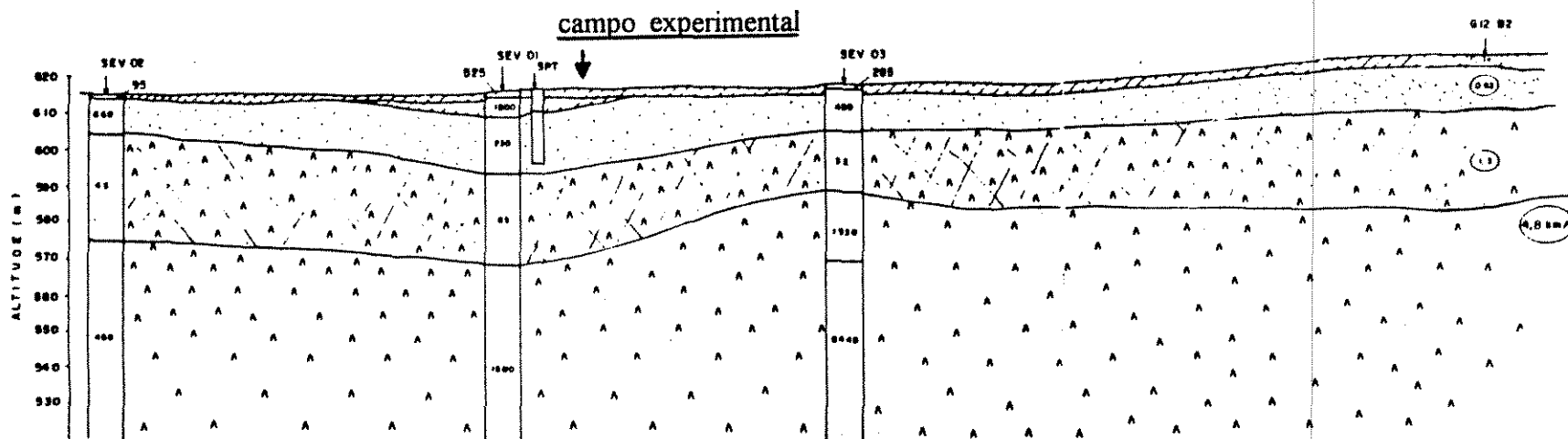


FIGURA 3 Perfil Geológico da Região de Campinas (Apud ZUQUETTI, 1987)

## CAMPINAS PERFIL 03 (E-F)



## LEGENDA

SOLO SUPERFICIAL

SOLO DESENVOLVIDO

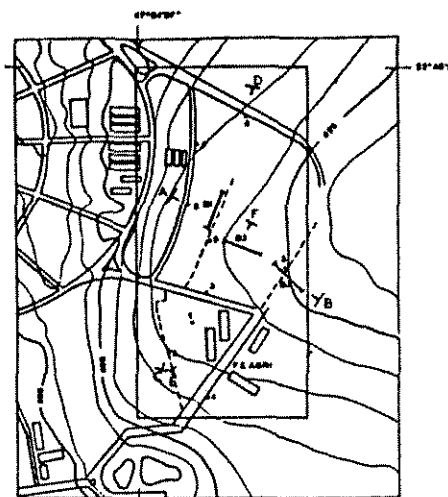
SAPROLITO

ROCHA S1

ESCALA 1:1000

SEV 03 - N1 de sondagem elétrica vertical  
200  
Velocidade de propagação de onda (km/s)

G12 B2 - N1 do geotono a base simica



CAMPINAS

SUBSTRATO ROCHOSO - SILL-DE DIA

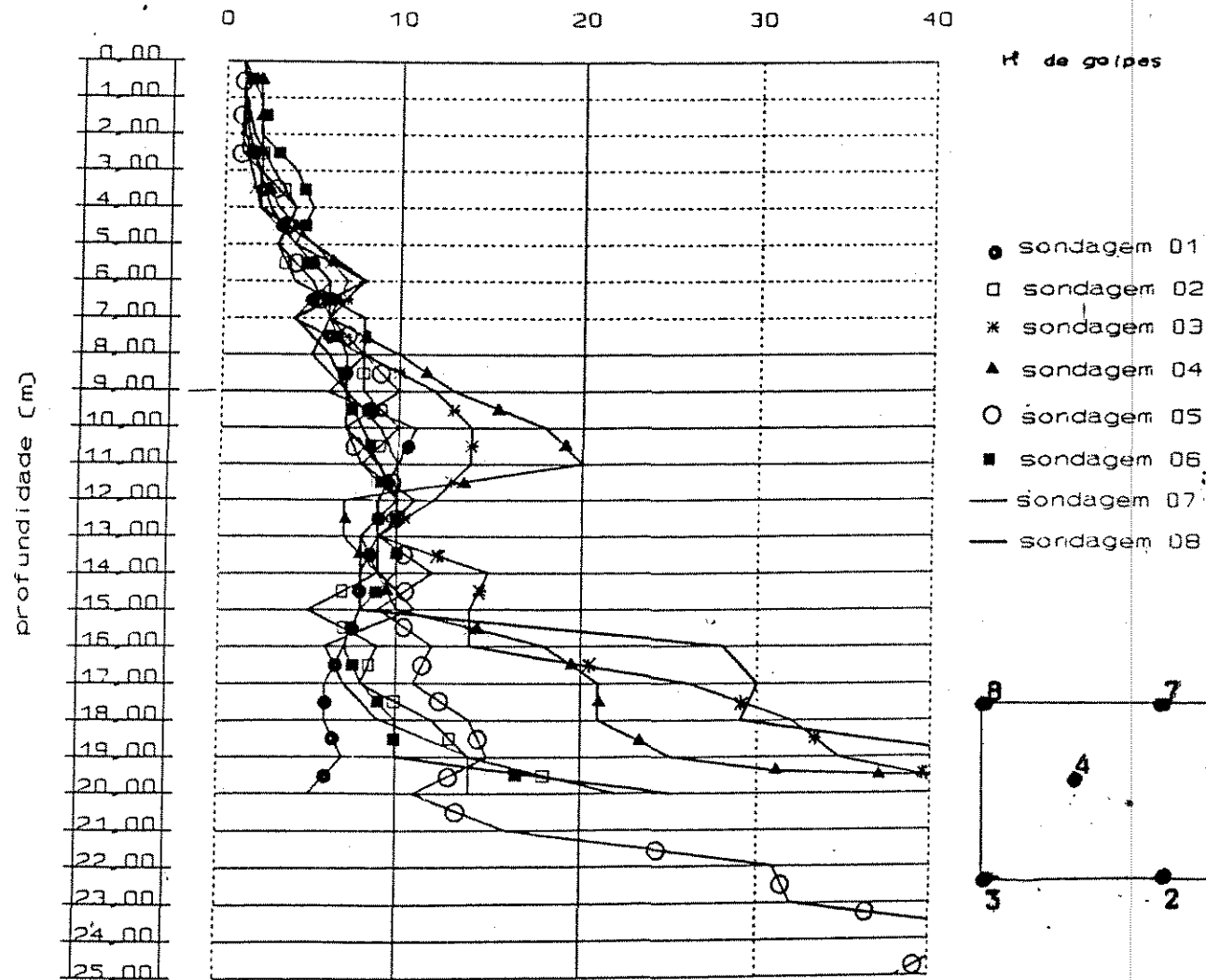
B1 BASE SIMICA

\*2 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

ESCALA 1:10000



# GRAFICO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO FACULDADE DE ENGENHARIA AGRICOLA - D.C.R.



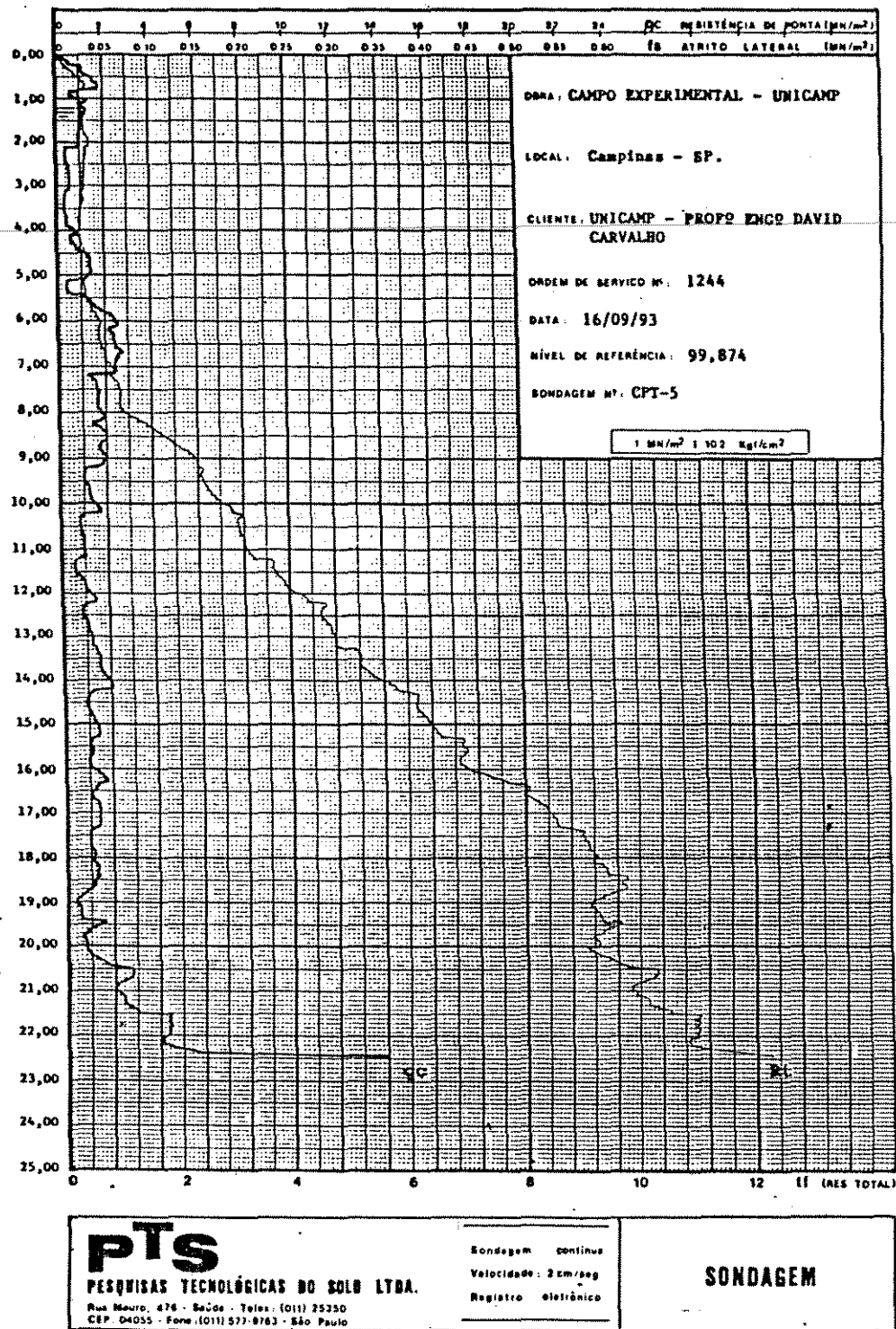
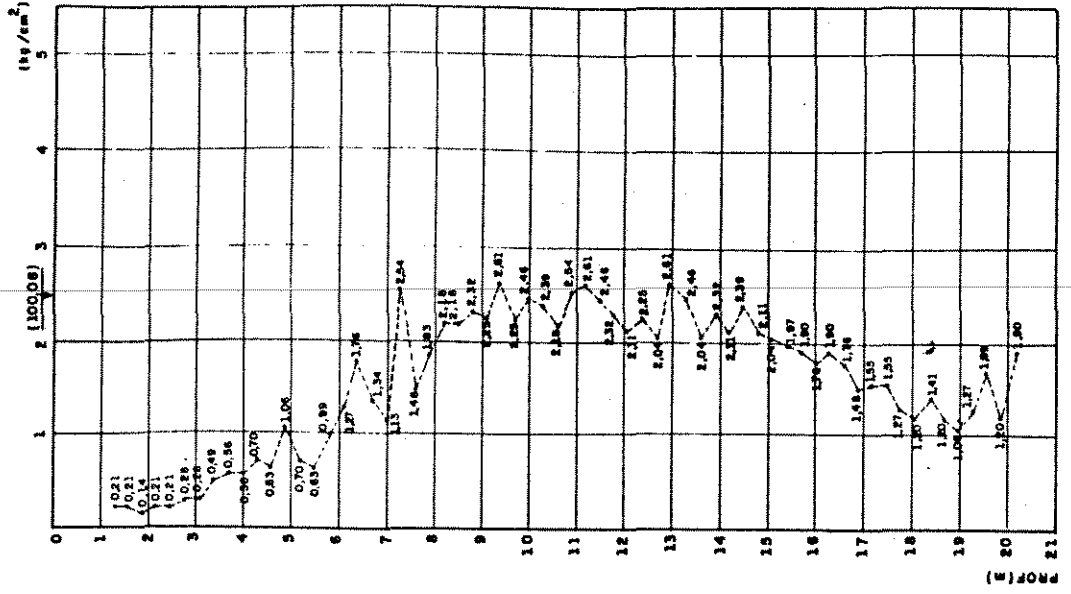
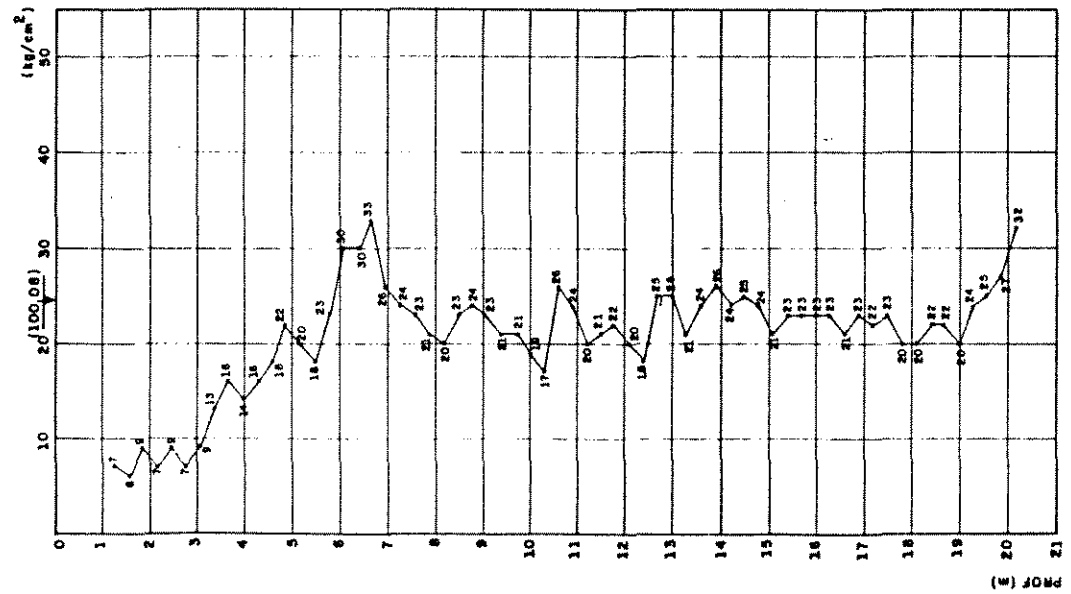


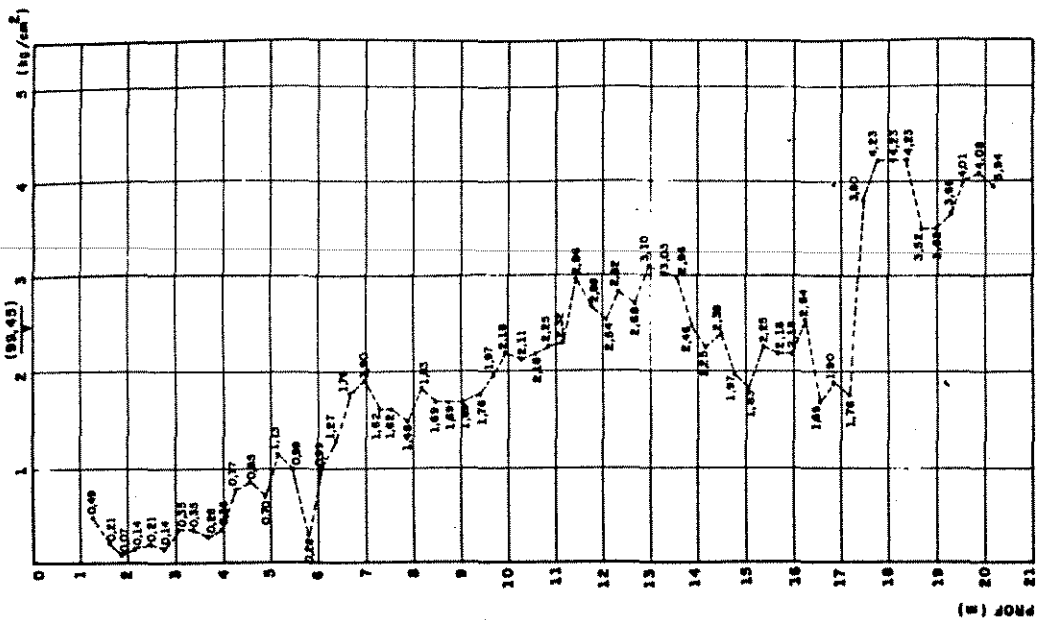
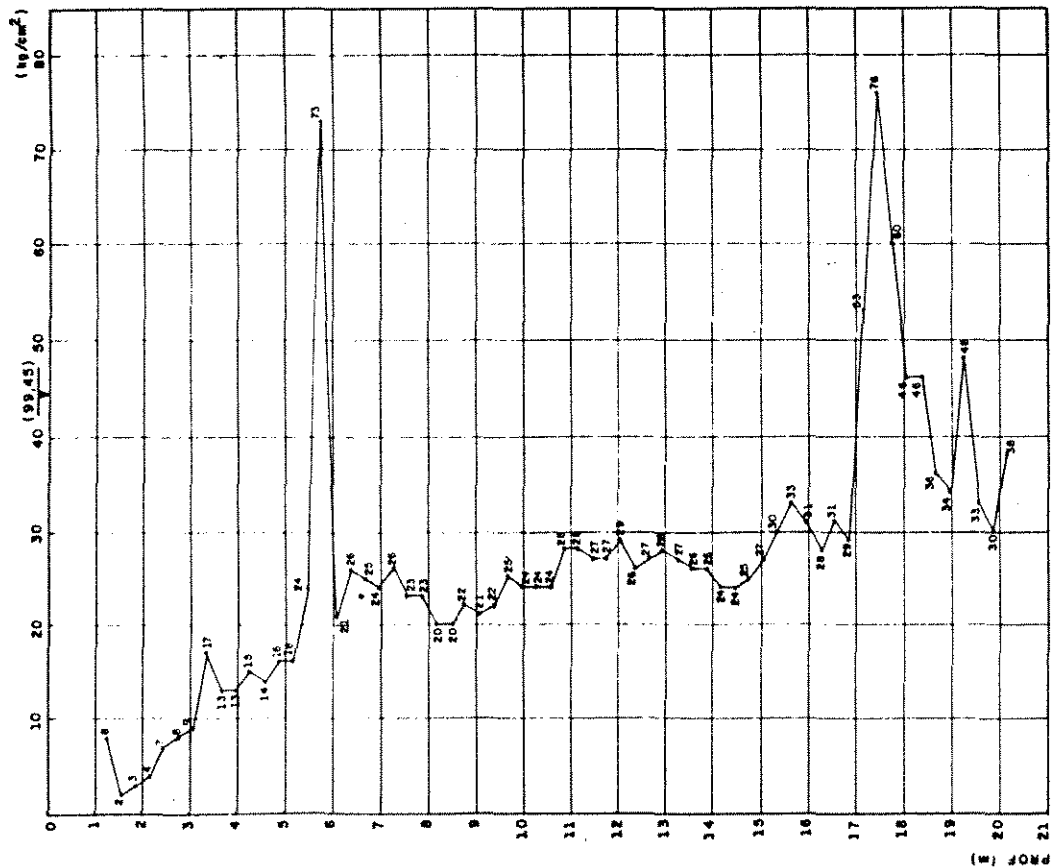
FIGURA 6 Resultado Típico de Sondagem de Penetração Estática (CPT)



RESISTÊNCIA DE PONTA

ATRITO

LOCAL



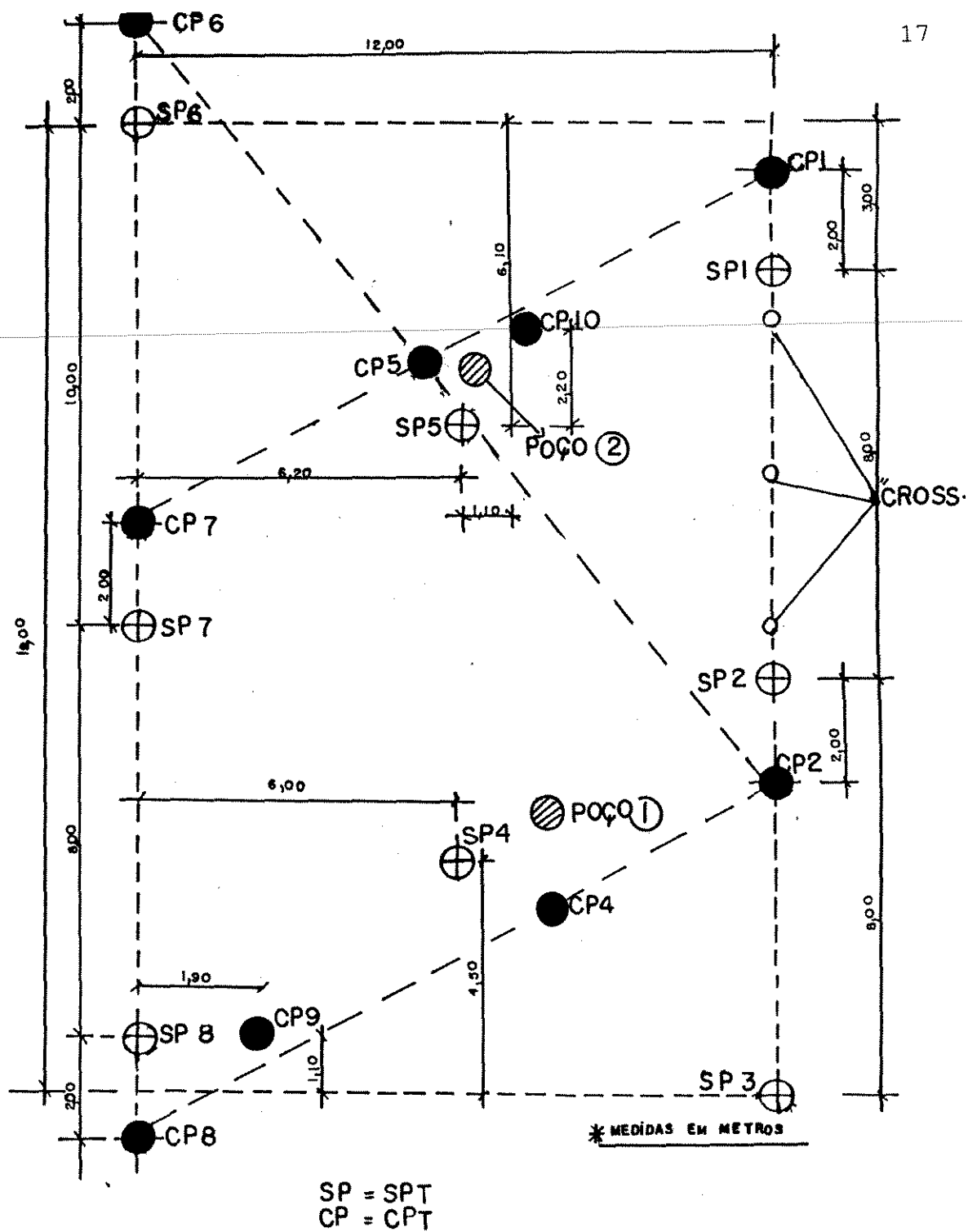


FIGURA 9 Localização dos Ensaio de Campo

## II- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE SOLOS COLAPSÍVEIS

### 1- Introdução

---

Sob determinadas condições, alguns tipos de solos apresentam certos comportamentos característicos. Dentre estes, citam-se os que sofrem redução de volume ao se aumentar a quantidade de água em seus vazios, com ou em alguns casos sem acréscimo de carga.

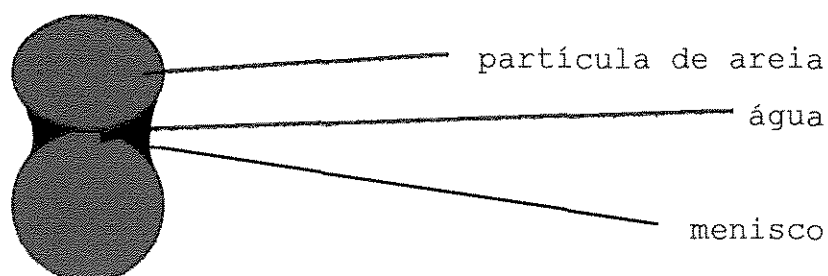
Os solos que têm esse tipo de comportamento apresentam em seu estado natural alta porosidade e baixo teor de umidade. Com o aumento do teor de umidade, este tipo de solo perde a sua resistência, e sua estrutura sofre um colapso, sendo, por este motivo, conhecido por solo colapsível.

Muitas obras apresentam trincas imediatamente após a infiltração de água no solo. Esta infiltração acidental pode advir do rompimento de condutos de água de esgotos e da própria chuva. A água infiltrada aumenta o grau de saturação do terreno, quebrando a estabilidade do solo, provocando recalques imediatos, os quais são responsáveis por danos estruturais nas obras.

Para que um solo esteja sujeito à ocorrência do colapso, é necessário possuir uma estrutura altamente porosa e com equilíbrio metaestável entre as partículas maiores. Este estado de equilíbrio assim permanece enquanto nenhum agente externo intervém para diminuir a resistência adicional temporária adquirida pelo solo. O agente externo (geralmente a água), uma vez infiltrado no solo, é capaz de gerar uma situação de desequilíbrio, reduzindo a ação dos mecanismos

de suporte e fazendo com que os grãos sejam capazes de deslizar em direção aos espaços vazios, provocando o colapso da estrutura do solo (DUDLEY, 1970; URIEL & SERRANO, 1973; NUNEZ, 1975).

Os principais fatores responsáveis por esse aumento temporário de resistência do solo são as forças capilares, as forças eletromagnéticas de superfície, a concentração de íons e a presença de substâncias cimentantes. As forças capilares, embora ocorram com maior intensidade nos solos argilosos, não são de todo desprezíveis nos solos arenosos. Com a evaporação parcial de água, diminuem-se os raios de curvatura dos meniscos formados nos poros do solo, aumentando a pressão capilar, conforme ilustra-se na FIGURA 10:



**FIGURA 10 - Aumento da resistência intergranular devido ao baixo grau de saturação**

Nos solos arenosos, a resistência ao cisalhamento é proporcional à tensão efetiva atuante. Desta forma, estes solos têm um acréscimo de resistência relacionado com o

efeito da capilaridade. Com a adição de água, as tensões capilares são destruídas e a resistência do solo é diminuída, possibilitando a ocorrência do colapso estrutural, manifestado por brusca redução do índice de vazios.

Um outro fator responsável por um aumento temporário de resistência do solo é aquele representado pelas forças eletromagnéticas de superfície, que ocorrem em solos onde os grãos maiores (areia e silte) estão circundados por partículas de argila, e eventualmente, silte (DUDLEY, 1970; ARMAN & THORNTON, 1973; COLLINS & MCGOWN, 1974). Estas forças são atrativas e podem causar uma resistência adicional ao solo.

A FIGURA 11 ilustra um possível arranjo intergranular, onde se pode notar uma disposição paralela das partículas de argila.

O solo, quando seco, pode apresentar considerável resistência (DUDLEY, 1970).

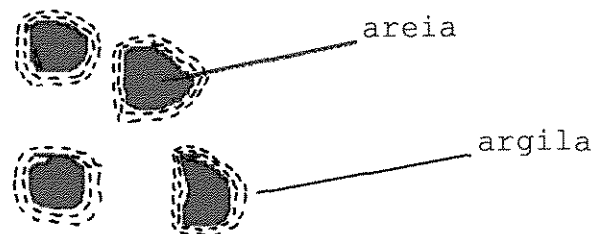


FIGURA 11 - Arranjo esquemático com partículas de areia circundadas por partículas de argila, produzindo forças eletromagnéticas de superfície.

Na adição de água, torna-se mais espesso o filme entre as partículas, tendendo a distanciá-las. Logo, diminuem as forças de tração, com conseqüente redução da resistência deste solo, favorecendo o colapso da estrutura.

---

Um outro fator responsável pelo aumento de resistência do solo é a presença de um agente cimentante. A cimentação entre as partículas maiores do solo é proporcionada principalmente pelos óxidos de ferro, manganês, alumínio, titânio. O solo colapsível está presente em vários países, havendo na literatura inúmeros trabalhos publicados sobre ocorrência na África do Sul, Angola, Austrália, Argentina, Brasil, China, Equador, Espanha, Estados Unidos, França, Ilhas Canárias, Israel, Luanda, Rússia, etc. (QUADRO I).

VILAR (1992) comentou que um dos solos colapsíveis mais citados na literatura é o solo loéssico. Trata-se de um solo de grãos finos e de tamanho uniforme, de origem eólica, com baixo grau de saturação, visto que retém simplesmente a umidade do ar. Seus grãos são interligados por carbonatos de cálcio, o que permite a permanência da porosidade elevada. Os solos loéssicos apresentam grande coesão e alta compressibilidade quando comparados com outros solos de granulometria e plasticidade semelhantes.

## QUADRO I - TIPOS DE SOLOS, LOCAIS E CLIMAS EM QUE OCORREM

| IDENTIFICAÇÃO E<br>NOME REGIONAL                 | LOCAL            | CLIMA                              | REFERÊNCIAS                                              |
|--------------------------------------------------|------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| areia porosa                                     | Brasil           | úmido<br>(tropical)                | QUEIROZ (1960)<br>SHERRER (1965)                         |
| argila porosa                                    |                  |                                    | DECOURT (1971)<br>WOLLE ET AL. (1978)                    |
| loess                                            | EUA              | subúmido<br>árido e semi-<br>árido | CLEVINGER (1956)<br>GIBBS & BARA (1967)<br>SULTAN (1969) |
| loess                                            | URSS             | subúmido                           | DENISOV (1951)<br>SOKOLOVICH (1971)                      |
| solos arenosos                                   |                  | semi-árido                         | ABELEV (1975)                                            |
| areias com poucos<br>finos<br>solos avermelhados | Angola           | semi-árido<br>(tropical)           | FURTADO E MARTINS<br>(1973)                              |
| argilas :solos<br>vermelhos                      | Quênia           | úmido<br>(tropical)                | AITCHISON (1973)                                         |
| silte argiloso                                   | África do<br>Sul | semi-árido                         | JENNINGS & KNIGHT<br>(1957)                              |
| silte arenoso                                    |                  | semi-úmido<br>(tropical)           | BRINK & KANTEY<br>(1961)                                 |
| loess                                            | Israel           | semi-árido                         | KASSIF (1957)                                            |
| areia argilosa<br>(hamra)                        |                  |                                    | AITCHISON (1973)                                         |
| argila arenosa<br>(parra)                        | Austrália        | semi-árido                         | AITCHISON (1973)                                         |
| siltes e argilas<br>gipsíferos                   | Espanha          | semi-árido                         | AITCHISON (1973)                                         |
| loess                                            | Romênia          | úmido                              | BALLY ET AL. (1965)                                      |
| siltes ou argilas<br>com carbonatos;<br>loess    | Argentina        | subúmido                           | REGINATTO & FERRERO<br>(1973)<br><br>NUÑES (1975)        |

(Apud: Vilar et al., 1981)

## **2- Experiências Brasileiras**

Solos colapsíveis são encontrados em várias partes do Brasil. Particularmente na região Centro-Sul, são encontradas grandes extensões de área constituídas por este tipo de solo. Por exemplo, só no Estado de São Paulo, cerca de 50% de sua área é constituída de solos colapsíveis.

Devido ao grande desenvolvimento (agrícola, industrial e populacional) de regiões com esse solo colapsível, considerando-se obras implantadas e as que possivelmente serão, tornam-se cada vez mais importantes a identificação e a caracterização de seu comportamento.

Os primeiros trabalhos procurando caracterizar esses solos datam do final da década de 50, sendo que o grande impulso de seu estudo iniciou-se no final da década de 70.

Apresenta-se, a seguir, uma revisão dos principais trabalhos relatados à "caracterização de solos", "barragens e canais" e "fundações" em solos colapsíveis brasileiros.

### **2.1- Caracterização do Solo**

**VARGAS (1973)** citou a ocorrência de solos porosos nas camadas argilosas, no Planalto Sul Brasileiro, que apresentam porosidade entre 60% e 70% e que sofrem grandes mudanças de comportamento quando saturadas. Descreveu-se as propriedades mecânicas e o comportamento destes solos.

**VILAR (1979)** analisou o comportamento do solo superficial ("sedimentos modernos") da cidade de São Carlos - SP, quando submetido à compressão, para constatar que este solo apresenta estado instável, do tipo colapsível. Para isto, foram realizados ensaios laboratoriais (oedométricos) através de amostras indeformadas de solos, retiradas de três pontos distintos de um sítio urbano. As amostras foram ensaiadas em condições naturais (parcialmente saturadas) e inundando-se os corpos de prova em diferentes estágios de carregamento e submetidos à secagem parcial. Paralelamente, foram investigados os efeitos de inundação dos corpos de prova quando apresentavam condições naturais de umidade.

O autor também citou que em alguns solos o colapso ocorre apenas pela adição de água, porém, em outros, o colapso acontece quando as tensões aplicadas superam um valor limite. Com maior frequência, o fenômeno deve-se à ação de uma sobrecarga associada a um acréscimo ocasional do grau de saturação, sendo esta responsável pelas trincas nas alvenarias, apoiadas em fundações rasas, sofrendo um recalque súbito.

A inundação dos corpos de prova submetidos à secagem parcial provoca, por colapso da estrutura do solo, a variação volumétrica que estes mesmos corpos de prova sofreriam se ensaiados em condições naturais e inundados numa pressão entre 0 e 800KPa.

**SERAPHIM (1978)** estudou o solo superficial na cidade de Limeira - SP, constituído por uma camada de argila silto-arenosa, proveniente da decomposição de diabásios freqüentes na região. Através de amostras deformadas e indeformadas (30x30x30cm), obtidas em profundidades que variam de 1,00 a 1,20m, foram realizados ensaios de caracterização, adensamento e permeabilidade. Os ensaios de adensamento foram realizados no solo com umidade natural e com inundação em determinado estágio de carga. Os ensaios de permeabilidade foram realizados para estudo do solo superficial da região.

Constatou-se que:

- Ocorre lixiviação no solo superficial, havendo como consequência disso o carreamento dos finos para horizontes mais profundos, aumentando cada vez mais sua porosidade;
- A porosidade elevada do solo superficial torna-o susceptível a deformações, quando sujeito ao encharcamento, que podem comprometer estruturas apoiadas diretamente nestes solos.

O autor apresenta ainda diversas recomendações quanto à construção de obras sobre estes solos.

**FERREIRA & MONTEIRO (1985)** desenvolveram extenso estudo das características de colapsibilidade do solo coluvional e aluvional em Ilha Solteira - SP. Realizaram ensaios de caracterização rotineira e especiais (oedométricos e

triaxiais) em amostras retiradas de um poço com 18,0m de profundidade. Discutiram a influência do sobre-adensamento, pressão, sucção, amolgamento, índice de vazios, umidade e trajetória de tensões, nas características de colapso do solo.

Entre os diferentes métodos para estabilização de camadas finas destes solos colapsíveis, os autores propuseram sua pré-saturação e pré-carregamento, pois a redução do índice de vazios somente por carregamentos não é adequada, devido à necessidade da aplicação de altas tensões (até 800KPa).

**NEVES (1986)** apresentou uma revisão da literatura referente aos solos colapsíveis. Estudou o fluxo unidirecional da água nos solos, determinando o coeficiente de permeabilidade, apresentando as formas de sua determinação (tanto por métodos diretos como indiretos), e os fatores que influem na permeabilidade dos solos.

**COSTA (1986)** apresentou um trabalho de caracterização dos solos superficiais de Uberlândia - MG, com o objetivo de analisar o seu comportamento como maciço de fundação de obras de Engenharia Civil, destacando o problema da colapsibilidade.

Após ter ocorrido um grande recalque diferencial num edifício residencial, através de amostras retiradas em área urbana, verificou-se a presença de solos colapsíveis.

---

Foi feito um levantamento de sondagens à percussão, com quatorze pontos da cidade. Fez-se um estudo através de ensaios oedométricos com amostras indeformadas, com corpos de prova inundados em vários estágios de carregamento, para constatar a ocorrência do colapso.

Realizaram-se ensaios triaxiais em amostras indeformadas em condições naturais de campo e previamente inundadas, para avaliar o efeito do aumento do grau de saturação do solo na sua resistência ao cisalhamento. Em amostras deformadas, executaram-se os ensaios para determinação das propriedades físicas.

Esse autor destacou a perda de resistência ao cisalhamento e as grandes deformações causadas pelo aumento de umidade, deixando claro que fundações em estacas, utilizadas em Uberlândia, podem ser afetadas pelo fenômeno do colapso.

**MARCO et al. (1986)** apresentaram um trabalho para divulgar dados preliminares sobre as características geotécnicas básicas do subsolo, referentes à camada superficial porosa de areia argilosa da cidade de Boa Vista - RR. Realizaram sondagens à percussão e a trado.

Dois poços foram abertos, escavados até 7m, para retirar amostras deformadas e indeformadas (blocos de 30x30x30cm).

Dois blocos indeformados foram retirados de cada poço, das profundidades de 4,5m e 6,0m, para a realização de ensaios laboratoriais (adensamento) com inundação em determinadas pressões, a fim de verificar possíveis características colapsíveis do material constituinte da camada. Os valores de recalque obtidos nestas pressões apresentaram índices de ocorrência do fenômeno de colapsibilidade.

**LOPES (1987)** analisou o solo da cidade de Terra Roxa, no Oeste do Paraná, após ter ocorrido um evento natural causado pela precipitação pluviométrica de 154,6mm em 4 horas, em 11/5/83, ou de fenômenos associados ao tectonismo, causando sérios prejuízos à cidade: rachaduras; inclinação de paredes; muros; quebra de azulejos; rompimentos de encanamentos de água e esgotos, e outros.

Foram abertos poços e retiradas amostras a cada metro de profundidade, que foram ensaiadas para classificação do bloco e para determinação dos índices físicos. LOPES concluiu que os recalques decorreram da cidade estar assentada sobre solo laterítico, poroso e colapsível. O mecanismo causador dos danos esteve ligado ao colapso dos solos pelo encharcamento provocado pela chuva, ao qual se associaram efeitos combinados de empuxos hidrostáticos sobre as fundações e redução da resistência dos solos em razão da ação encharcamento x vibrações.

Recomendou-se a melhoria de fundações, de preferência a utilização de fundações profundas. Se isso não era uma solução econômica, recomendava-se então utilizar o processo de escavação e compactação do solo sob as fundações.

---

**FERREIRA (1991)** estudou três diferentes locais da região de Bauru - SP, objetivando a caracterização geotécnica da área, verificou a variação de suas propriedades com a profundidade e a obtenção de diversas correlações significativas entre alguns parâmetros encontrados. A localização dos poços foi feita aproveitando-se a escavação de tubulões a céu aberto e sua proximidade a furos de sondagens. Retiraram amostras cúbicas (25cm) indeformadas no fuste dos tubulões, possibilitando a realização de ensaios de permeabilidade, compressão triaxial, cisalhamento direto, adensamento e compressão simples.

Amostras deformadas foram retiradas para execução dos ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg, determinação dos índices físicos e ensaios de compactação normal.

Constatado ficou o caráter colapsível do solo através das diferenças significativas nas curvas " $e \times \log \sigma$ " relativas a solos em estado natural e após inundação.

## 2.2- Barragens e Canais

**QUEIROZ (1960)** estudou detalhadamente o problema da fundação da margem esquerda da barragem de Três Marias - MG, constituída por uma argila compressível porosa com densidade seca de  $1,2g/cm^3$ , que apresentou assentamentos de 1,5m da seção da represa, onde a sua altura é de 45m.

**VARGAS (1977)** estudou os recalques ocorridos na barragem de Ilha Solteira apoiada em solo poroso. Foram abertos cinco poços e retiradas amostras indeformadas e, posteriormente, foram submetidas a ensaios de adensamento. Algumas amostras foram saturadas em diferentes estágios de carregamento.

Observou-se, após saturação, uma brusca redução do índice de vazios, sem acréscimo de pressão. Verificou-se também que, aumentando-se a carga em amostras saturadas, o efeito diminuía, até que, ao chegar a pressões aplicadas, superiores a 800KPa, a redução do índice de vazios tornava-se desprezível. Para solucionar os problemas de recalques, que podem ocorrer em barragens de pequena altura, recomenda-se a escavação da camada porosa e a sua recompactação na cava aberta.

**SOUZA PINTO (1978)** relatou fundações de barragens em solos compressíveis e/ou de baixa resistência. Na parte relativa a solos colapsíveis, citou dois grupos: aqueles que

apresentam uma nítida mudança na razão tensão-deformação sem que se atinja a tensão de ruptura e aqueles cuja relação tensão-deformação não apresenta mudança abrupta se solicitado sem alteração de suas características iniciais. Neste caso, o colapso ocorre em virtude do aumento do grau de saturação. Os solos deste grupo são os de maior interesse para a Engenharia Nacional, porque neles se enquadram os solos porosos, tão comuns no nosso território e freqüentemente presentes nas fundações das ombreiras destas barragens.

Citando os trabalhos de VARGAS (1972, 1973, 1977); QUEIROZ (1960), relativos à barragem de Três Marias; DECOURT (1968, 1971), relativos à barragem de Promissão; SIGNER (1973), relativo à barragem de Ilha Solteira; VIOTTI (1975), relativo à barragem de São Simão, SOUZA PINTO (1978), disse que a experiência brasileira melhor documentada de fundações sobre solos porosos refere-se ao dique de Jurumirim, onde os recalques devidos à saturação do solo da fundação, com o enchimento em 1960, foram de 17cm, conforme relatado por SCHERRER (1965).

Enfatizou-se que o fato de os solos porosos serem colapsíveis não deve obscurecer o fato deles serem antes e, principalmente, muito deformáveis. De fato, os recalques de 50cm para barragem de 16m, como Jurumirim, ou de até 2m como no caso de Três Marias, de 40m de altura, são, por si só, consideráveis. Os recalques decorrentes da saturação são bem

menores, e o que preocupa neles é a sua ocorrência súbita, após a conclusão da barragem, enquanto que os recalques decorrentes do carregamento praticamente acompanham a execução.

---

Por outro lado, a compressibilidade do solo poroso, conseqüente da saturação, é máxima para um certo valor de pressão a ele aplicada, diminuindo tanto para pressões menores como para pressões maiores, chegando, neste caso, a ser nula para pressões acima de um certo valor.

Portanto, o problema da colapsibilidade é maior para barragens de pequena altura, como o dique de Jurumirim, do que para barragens maiores.

**WOLLE (1978)** estudou os solos do extremo norte do Estado de Minas Gerais, no município de Manga, para implantação do Projeto de Irrigação de Jaíba (PRODAIJ), devido aos danos ocorridos em 1977, em canal secundário. Foram executadas sondagens e abertos poços de onde se retiraram amostras indeformadas para realização de ensaios laboratoriais (oedométricos), verificando-se decréscimo no recalque por colapso com amostra em terreno natural. Realizaram-se também estudos para explicar o fenômeno da colapsibilidade através de ensaios de campo (geologia e pedologia), com microscopia de varredura, mostrando que os grãos de areia não mantêm contato grão a grão, mas sim através de pontes de silte e argila, ocorrendo vazios na

massa. Ao encharcar estes solos, sua estrutura torna-se instável.

Para solucionar o problema dos recalques por colapso, verificou-se que o tanqueamento após a terraplanagem, estando o solo com as tensões próximas das que atuariam na fase de operação do canal, é uma medida eficaz.

**VILAR (1981)** apresentou um relato da ocorrência de solos colapsíveis, dos métodos de identificação e das formas de tratamentos, citando a utilização de técnicas de escavação e depois compactação do solo em fundações de grandes barragens. Sendo este um processo caro, sugeriu que se façam estudos visando à construção de obras menores, com um custo menor.

**FUMIÓ (1982)** apresentou um trabalho de simulações de fluxo estacionário, pelo Método dos Elementos Finitos, utilizando uma seção homogênea típica de barragem de terra, apoiada sobre um perfil geológico, onde o solo "poroso" constitui a camada superior e, a transição solo-rocha, uma camada de maior permeabilidade. A influência de diferentes sistemas drenantes de fundação na estabilidade do talude de jusante é estudada, considerando-se as redes de fluxo obtidas e verificando-se a estabilidade do talude de jusante. Concluiu que a solução de drenagem na fundação de jusante que melhor se adapta às condições geotécnicas é

aquela que intercepta a camada de maior permeabilidade na transição solo-rocha, de preferência uma solução que mantenha o nível de água de jusante abaixo do nível do terreno de jusante.

---

**BENVENUTO (1982)** apresentou um trabalho sobre solos colapsíveis de origem aluvionar, ocorrido no norte do Estado de Minas Gerais, à margem direita do rio São Francisco, onde se implantou o Projeto de Irrigação do Distrito Agro-industrial de Jaíba (PRODAIJ).

Os critérios de identificação de solos colapsíveis foram baseados nos limites de consistência, comparando o volume de vazios do solo no estado natural indeformados, com o volume de vazios com teor de umidade no limite de liquidez. Apresentou os solos como porosos, não-saturados, de estrutura instável, ocorrendo bruscas variações em seu comportamento tensão-deformação quando aumentado o seu grau de saturação, sem mudar o estado de tensão, devido aos carregamentos externos.

Também foram realizadas sondagens à percussão e a trado com medida de permeabilidade dos materiais, mas sem efeito, por não apresentarem resultados para determinação de solos colapsíveis.

Foram coletadas amostras indeformadas em diversas profundidades ao longo do traçado, para ensaios laboratoriais, mostrando, assim, a presença de solos colap-

síveis; com isso, foram programados ensaios "in situ", através de cavas sobre o terreno e sobre um trecho experimental.

---

BENVENUTO ainda ressaltou a técnica para o conhecimento do fenômeno, de se avaliar a magnitude das deformações resultantes do colapso do solo em laboratório, para estimar os recalques na obra. Citou que a heterogeneidade dos corpos de provas provenientes de uma mesma amostra de solo pode dificultar a interpretação dos resultados.

**MENDONÇA (1993)** constatou a ocorrência de solos colapsíveis em Bom Jesus da Lapa, no Estado da Bahia, na região onde se desenvolveu um Projeto de Irrigação, delimitado ao norte pelo rio Corrente, afluente da margem esquerda do rio São Francisco.

Analizou-se o comportamento do solo de estrutura porosa, com baixo teor de umidade e baixo grau de saturação, concluindo-se que: a) os solos inundados apresentaram índices de compressão ( $C_c$ ) maiores que os solos com umidade natural; b) o pré-carregamento do solo provocou diminuição da deformação específica de colapso  $\epsilon_{vc}$ ; c) as curvas de [velocidade de colapso] x [tempo] apresentaram "picos", caracterizando uma aceleração inicial de deformações seguida de uma desaceleração, provavelmente pela forma com que se processa o avanço da frente de saturação; d) a deformação específica de colapso ( $\epsilon_{vc}$ ) apresenta uma correlação positiva com a

tensão vertical até 400KPa, tendendo a decrescer com o aumento da tensão de colapso.

---

**MORAES et al. (1994)** apresentaram estudos realizados no "Aproveitamento Hidroelétrico de Cana Brava em Goiás", no rio Tocantins, a cerca de 280km de Brasília, para a empresa Furnas Centrais Elétricas. O empreendimento previsto para entrar em operação no início de 1997 consistiu de uma barragem principal e vertedouro na calha do rio em concreto compactado.

Devido às características táteis-visuais e ao baixo valor de SPT avaliados pelas sondagens à percussão realizadas, foi citada a possibilidade de se remover o colúvio e o solo residual maduro. Este solo apresentou características de solos colapsíveis, pelos resultados de elevadas pressões neutras durante o cisalhamento em condições de carregamento não-drenadas. Numa tentativa de se avaliar a possibilidade de deixá-los na fundação, foram feitos ensaios com amostras indeformadas obtidas através de poços, porém esta possibilidade mostrou-se inviável, pela necessidade de construção de bermas estabilizantes muito largas.

**MIRANDA & MENESCAL (1994)** utilizaram o método dos Elementos Finitos para o programa UNSTRUCT (programa desenvolvido inicialmente para modelar o comportamento de

maciços não-saturados de solos colapsíveis), para analisar as tensões e deformações de solos saturados e não saturados, em fundações de barragens sobre solos colapsíveis.

---

Analísaram o efeito do seu peso e do desenvolvimento do fluxo da água, pela fundação após o enchimento do reservatório, para avaliar uma possível ruptura hidráulica.

Observou-se que os recalques, inicialmente mais acentuados no centro da barragem, com o avanço do fluxo mostraram uma variação que acompanhava a saturação do terreno de fundação.

**FERREIRA (1994)** reuniu um conjunto de termos, definições e técnicas de ensaios associado aos solos potencialmente colapsíveis, visando contribuir com uma futura normalização de ensaios e com um glossário de termos da mecânica dos solos não- saturados. Dividiu seu trabalho em três partes:

1º) Reflexões sobre algumas terminologias usadas para solos colapsíveis;

2º) Reunião de um conjunto de fatores (deformação do sistema, velocidade e forma de inundação, tipo de permeante, tempo e duração de cada estágio de pressão, etc.) que influenciam as deformações dos solos e técnicas de ensaios para as determinações da expansão "livre" e pressão de expansão;

3º) Estudo de um equipamento (expansocolapsômetro) para avaliar as deformações dos solos em diferentes profundidades

submetidos a determinado estado de tensão, com controle de vazão de inundação.

---

**CARVALHO (1994)** apresentou resultados e sugestões para o estudo do colapso de solos porosos naturais, tomando-se por base os solos naturais do Distrito Federal - Brasília. Concluiu que o colapso depende de sua estrutura, das variações dos estados de tensões e da agressividade do fluido de inundação aos vínculos estruturais e que quando se aumenta o grau de saturação do solo está se alternando seu estado de tensão através da redução da capilaridade x sucção existente.

**PAIXÃO & CARVALHO (1994)** estudaram os solos do Distrito Federal - Brasília, com estrutura porosa, os quais teriam sido submetidos, em sua formação, a um alto grau de intemperismo e lixiviação, que conduziu a esta estrutura porosa.

Foram realizados ensaios de colapso, paralelos a ensaios de adensamento, análises em microsonda eletrônica de varredura, em amostras provenientes da Asa Sul (Plano Piloto), concluindo-se que, com um aumento da umidade, ocorre uma redução da sucção e o enfraquecimento das ligações cimentíceas, causando a ruptura intergranular, com conseqüente redução do volume do solo.

**MENEZES & FRAGA (1994)** apresentaram uma revisão bibliográfica sobre solos colapsíveis, registrando conceitos básicos, características e propriedades. Foram apresentados também critérios de identificação e métodos de tratamentos para estes solos. Exemplificou-se a diferenciação entre colapso e recalque: no colapso ocorre uma redução de volume rápida e total, enquanto que no recalque a redução volumétrica normalmente é progressiva.

**MENDONÇA et al. (1994)** constataram a presença de solos colapsíveis no município de Bom Jesus da Lapa - BH, no Perímetro de Irrigação Formoso "A". Ressaltaram o processo de formação do solo colapsível e o mecanismo que desencadeia o colapso para a região estudada, analisando os aspectos geoclimáticos e resultados de ensaios de caracterização, microscopia eletrônica e físico-químicos realizados. Estes autores concluíram que o comportamento colapsível dos solos está intimamente relacionado com a sua estrutura, por sua vez consequência do processo de formação. Ressaltaram também a importância de se definir a estrutura do solo e o mecanismo desencadeador do colapso para as mais diversas regiões em que estes solos encontram-se, visando a um melhor entendimento do seu comportamento geotécnico. Observou-se a importante influência das propriedades do fluido de infiltração no desencadeamento do colapso.

**MARIZ & CASANOVA (1994)** apresentaram uma análise da influência de alguns fatores que provocam e atuam no colapso do solo sob inundação, tais como ar aprisionado no interior do solo durante o umedecimento e a velocidade com que este ocorre a partir da interação solo - líquido percolante. Para isso, foram realizados ensaios físico-químicos e oedométricos, utilizando-se líquidos inundantes com propriedades intrínsecas distintas entre si, proporcionando mudanças na interação solo-líquido inundante e na velocidade de umedecimento do solo.

Os autores concluíram que o mecanismo de colapso estrutural é fortemente influenciado pela velocidade com que ocorre o umedecimento do solo e, conseqüentemente, pela forma com que o ar aprisionado no interior dos poros é expulso.

**DIAS (1994)** apresentou um estudo da colapsibilidade realizado em latossolos situados no Rio Grande do Sul. Foram coletadas amostras indeformadas e realizados ensaios oedométricos em solos representativos dos diferentes tipos de classificação da pedogênese. Analisou-se a influência da pedogênese na formação destes solos e como esta influencia no seu comportamento mecânico. Concluiu que os solos arenosos apresentaram-se mais colapsíveis.

**VILAR & GAIOTO (1994)** apresentaram resultados preliminares sobre a influência da umidade de compactação e da sobrecarga nas deformações produzidas em solos lateríticos compactados, bastante utilizados como material de construção para aterros no interior do Estado de São Paulo. Realizaram ensaios de adensamento oedométricos, cujas amostras foram inundadas após equilíbrio das deformações sob uma carga de interesse. Os corpos de prova foram compactados dinamicamente, fazendo-se variar tanto a umidade quanto a densidade de moldagem.

Os autores concluíram que o solo inundado possui índices de vazios relativamente altos sofrendo colapsos crescentes com a sobrecarga: quanto maior a densidade com que foi compactado o solo, menores os colapsos. Acima da umidade ótima, os colapsos foram praticamente desprezíveis para todos os graus de compactação utilizados.

**CARVALHO (1994)** estudou o comportamento colapsível do solo de fundação de sete barragens (Bananal, Salinas, Samambaia, Santana, Setúbal, Mosquito e Calhauzinho), localizadas no Vale do Jequitinhonha, a partir de análises de resultados de ensaios de caracterização e oedométricos (88 ensaios), com inundação do solo sob uma carga de interesse, após equilíbrio das deformações, e cinco ensaios edométricos duplos, onde duas amostras foram ensaiadas, uma na umidade natural e outra inundada no início do ensaio.

A autora realizou ensaios específicos (porosimetria, microscopia eletrônica, difração de raios-X e químicos) no solo de cinco unidades. Identificou e quantificou o potencial de colapso destes solos, definindo seu mecanismo de colapso.

**CRUZ et al. (1994)** analisaram e estudaram a influência do estado do solo (porosidade, e umidade e estrutura) na magnitude dos colapsos. Além disso, também avaliaram a influência do pH do líquido de percolação no fenômeno. Este trabalho é parte de uma pesquisa desenvolvida pela CESP (Companhia Energética de São Paulo), que visa quantificar e procurar formas de mitigar os impactos do colapso.

### **2.3- Fundações**

**VILAR (1981)** apresentou uma revisão da literatura fornecendo critérios que permitem avaliar a magnitude dos recalques provenientes do colapso da estrutura do solo, baseados em três parâmetros: 1º) critérios que empregam o ensaio de adensamento com inundação do corpo de prova; 2º) critérios regionais desenvolvidos para determinadas ocorrências de solos, a partir de conceitos empíricos ou determinados testes rápidos; 3º) critérios baseados nos limites de consistência.

Estudos em amostras indeformadas ao microscópio

estrutura típica de solos colapsíveis, com partículas ligadas através de "cimento" argiloso, que sofre modificação por ocasião da saturação do solo. Tais estudos permitiram visualizar a existência de poros e canais ocasionados por animais (formigas) e vegetais (raízes), bem como pela lixiviação de minerais.

---

**GEHLING (1982)** apresentou um trabalho de caracterização de compressibilidade e colapsibilidade de solos porosos, no Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. Foram realizados ensaios de laboratório (oedométrico) sobre amostras indeformadas no estado natural. Um estudo minucioso na determinação da pressão de colapso foi realizado para cada nível de carregamento. Depois de cada carregamento e após 24h, a amostra foi saturada, sendo verificado o decréscimo do índice de vazios. Observou-se que só ocorriam variações consideráveis dos índices de vazios quando da saturação, nos solos que provinham de arenitos.

**NAKAO (1982)** apresentou um trabalho cujo objetivo principal era analisar os resultados das investigações geotécnicas executadas para o estudo das edificações, pontes e viadutos, estabilidade dos taludes de corte e aterros, terraplanagem e drenagem.

Foram feitas investigações de campo, através de ensaios de penetração de cone e coleta de amostras indeformadas em

Ao contrário dos solos superficiais porosos de outras regiões do Brasil (VARGAS 1973-1974), não foram observados colapsos sob o efeito da saturação.

---

**LIMA SOBRINHO (1983)** investigou experimentalmente, o comportamento do solo superficial ("sedimento moderno") de São Carlos. Foram abertos poços com aproximadamente 80cm de profundidade em três locais distintos do sítio urbano, de onde foram retirados blocos indeformados de solos, sobre os quais foram realizadas provas de carga em modelo, estando o solo com umidade natural e inundado. Foram executados também, sobre amostras indeformadas, ensaios de resistência para determinar as características do solo. Desenvolveu-se um projeto para o ensaio de prova de carga em modelo com duas amostras, simultaneamente, analisando-as, para verificar se o solo apresentava estrutura colapsável.

Concluiu-se que:

1º) A compactação do solo, mesmo para baixos graus de compactação, resulta num bom comportamento para o solo.

2º) Na prova de carga com três ciclos secamento-inundação, verificou-se que a inundação inicial é a causadora dos maiores recalques.

**GOLOMBECK (1985)** citou o caso de várias construções em Brasília com fundações em tubulões apoiados diretamente em solos porosos, que durante cinco a dez anos não apresentaram

problemas de recalques. Em consequência da elevação do lençol freático, devido ao enchimento da represa de Paranoá, estas construções começam a apresentar recalques, certamente pelo colapso das camadas de argila e silte e, provavelmente, pelo atrito negativo.

**MONTEIRO (1985)** apresentou um resumo de provas de cargas em solos coluvionares e colapsíveis, para avaliar as taxas de trabalho em núcleos residenciais, e linhas de transmissão, que podem ser úteis a cidades do Noroeste Paulista.

Provas de cargas foram executadas em brocas moldadas "in loco", acima do nível d'água, com lançamento de concreto a pequenas alturas. Ensaio oedométrico e triaxiais do tipo CD foram realizados em amostras indeformadas, bem como ensaios "in situ" de penetração dinâmica (SPT) e estática (CPT).

Concluiu-se que:

1º) Os primeiros metros deste solo são muito compressíveis e colapsíveis, devido à intensa lixiviação a que está exposto, não sendo recomendado que se faça o assentamento nesta região;

2º) Para pequenas obras residenciais, os colapsos observados após construções em geral não conduzem à ruína, mas apenas a trincas, necessitando de manutenção freqüente;

3º) Não se recomenda também o uso de sapatas rasas, devido ao colapso por inundação do material, devido a uma eventual ruptura de instalação hidráulica.

---

**MELLIOS (1985)** citou que, em virtude do grande desenvolvimento de obras nas cidades, tornam-se necessários mais estudos para determinar alguns parâmetros destes solos. Apresentou resultados de provas de carga em fundações diretas rasas e profundas e em estacas de concreto apilado, tipo "brocas", executadas em solos porosos das proximidades das Usinas de Ilha Solteira, Jupiá e Porto Primavera.

Chegou-se às seguintes conclusões:

1º) Estacas tipo "broca de concreto apilado" são boas para fundações em mantos espessos de solos porosos;

2º) Para solos porosos, recomendou-se as provas de cargas diretamente direcionadas para o problema específico, executadas nas condições mais adversas de trabalho, quando for o caso de saturação. O custo é baixo, diante da relevância das informações obtidas, quando o ensaio é executado criteriosamente.

**FERREIRA et al. (1985)** apresentaram correlações, em projetos de fundações rasas, entre a capacidade de carga de solos arenosos porosos [obtida através de provas de carga com placas circulares de  $\phi = 72\text{cm}$  (1 prova) e  $\phi = 81\text{cm}$  (7 provas) e fórmulas teóricas] e a resistência de ponta obtida

de ensaios penetrométricos usando o cone holandês (CPT). Os dados foram obtidos em areias porosas coluvionares das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, margens da bacia do Rio Paraná, cidades de Ilha Solteira e Primavera, as quais apresentaram deformabilidade acentuada e colapsos com a saturação.

Apresentaram-se soluções do tipo:

- 1º) Remoção e recompactação do solo;
- 2º) Pré-carregamento com saturação prévia;
- 3º) Utilização de fundações profundas.

**LOBO (1991)** desenvolveu um programa laboratorial para analisar o solo de Bauru - SP e verificar a influência da inundação nos parâmetros de resistência e compressibilidade do solo. Foram analisados dois programas de sondagens realizados em 1987 e 1988, em um total de 52 furos, em locais diferentes, mostrando a influência do nível do lençol freático nos valores dos índices de resistência à penetração.

O ensaio de compressão simples, com as amostras no estado natural e após borrifadas com água, mostrou ser um método simples e prático para se verificar o colapso estrutural.

As cargas últimas das estacas apiloadas resultaram superiores às das escavadas, quando ensaiadas com terreno natural ou inundado. Esta diferença observada nos ensaios

resistência do solo adjacente à estaca; o apiloamento do terreno destrói sua estrutura metaestável, criando ao redor da estaca um anel de solo fortemente compactado, com baixo índice de vazios e, conseqüentemente, menos susceptível de sofrer colapso.

**AGNELLI (1992)** estudou a colapsibilidade do solo de Bauru - SP, executando diversas provas de carga diretas no "campus" da UNESP. Foi aberto um poço de 20m de profundidade, coletando-se a cada metro escavado três amostras deformadas e três indeformadas, em forma de bloco cúbico.

Ensaaios de adensamento em condições naturais e inundados, em diferentes estágios de carregamento, realizados nas amostras indeformadas de até 2m de profundidade, serviram para identificar e quantificar a colapsibilidade do solo.

As amostras deformadas possibilitaram a execução dos ensaios convencionais: análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica dos sólidos e ensaio de compactação normal.

Foram executadas 36 estacas de reação em concreto armado, do tipo escavada, feita manualmente com trado-cavadeira no campo, que serviram para avaliação da capacidade de carga e na previsão de recalques, para o solo no estado natural e inundado.

Os ensaios oedométricos e as provas de carga executados no campo mostraram que o colapso devido à saturação do solo é tanto maior quanto mais elevada a pressão atuante no solo no momento da inundação. Todos os critérios de previsão de colapsibilidade permitiram classificar o solo pesquisado na categoria dos colapsíveis, em função dos resultados laboratoriais e de campo.

**TEIXEIRA (1993)** analisou os efeitos produzidos pela inundação do solo em estacas escavadas, ensaiadas à compressão, na cidade de São Carlos. Executou três provas de cargas lentas em estacas com  $\phi = 0,35$ ,  $\phi = 0,40$  e  $\phi = 0,50$ m e comprimentos de 10m, submetidas anteriormente a uma série de carregamentos (duas provas de carga rápida e duas lentas).

Os resultados relativos aos deslocamentos medidos no topo das estacas e os obtidos pela instrumentação instalada ao longo do fuste foram comparados para avaliação do efeito do umedecimento no comportamento carga x recalque e nos mecanismos de transferência de carga. O autor descreveu o processo utilizado para inundação do solo e os efeitos da não reposição de cargas em ensaios lentos, de longa duração.

**SOUZA (1993)** estudou o solo superficial da cidade de Ilha Solteira - SP, no noroeste do Estado de São Paulo. Ele buscou minimizar os custos construtivos de fundações de

Estudou o processo preventivo de compactação do solo solto, de fácil execução, apresentando-se como um mecanismo rápido e de baixo custo.

---

Retiraram-se amostras deformadas e indeformadas a 0,5;1,0;1,5;2,0m de profundidade, de uma trincheira escavada ao lado do campo de provas de carga. As amostras indeformadas foram extraídas em blocos de 30x30x30cm, para ensaios de adensamento.

As amostras deformadas serviram para determinar o peso específico dos sólidos, limite de liquidez, limite de plasticidade e os parâmetros de compactação. Foram realizadas quatro provas de carga em cava natural.

Chegou-se às seguintes constatações:

1º) Colapsibilidade do solo, através dos resultados obtidos nos critérios de colapsibilidade.

2º) Um grande recalque devido ao colapso nos ensaios de adensamento.

3º) Nos corpos de prova compactados, além de se obter um baixo valor no índice de vazios, observou-se uma pequena compressibilidade do mesmo.

4º) Quando em seu teor de umidade natural o solo tem uma tensão admissível média de  $53\text{KN}/\text{m}^2$ , quando da inundação, a uma tensão de  $60\text{KN}/\text{m}^2$  o mesmo experimenta um colapso de 36,6mm.

5º) Quando em seu teor de umidade natural o solo tem uma tensão admissível média de  $115\text{KN}/\text{m}^2$ , quando da inundação, a

uma tensão de  $60\text{KN}/\text{m}^2$ , tem sua tensão admissível reduzida para  $82\text{KN}/\text{m}^2$  e sofre um recalque de apenas 3,5mm.

6º) Comparando-se o solo em seu teor de umidade natural com o solo compactada em teor de umidade ótima, tem-se que carga admissível tem uma melhora média de 110%, demonstrando que o processo de compactar o solo subjacente é eficiente.

**ALBIERO et al. (1993)** apresentaram um trabalho onde abordaram o emprego de fundações no interior do Estado de São Paulo, sob diferentes tipos de utilização, com vários resultados de provas de carga. Enfocaram o efeito da colapsibilidade no resultado de sondagens de simples reconhecimento e no comportamento de fundações rasas e profundas. Os autores abordaram problemas relacionados ao comportamento dos solos nestas regiões.

**CARNEIRO et al. (1994)** apresentaram correlações experimentais entre cargas últimas à tração e à compressão de estacas, obtidas através de provas de carga realizadas no Campo Experimental de Fundações da USP - São Carlos. Foram analisadas estacas apiloadas e escavadas com comprimentos de 6m e diâmetros de 20 e 25cm, respectivamente, embutidas em solo comprovadamente de estrutura colapsível. Também estudaram estacas do tipo "STRAUSS", com comprimentos de 9m e diâmetros de 32cm.

Concluiu-se o seguinte:

1º) Não se recomendam estacas escavadas embutidas totalmente em solo colapsível (estaca flutuante), principalmente para sistemas que solicitem a estaca à tração, pois apresentam-se mais susceptíveis ao fenômeno de colapsibilidade da ligação solo-estaca.

---

2º) As estacas apiloadas apresentaram melhor desempenho ao colapso, quando comparadas com as escavadas.

3º) O apiloamento do solo não foi suficiente para eliminar a propensão ao colapso das estacas quando inundadas, contudo serviu para prorrogar a colapsibilidade da ligação solo-estaca.

**CARVALHO & ALBUQUERQUE (1994)** realizaram duas provas de carga a tração com estacas de pequeno porte ( $d = 0,25\text{m}$ ,  $L = 6,0\text{m}$ ), escavadas à trado, em solos colapsíveis, na cidade de Ilha Solteira - SP. Uma das provas foi realizada com o solo em sua umidade natural, sendo a estaca instrumentada ao longo da profundidade. A outra prova de carga foi realizada após inundação do solo, procurando-se, assim, obter sua saturação. Os resultados obtidos são comparados com resultados de outras provas de carga à tração realizadas em cidades com solos semelhantes.

**CAMACHO (1994)** procurou neste trabalho contribuir para o conhecimento do comportamento de camadas não compactadas de solo superficial quando servem de suporte para rodovias.

sob ações repetidas das cargas de tráfego. A partir de amostras indeformadas colhidas às margens da rodovia SP - 310, no trecho Pereira Barreto - Ilha Solteira, no noroeste do Estado de SP. Realizou-se ensaios triaxiais dinâmicos sobre corpos de provas.

Foram retiradas amostras em três diferentes profundidades (1,60; 3,20; 4,80m), permitindo que se observassem suas características de deformabilidade em cada nível e suas variações ao longo do perfil.

A influência do umedecimento sobre tais características também foi verificada.

**CRUZ et al. (1994)** avaliaram o comportamento de fundações diretas assentes em solo poroso, situado na região noroeste do Estado de São Paulo, próximo à Ilha Solteira. Este solo é sujeito ao colapso devido à ascensão do lençol freático, que provoca aumento de umidade sob a fundação e conseqüente recalque.

Foram construídas, em local previamente escolhido, diversas estruturas carregadas (cargueiras) à margem do futuro lago da UHE Três Irmãos e, durante um ano, foram observados os recalques provocados pela elevação do lençol freático durante o enchimento do reservatório, comparando-se os resultados obtidos com provas de carga em placas e ensaios laboratoriais.

### III- METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE COLAPSIBILIDADE DO SOLO

Algumas das metodologias disponíveis para a identificação de solos colapsíveis seguem praticamente três critérios:

- Critérios "regionais" desenvolvidos para determinadas ocorrências de solos ou regiões, a partir de conceitos empíricos ou de determinados testes rápidos:

a) ARMAN & THORNTON (1973) utilizaram critérios baseados na densidade seca e na umidade para  $LL > 20\%$ , para solos não-cimentantes.

b) Para SULTAN (1971), esse critério não deu informações quanto aos recalques provocados pela saturação de solos colapsíveis. Só abordaram a influência da porosidade e o grau de saturação.

- Critérios baseados nos limites de consistência:

a) DENISOV (1951) propôs a utilização de um coeficiente de subsidência (K) com base na relação entre o índice de vazios do solo no estado do limite de liquidez ( $e_L$ ) e no estado natural ( $e_0$ ).

b) PRIKLONSKIJ (1952), critério citado por FEDA (1966), definiu um coeficiente ( $K_d$ ) em função dos limites de Atterberg (liquidez,  $LL$ ; plasticidade,  $LP$ ) e do teor de umidade natural ( $W_0$ ).

c) FEDA (1966) propôs um coeficiente ( $K_L$ ) onde os solos que apresentam grau de saturação menor que 60% são

d) GIBBS & BARA (1967) propuseram a identificação dos solos colapsíveis do Canal de San Louis, na Califórnia, onde o teor de umidade ( $W_{sat}$ ) é o teor necessário para o solo atingir um grau de saturação igual a 100%. Por este critério os solos colapsíveis apresentam  $R > 1$ .

- Critérios que empregam o ensaio de adensamento com inundação do corpo de prova (DEISOV, 1951; JENNINGS & KNIGHT, 1957 (ensaio de adensamento duplos); REGINATTO & FERRERO, 1973).

Os critérios baseados nos limites de consistência, na sua quase totalidade, buscam relacionar o índice de vazios ( $e_L$ ) necessário para conter a umidade do solo correspondente ao limite de liquidez ( $L_L$ ) e o índice de vazios natural ( $e_o$ ), ou se utilizam do conceito do índice de consistência.

O QUADRO II apresenta alguns desses critérios, onde se usam as seguintes convenções:

- Teor de umidade natural:  $W_o$
- Grau de saturação do solo natural:  $S_r$
- Limite de plasticidade:  $L_p$
- Teor de umidade para completa saturação do solo:  $W_{sat}$

## QUADRO II - CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS COLAPSÍVEIS

| Referência                | Expressão                                       | Observações                                                                                                |
|---------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DENISOV<br>(1951)         | $K = \frac{e_L}{e_o}$                           | Para valores de K de 0,50 a 0,75, os solos são altamente colapsíveis                                       |
| PRIKLONSKIJ<br>(1952)     | $k_D = \frac{L_L - W_0}{L_L - L_P}$             | Para valores de $K_d < 0$ , os solos são colapsíveis; para $K_d > +0,5$ , os solos não são colapsíveis     |
| FEDA<br>(1966)            | $K_L = \frac{(W_o / S_{r_o}) - L_P}{L_L - L_P}$ | Esta expressão é válida para $S_{r_o} < 60\%$ .<br>Para valores de $K_L > 0,85$ , os solos são colapsíveis |
| GIBBS &<br>BARA<br>(1967) | $R = \frac{W_{sat}}{L_L}$                       | Quando $R > 1$ , os solos são colapsíveis                                                                  |

Fonte: VILAR et al., 1981

Uma representação gráfica do critério de GIBBS & BARA (1967) está na FIGURA 13. Este critério vem sendo utilizado rotineiramente pelo Bureau of Reclamation, desde a construção do San Louis Canal (KNOBEL, 1981).

Enquanto os critérios anteriores são apenas qualitativos, a opção do ensaio de adensamento com inundação permite também avaliar a magnitude dos recalques provenientes do colapso da estrutura do solo.

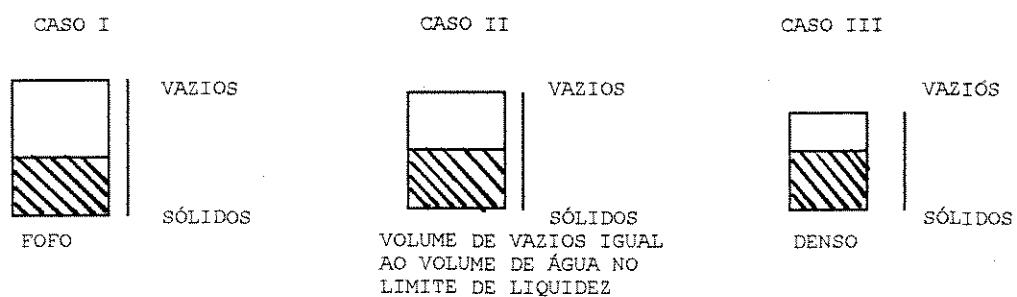
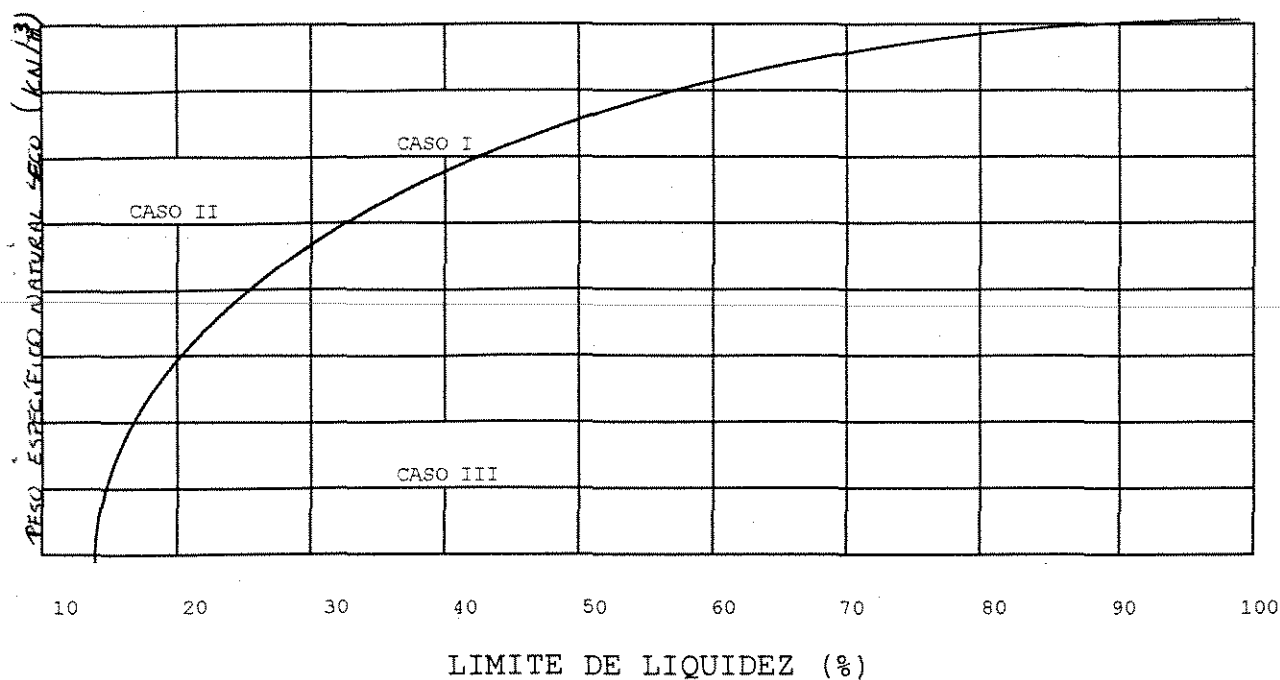


FIGURA 12 - critério para identificar solos colapsíveis  
(GIBBS & BARA - Apud VILAR et al., 1967)

No ensaio de adensamento com inundação por estágios, após estabilização dos recalques decorrentes do carregamento, inunda-se o corpo de prova e registram-se os recalques adicionais (FIGURA 13).

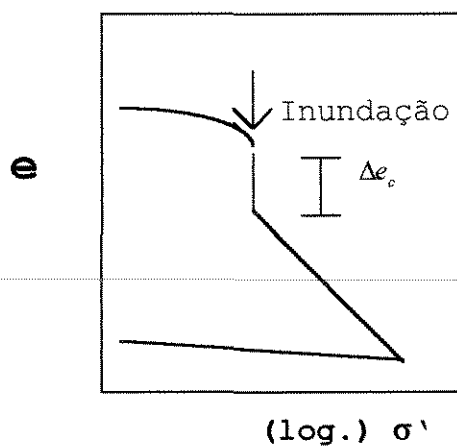


FIGURA 13 - Ensaio de adensamento com inundação por estágios de carregamento

(VILAR et al., 1981)

Segundo VARGAS (1978), os solos que apresentam  $i > 0,02$  são definidos como colapsíveis, onde  $i$  é o coeficiente de colapso estrutural definido pela relação:

$$i = \frac{\Delta e_c}{1 + e_i} \quad \text{Eq. (1)}$$

onde:

$\Delta e_c$  = variação do índice de vazios devido ao colapso da estrutura do solo;

$e_i$  = índice de vazios antes da inundação.

No ensaio duplo de adensamento proposto por JENNINGS & KNIGHT (1957), conduzem-se paralelamente dois ensaios de adensamento: um com o teor de umidade natural e outro com a amostra inundada antes do primeiro carregamento.

Após o ensaio, são traçadas as curvas  $e \times \log \sigma_v$  correspondentes aos dois corpos de provas (FIGURA 14).

Pode-se notar que nesta FIGURA as curvas não possuem o mesmo índice de vazios inicial. Então, os autores propuseram um ajuste das curvas, o qual consiste em transladar verticalmente a curva da amostra em umidade natural até o ponto  $(\sigma_{v0}, e_0)$ , onde  $\sigma_{v0}$  é a tensão vertical devido ao peso próprio do solo no campo e  $e_0$  o índice de vazios sob essa tensão.

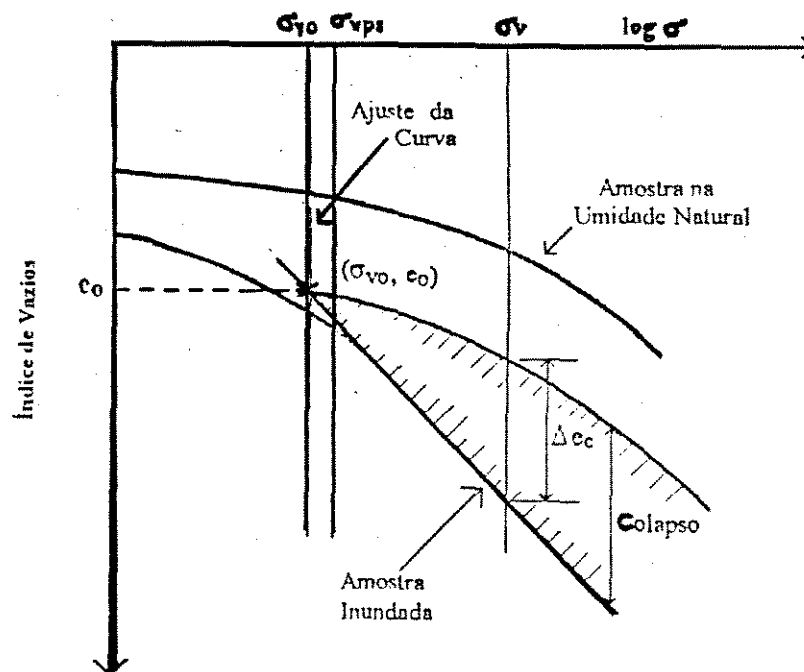


FIGURA 14 - Ensaio duplo de adensamento  
(JENNINGS & KNIGHT - Apud VILAR et al., 1957)

Comparando-se a tensão de pré-adensamento do solo inundado ( $\sigma_{vps}$ ) com a tensão vertical ( $\sigma_{v0}$ ), existem duas condições:

- Se  $\sigma_{vps}/\sigma_{v0}$  estiver entre 0,8 e 1,5 (caso normalmente adensado), o ajuste é feito transladando a curva até o ponto ( $\sigma_{v0}, e_0$ ) sobre a reta virgem.

---

- Se  $\sigma_{vps}/\sigma_{v0} > 1,5$  (caso pré-adensamento), o ajuste é feito como no caso anterior, porém o ponto ( $\sigma_{v0}, e_0$ ) não está sobre a reta virgem.

Esses ajustes só devem ser aplicados aos solos que, sob a solicitação do peso próprio ( $\sigma_{v0}$ ), não sofrem colapso quando inundados, ou seja, quando não ocorre variação do ponto ( $\sigma_{v0}, e_0$ ). De acordo com JENNINGS & KNIGHT, citados por MENDONÇA (1990), solos que apresentam este comportamento são razoavelmente antigos e localizados em regiões que apresentam períodos com um alto índice pluviométrico. Tais ajustes não se aplicam a solos depositados recentemente, os quais sofrem colapso com aumento da umidade, mesmo sem aplicação de sobrecarga.

Na verdade, em que pese o enorme acervo de dados referentes ao assunto, pode-se dizer que não existe um critério absolutamente confiável para identificação de solos colapsáveis, pois, embora em alguns lugares esta identificação seja imediata (decorrente, por exemplo, da

formação geológica e do clima local), há situações em que o reconhecimento é difícil, mesmo nas etapas iniciais de investigação e/ou construção (ARMAN & THORNTON, 1973; WOLLE et al., 1978; CLEMENTE & FINBARR, 1981).

Os recalques decorrentes do colapso nem sempre podem ser estimados com segurança a partir dos ensaios de adensamento com inundação. A incerteza pode ocorrer, segundo AITICHISON (1973), devido ao fato de que a magnitude do colapso deve ser dependente do estado inicial de umidade do solo. Acrescentou ainda o autor, que o mecanismo de colapso deve ser dependente da trajetória de tensões experimentada pelo solo e que outros mecanismos deflagradores do processo de colapso, que não a água, podem interferir conjuntamente, como o vazamento de hidróxido de sódio ou mesmo ações biológicas devido a presença de cupins, formigas, minhocas, raízes, etc..

## **IV- MATERIAL E MÉTODOS**

### **1- Introdução**

Através dos estudos de caracterização do solo e utilizando-se de critérios para identificação de solos colapsíveis, procurou-se verificar o potencial de colapsibilidade do solo.

Foram realizados os ensaios de:

- caracterização;
- oedométricos;
- difração de raios-X;
- também foram confeccionadas lâminas para análise micromorfológica do solo.

### **2- Ensaio de Caracterização**

Os ensaios de caracterização foram realizados, na maioria, conforme especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Limite de plasticidade (NBR 7180/84);

Limite de liquidez (NBR 6459/84);

Peso específico dos grãos (NBR 6508/84).

No ensaio para análise granulométrica, foram testados inicialmente três métodos:

- 1) Método da pipeta, com a solução de NaOH + hexametáfosfato de sódio;

2) Método da ABNT com a solução de hexametafosfato de sódio + carbonato de sódio;

3) Método com a solução de hexametafosfato de sódio puro.

---

Como os três métodos adotados mostraram resultados muito semelhantes, optou-se pelo primeiro para caracterização das amostras.

### **3- Ensaaios Oedométricos**

Os ensaios oedométricos são, até o presente, os mais indicados na determinação do comportamento do solo, quanto à colapsibilidade. Visando analisar este comportamento, foram realizados ensaios oedométricos simples e duplos, em amostras indeformadas de solo.

O ensaio duplo, proposto por JENNINGS & KNIFHT (1957), consiste em submeter duas amostras de mesmo solo, uma na umidade natural e a outra previamente inundada, as mesmas cargas e comparar as deformações. Já o ensaio simples consiste, basicamente, em carregar uma amostra no teor de umidade natural até uma determinada tensão, e inundá-la, medindo-se as deformações provocadas pelo umedecimento.

Conforme VARGAS (1979), a grandeza que quantifica o colapso, para uma determinada tensão vertical, é a

deformação específica de colapso ( $\varepsilon_{VC}$ ), cujo valor é dado por:

$$\varepsilon_{VC} = \frac{\Delta e_c}{1 + e_1} \quad \text{Eq. (2)}$$

onde:

$\Delta e_c$  = variação do índice de vazios resultante da inundação;

$e_1$  = índice de vazios imediatamente antes do colapso (FIGURA14).

Para o ensaio duplo:

$\Delta e_c$  = variação entre os índices de vazios das curvas dos dois corpos de prova para uma tensão considerada;

$e_1$  = índice de vazios da amostra no teor de umidade natural sob a mesma tensão.

A equação 2 também pode ser representada em função da deformação específica:

$$\varepsilon_{VC} = \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_i}{1 - \varepsilon_i} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde:

$\varepsilon_i$  = deformação específica resultante do carregamento da amostra na umidade natural para um determinada tensão vertical;

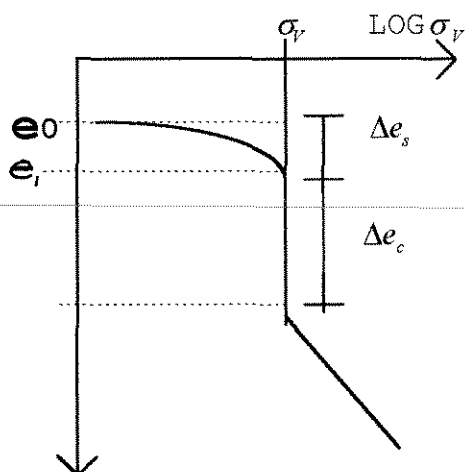
$\varepsilon_c$  = deformação específica da amostra resultante do carregamento e inundação na mesma tensão vertical. Tais deformações específicas são em função da altura inicial do corpo de prova. As FIGURAS 15a e b apresentam os significados gráficos das deformações específicas para os ensaios.

Os corpos de prova usados nos ensaios edométricos foram obtidos pela cravação do anel biselado em blocos indeformados (25 x 25 x 25cm) de solo. Utilizaram para os ensaios:

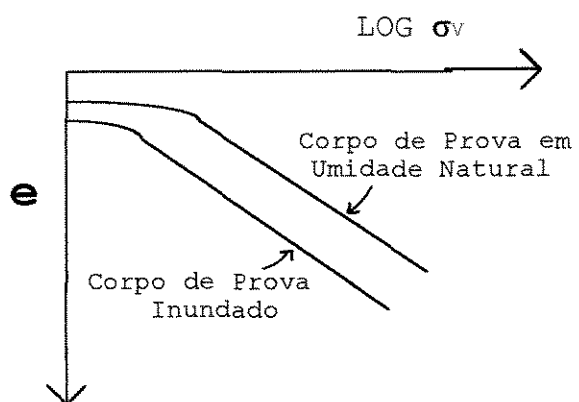
Prensa de adensamento do tipo WYKEHAM FARRANCE ENG. Ltda, SLOUGH ENGLAND (modelo nº 24.000, série 11.45);

Extensômetro tipo MITUTOYO (0,01 -10mm) nº 2046; e anéis edométricos, tipo 3 (Grande);  $\phi = 3''$  (7,26cm); altura = 1,92cm, área = 45,6 cm.

A maior parte dos corpos de prova nos ensaios edométricos (simples, duplo) foram submetidos a estágios de carregamento de 13; 25; 50; 98; 194; 387; 773; 1545KPa, com duração em torno de 24h ou até a estabilização das deformações; descarregamento de 1545; 387; 98; 25KPa.



a) ensaio oedométrico "simples"



b) ensaio oedométrico "duplo"

FIGURA 15 - Significado Gráfico das Deformações  
(Apud Mendonça., 1993)

#### 4- Difração de Raios-X

Tanto as propriedades químicas como as físicas do solo são amplamente controladas pelos seus minerais, de maneira especial por aqueles constituintes da fração argila. A identificação, a caracterização e o entendimento das propriedades dos diferentes minerais do solo ajudam na avaliação de seus comportamentos. A identificação e a estimativa das proporções das várias espécies minerais num sistema policomposto como o solo exigem aplicação de diversas análises. Um dos métodos mais comumente utilizados é a análise da difração de raio-X.

Para identificar e avaliar uma estrutura de solo colapsível, é muito importante conhecer os constituintes mineralógicos (ensaios de difração de raios-X), as características químicas do solo e também as características químicas do líquido que satura o solo, bem como suas interações físico-químicas.

#### 5- Lâminas para Análise Micromorfológica

Foram preparadas três lâminas delgadas (espessura 30 $\mu$ ) confeccionadas a partir de amostras indeformadas às

profundidades de 0,50-0,75; 4,75-5,00; 7,75-8,00m, previamente impregnadas com material à base de resina Polylyte T208 (pré-acelerada) e depois cortadas e polidas de maneira idêntica às preparadas para estudos petrográficos, conforme técnica adaptada por CHAUVEL (em 1979 no IG/USP) e resumida por CASTRO (1985).

A observação foi feita com microscópio óptico polarizante binocular (tipo petrográfico) Axiophot, ZEISS, sob luz natural (LN) e polarizada (LP), com o fim de identificar inicialmente os constituintes: plasma - fração granulométrica menor/igual  $2\mu$ ; o esqueleto - fração granulométrica compreendida entre 2 e  $2000\mu$ ; feições pedológicas - diferenças na concentração de certos elementos promovidas por adição, perda e/ou transformação de matéria ou por modificações do plasma "in situ", ligadas a de fenômenos pedogênese (pedoplasmação, pedoturbação). Posteriormente, para identificar as formas de organização dos constituintes, tais como: estruturas plásmicas - arranjo espacial das partículas plásmicas entre si segundo diferentes direções; estruturas de base (também conhecida como fábrica ou trama) resultantes do arranjo espacial entre plasma, esqueleto e poros que constituem o fundo matricial (ou S - matriz) dos agregados elementares).

Os procedimentos para a observação e descrição sistemática foram extraídos e adaptados para o português, recentemente consubstanciados num pequeno guia apostilado (CASTRO, 1989 - DG/IPT, no prelo). Tais procedimentos, além de implicarem na identificação dos constituintes e na sua estatística elementar (contagem, distribuição, tamanho, teores relativos, etc.), ainda envolveram critérios de arranjo, tipologia, natureza, hierarquia e cronologia entre as diversas organizações.

A descrição obedeceu a critérios de organização das lâminas por perfil, à observação inicial sob baixo aumento seguido de aumentos progressivamente maiores até que fossem selecionados campos e sítios representativos para a caracterização das organizações presentes (CASTRO, 1989).

As observações foram acompanhadas por fotos, para caracterizar sobretudo a evolução vertical dos arranjos.

## V- RESULTADOS

### 1- Ensaaios de Caracterização

Os resultados dos ensaios de caracterização, para as amostras submetidas à verificação da colapsibilidade, estão presentes a seguir, nas TABELAS 2 a 9. Nas FIGURAS 15 a Fig. 39 apresentam-se os resultados em forma de gráficos:

**TABELA 2 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**

| PROFUNDIDADE<br>(m) | ARGILA<br>(%) | SILTE<br>(%) | AREIA<br>MÉDIA<br>(%) | AREIA<br>FINA<br>(%) |
|---------------------|---------------|--------------|-----------------------|----------------------|
| 0,50-0,75           | 64            | 10           | 20                    | 6                    |
| 0,50-0,75           | 63            | 10           | 21                    | 6                    |
| 0,50-0,75           | 61            | 11           | 22                    | 6                    |
| 1,75-2,0            | 65            | 7            | 22                    | 3                    |
| 2,75-3,00           | 67            | 8            | 20                    | 6                    |
| 3,75-4,00           | 61            | 13           | 21                    | 5                    |
| 4,75-5,00           | 60            | 15           | 21                    | 5                    |
| 5,90                | 44            | 25           | 30                    | 4                    |
| 6,50                | 45            | 19           | 27                    | 7                    |
| 6,75-7,00           | 45            | 30           | 22                    | 3                    |
| 7,75-8,00           | 39            | 33           | 25                    | 3                    |
| 8,75-9,00           | 36            | 36           | 25                    | 3                    |
| 9,75-10,00          | 35            | 36           | 27                    | 2                    |
| 10,75-11,00         | 32            | 39           | 26                    | 3                    |
| 11,75-12,00         | 29            | 40           | 28                    | 3                    |
| 12,75-13,00         | 28            | 43           | 27                    | 2                    |
| 13,75-14,00         | 26            | 40           | 31                    | 3                    |
| 14,75-15,00         | 26            | 40           | 32                    | 2                    |
| 15,75-16,00         | 27            | 44           | 28                    | 1                    |
| 16,75-17,00         | 28            | 39           | 32                    | 1                    |
| 18,00               | 28            | 37           | 35                    | 0                    |
| 19,00               | 32            | 34           | 34                    | 0                    |
| 20,00               | 30            | 39           | 30                    | 1                    |

TABELA 3 - ENSAIOS DE LIMITES DE CONSISTÊNCIA

LL - LP

| PROFUNDIDADE<br>(m) | LL    | LP    | IP    |
|---------------------|-------|-------|-------|
| 0,50-0,75           | 52,10 | 35,26 | 16,84 |
| 1,75-2,00           | 51,60 | 38,14 | 13,56 |
| 2,75-3,00           | 51,00 | 35,66 | 15,34 |
| 3,75-4,00           | 51,55 | 37,13 | 13,57 |
| 4,75-5,00           | 48,60 | 36,60 | 12,00 |
| 6,50                | 57,60 | 41,04 | 16,65 |
| 6,75-7,00           | 62,10 | 43,12 | 18,98 |
| 7,75-8,00           | 65,55 | 47,25 | 18,25 |
| 8,75-9,00           | 69,00 | 48,03 | 20,97 |
| 9,75-10,00          | 72,80 | 48,81 | 23,99 |
| 10,75-11,00         | 68,00 | 49,76 | 18,24 |
| 11,75-12,00         | 70,20 | 46,43 | 23,67 |
| 12,75-13,00         | 70,75 | 46,49 | 24,41 |
| 13,75-14,00         | 64,10 | 43,05 | 21,05 |
| 14,75-15,00         | 61,20 | 41,02 | 20,58 |
| 15,75-16,00         | 62,60 | 39,11 | 23,39 |
| 16,75-17,00         | 74,00 | 38,03 | 35,97 |

TABELA 4 - PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS, PESO ESPECÍFICO  
NATURAL E UMIDADE

| PROFUNDIDADE<br>(m) | $\sigma_s$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\sigma_{nat}$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | W<br>(%) |
|---------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------|
| 0,50-0,75           | 3,03                               | 1,34                                   | 24,31    |
| 1,75-2,00           | 3,01                               | 1,30                                   | 23,35    |
| 2,75-3,00           | 3,02                               | 1,30                                   | 22,80    |
| 3,75-4,00           | 2,99                               | 1,30                                   | 23,68    |
| 4,75-5,00           | 3,02                               | ----                                   | -----    |
| 5,90                | 3,08                               | 1,54                                   | 24,64    |
| 6,50                | 3,04                               | ----                                   | -----    |
| 6,75-7,00           | 3,05                               | 1,54                                   | 26,33    |
| 7,75-8,00           | 3,03                               | ----                                   | 28,14    |
| 8,75-9,00           | 3,01                               | 1,48                                   | 30,90    |
| 9,75-10,00          | 3,00                               | 1,54                                   | 30,50    |
| 10,75-11,00         | 2,99                               | 1,51                                   | -----    |
| 11,75-12,00         | 2,96                               | ----                                   | 33,80    |
| 12,75-13,00         | 2,97                               | 1,61                                   | -----    |
| 13,75-14,00         | 3,06                               | ----                                   | 32,80    |
| 14,75-15,00         | 3,02                               | 1,64                                   | -----    |
| 15,75-16,00         | 3,01                               | ----                                   | 39,20    |
| 16,75-17,00         | 3,03                               | 1,67                                   | -----    |
| 18,00               | 2,99                               | ----                                   | -----    |
| 19,00               | 3,01                               | ----                                   | -----    |
| 20,00               | 2,95                               | ----                                   | -----    |

TABELA 5 - ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

| Amostra                                | Rc (Kpa) - Campinas |
|----------------------------------------|---------------------|
| 01                                     | 26,2                |
| 02                                     | 48,0                |
| 03                                     | 40,7                |
| 04                                     | 11,2                |
| 05                                     | 54,1                |
| 06                                     | 76,1                |
| 07                                     | 59,7                |
| 08                                     | 50,6                |
| 09                                     | .....               |
| 10                                     | .....               |
| OBS: ..... quando não existe a amostra |                     |

Apud GIACHETTI (1991)

TABELA 6 - ENSAIO TRIAXIAL ADENSADO RÁPIDO

| Local | Amostra | Prof<br>(m) | Tensões Efetivas |             | Tensões Tot<br>c (Kpa) |
|-------|---------|-------------|------------------|-------------|------------------------|
|       |         |             | c' (KPa)         | $\phi'$ (°) |                        |
| C     | 1       | 0,95        | 5                | 36,5        | 5                      |
| A     | 2       | 2,10        | 3                | 37,0        | 11                     |
| M     | 3       | 3,20        | 0                | 35,0        | 2                      |
| P     | 4       | 4,50        | 0                | 32,0        | 0                      |
| I     | 5       | 5,65        | 11               | 34,0        | 18                     |
| N     | 6       | 6,80        | 28               | 26,0        | 31                     |
| A     | 7       | 7,85        | 10               | 31,5        | 18                     |
| S     | 8       | 8,90        | 59               | 17,5        | 64                     |
|       | média   | -----       | 15               | 31,2        | 19                     |

Apud GIACHETTI (1991)

## a) Profundidade 0,50-0,75m

| Pressão<br>( $Kgf/cm^2$ ) | e (Umidade<br>Natural) | e<br>(inundado) | Cv<br>(Umid.Nat) | Cv<br>(Inund.) |
|---------------------------|------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 0                         | 1,530                  | 1,670           | -----            | -----          |
| 13                        | 1,511                  | 1,609           | 2,033            | 2,650          |
| 25                        | 1,498                  | 1,582           | 2,651            | 3,152          |
| 50                        | 1,472                  | 1,537           | 3,598            | 2,619          |
| 98                        | 1,431                  | 1,460           | 3,579            | 1,269          |
| 194                       | 1,345                  | 1,311           | 1,575            | 2,542          |
| 387                       | 1,230                  | 1,141           | 2,564            | 4,843          |
| 773                       | 1,135                  | 0,970           | 1,743            | 3,239          |
| 1545                      | 1,026                  | 0,739           | 2,394            | 2,259          |
| 387                       | 1,067                  | 0,861           | -----            | -----          |
| 98                        | 1,081                  | 0,897           | -----            | -----          |
| 25                        | 1,100                  | 0,897           | -----            | -----          |

## b) profundidade 4,75-5,00m

| Pressão<br>( $Kgf/cm^2$ ) | e (Umidade<br>Natural) | e<br>(inundado) | Cv<br>(Umid.Nat) | Cv<br>(Inund.) |
|---------------------------|------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 0                         | 1,590                  | 1,740           | -----            | -----          |
| 13                        | 1,565                  | 1,713           | 2,033            | 0,903          |
| 25                        | 1,551                  | 1,673           | 3,169            | 1,071          |
| 50                        | 1,524                  | 1,619           | 5,175            | 1,288          |
| 98                        | 1,493                  | 1,537           | 3,576            | 0,885          |
| 194                       | 1,442                  | 1,424           | 1,689            | 1,253          |
| 387                       | 1,387                  | 1,262           | 1,393            | 1,222          |
| 773                       | 1,267                  | 1,092           | 1,641            | 1,180          |
| 1545                      | 1,107                  | 0,939           | 0,783            | 0,784          |
| 387                       | 1,134                  | 0,962           | -----            | -----          |
| 98                        | 1,150                  | 0,981           | -----            | -----          |
| 25                        | 1,157                  | 0,995           | -----            | -----          |

## c) Profundidade 7,75-8,00m

| Pressão<br>(Kgf / cm <sup>2</sup> ) | e (Umidade<br>Natural) | e<br>(inundado) | Cv<br>(Umid.Nat) | Cv<br>(Inund.) |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 0                                   | 1,820                  | 1,866           | -----            | -----          |
| 13                                  | 1,772                  | 1,756           | 2,030            | 1,295          |
| 25                                  | 1,759                  | 1,725           | 1,295            | 0,760          |
| 50                                  | 1,741                  | 1,682           | 1,400            | 0,884          |
| 98                                  | 1,718                  | 1,623           | 0,891            | 0,873          |
| 194                                 | 1,678                  | 1,542           | 1,274            | 1,235          |
| 387                                 | 1,590                  | 1,384           | 1,258            | 1,203          |
| 773                                 | 1,355                  | 1,185           | 1,227            | 0,805          |
| 1545                                | 1,105                  | 0,982           | 0,820            | 1,104          |
| 387                                 | 1,140                  | 1,030           | -----            | -----          |
| 98                                  | 1,182                  | 1,070           | -----            | -----          |
| 25                                  | 1,218                  | 1,114           | -----            | -----          |

TABELA 8 - ENSAIOS OEDOMÉTRICOS SIMPLES

## a) Profundidade 0,50-0,75m

| $\sigma_{ad}$<br>(KPa) | e (antes da<br>inundação) | e (depois da<br>inundação) | índice de colapso<br>(%)<br>* |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 5,00                   | 2,117                     | 1,962                      | 4,97                          |
| 9,80                   | 1,775                     | 1,501                      | 9,90                          |
| 9,80                   | 2,019                     | 1,648                      | 12,29                         |
| 19,40                  | 1,644                     | 1,485                      | 6,01                          |
| 19,40                  | 1,570                     | 1,344                      | 8,79                          |
| 29,10                  | 1,434                     | 1,210                      | 9,20                          |
| 38,70                  | 1,405                     | 1,165                      | 9,98                          |
| 77,30                  | 1,631                     | 1,021                      | 23,19                         |

\* (índice de colapso através de VARGAS, 1978)

## b) Profundidade 4,75-5,00m

| $\sigma_{ad}$<br>(KPa) | e (antes da<br>inundação) | e (depois da<br>inundação) | índice de colapso<br>(%)<br>* |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 9,80                   | 1,494                     | 1,434                      | 2,41                          |
| 19,40                  | 1,476                     | 1,383                      | 3,76                          |
| 38,70                  | 1,281                     | 1,105                      | 7,72                          |
| 77,30                  | 1,372                     | 1,004                      | 15,51                         |

\* (índice de colapso através de VARGAS, 1978)

c) Profundidade 7,75-8,00m

| $\sigma_{ad}$<br>(KPa) | e (antes da<br>inundação) | e (depois da<br>inundação) | índice de colapso<br>(%) * |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 38,70                  | 1,579                     | 1,499                      | 3,10                       |
| 77,30                  | 1,358                     | 1,234                      | 5,26                       |

\* (índice de colapso através de VARGAS, 1978)

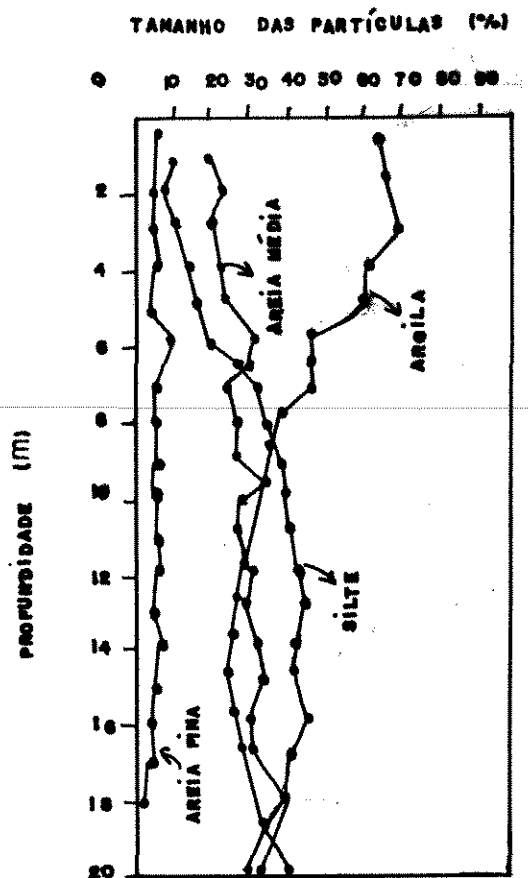
TABELA 9 - ENSAIO SÍSMICO "CROSS-HOLE"

| Lo<br>c. | prof<br>(m) | $\delta$ (g/cm) | Tempo de Percurso (mS) |      |      |      | Veloc. das Ondas S e P (m/s) |        |        |        |         | Go<br>(MPa) | E<br>(MPa) |
|----------|-------------|-----------------|------------------------|------|------|------|------------------------------|--------|--------|--------|---------|-------------|------------|
|          |             |                 | Tps1                   | Tps2 | Tpp1 | Tpp2 | Vs1                          | Vs2    | VS3    | Vsmed  | Vpmed   |             |            |
| C        | 0,7         | 1.380           | 14.2                   | 28.4 | 9.8  | ---- | 211.27                       | 210.92 | 210.56 | 210.59 | 306.12  | 62.6        | 131.1      |
| A        | 1,7         | 1.365           | 14.4                   | 25.5 | 10.4 | 17.6 | 208.33                       | 234.90 | 269.37 | 237.53 | 348.01  | 78.5        | 167.2      |
| M        | 2,7         | 1.345           | 13.4                   | 24.6 | 9.2  | 17.2 | 223.88                       | 243.50 | 266.96 | 244.78 | 349.37  | 82.1        | 167.2      |
| P        | 3,7         | 1.315           | 12.2                   | 23.6 | 8.4  | 16.4 | 245.90                       | 253.81 | 262.28 | 254.00 | 365.38  | 86.5        | 178.6      |
| I        | 4,2         | 1.300           | 12.2                   | 23.4 | 8.2  | ---- | 245.90                       | 255.98 | 266.96 | 256.28 | 365.85  | 87.0        | 177.2      |
| N        | 4,7         | 1.325           | 11.6                   | 22.6 | 8.0  | ---- | 258.62                       | 265.04 | 271.82 | 265.16 | 375.00  | 95.0        | 189.9      |
| A        | 5,7         | 1.525           | 10.4                   | 20.8 | 7.2  | ---- | 288.46                       | 287.98 | 287.50 | 287.98 | 426.67  | 129.8       | 270.8      |
| S        | 6,7         | 1.560           | 10.6                   | 21.2 | 7.2  | 14.4 | 238.02                       | 282.55 | 282.08 | 282.55 | 415.97  | 127.0       | 272.3      |
|          | 7,7         | 1.525           | 13.6                   | 27.0 | 9.5  | ---- | 220.59                       | 221.85 | 223.13 | 221.86 | 315.79  | 76.5        | 155.0      |
|          | 8,7         | 1.535           | 14.4                   | 28.4 | 10.8 | ---- | 208.33                       | 210.92 | 213.57 | 210.94 | 277.78* | 69.6        | ----*      |

Observações: --- Valor não determinado

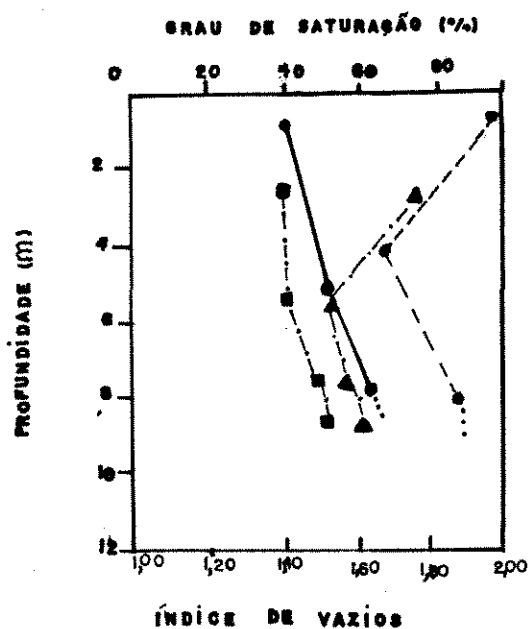
\* Coeficiente poisson N

Apud GIACHETTI (1991)



Argila ( $<0,002\text{mm}$ )  
 Silte ( $0,002$  a  $0,075\text{mm}$ )  
 Areia Fina ( $0,075$  a  $0,42\text{mm}$ )  
 Areia Média ( $0,42$  a  $2,00\text{mm}$ )

FIGURA 16 Tamanho das Partículas



■ Apud GIACHETTI (1991)  
 ▲

FIGURA 17 Grau de Saturação e Índice de Vazios

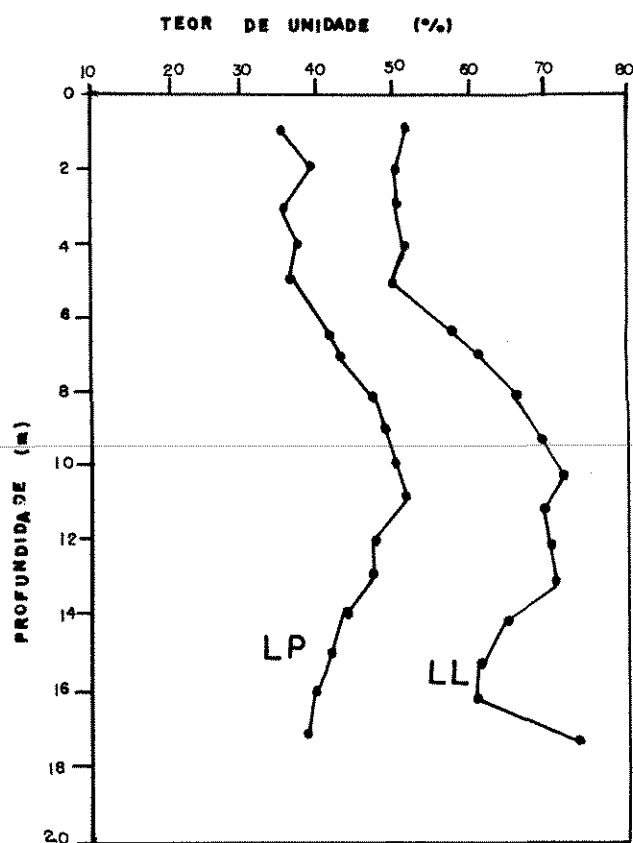


FIGURA 18 Limites de Atterberg

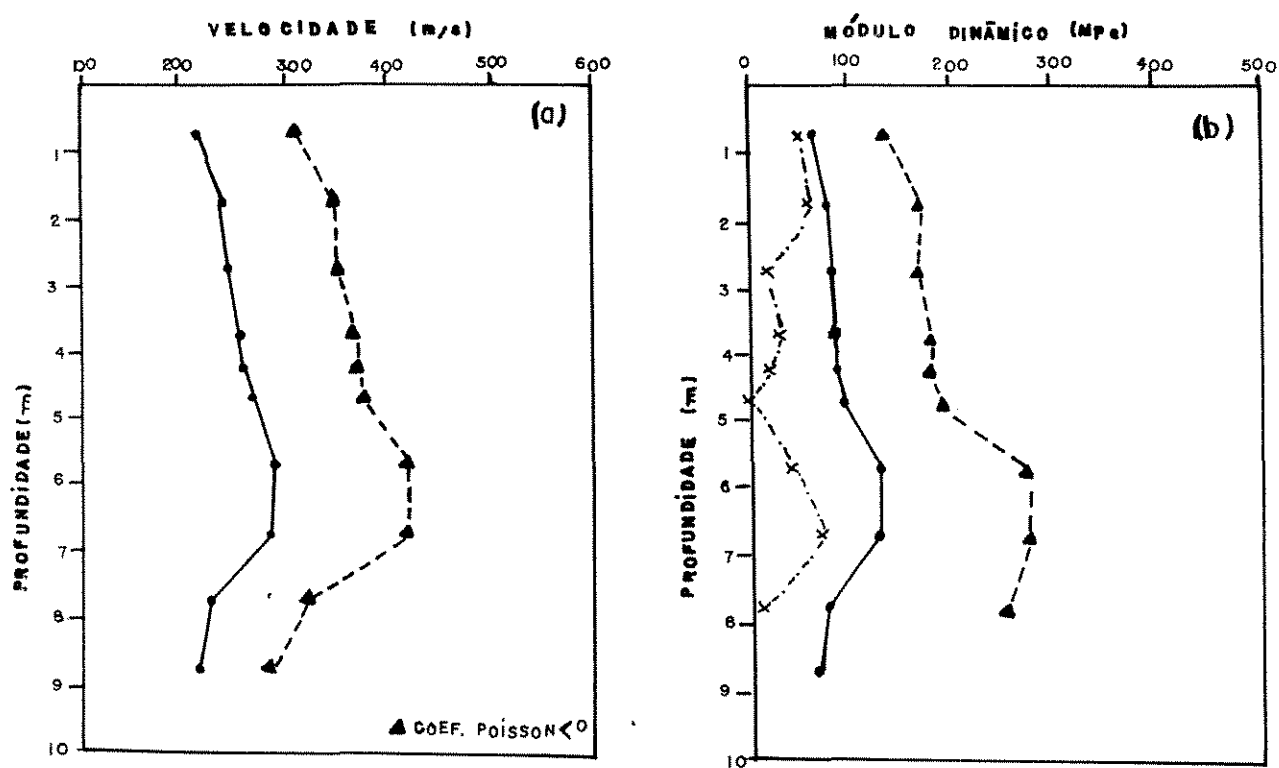


FIGURA 19 Ensaio Sísmico de "Cross-hole"

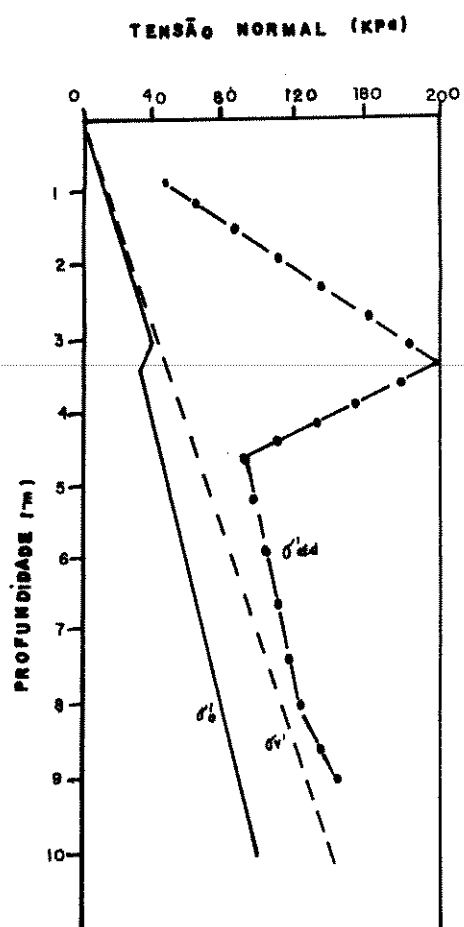


FIGURA 20 Pressão de Pré Adensamento ( $\sigma'_{ad}$ ); tensão Normal Efetiva ( $\sigma'_v$ ) e Tensão Normal Octaédrica.  
(Apud, GIACHETTI., 1991)

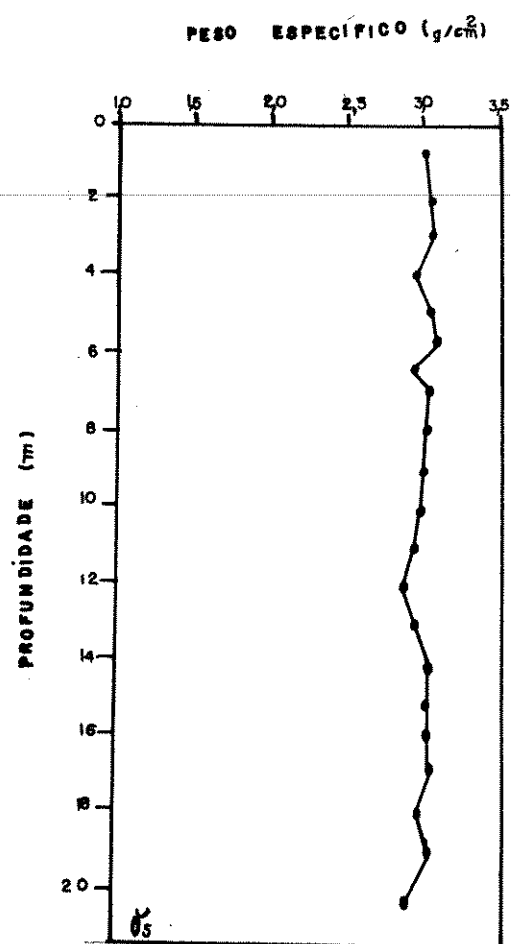


FIGURA 21 Peso Específico dos Sólidos

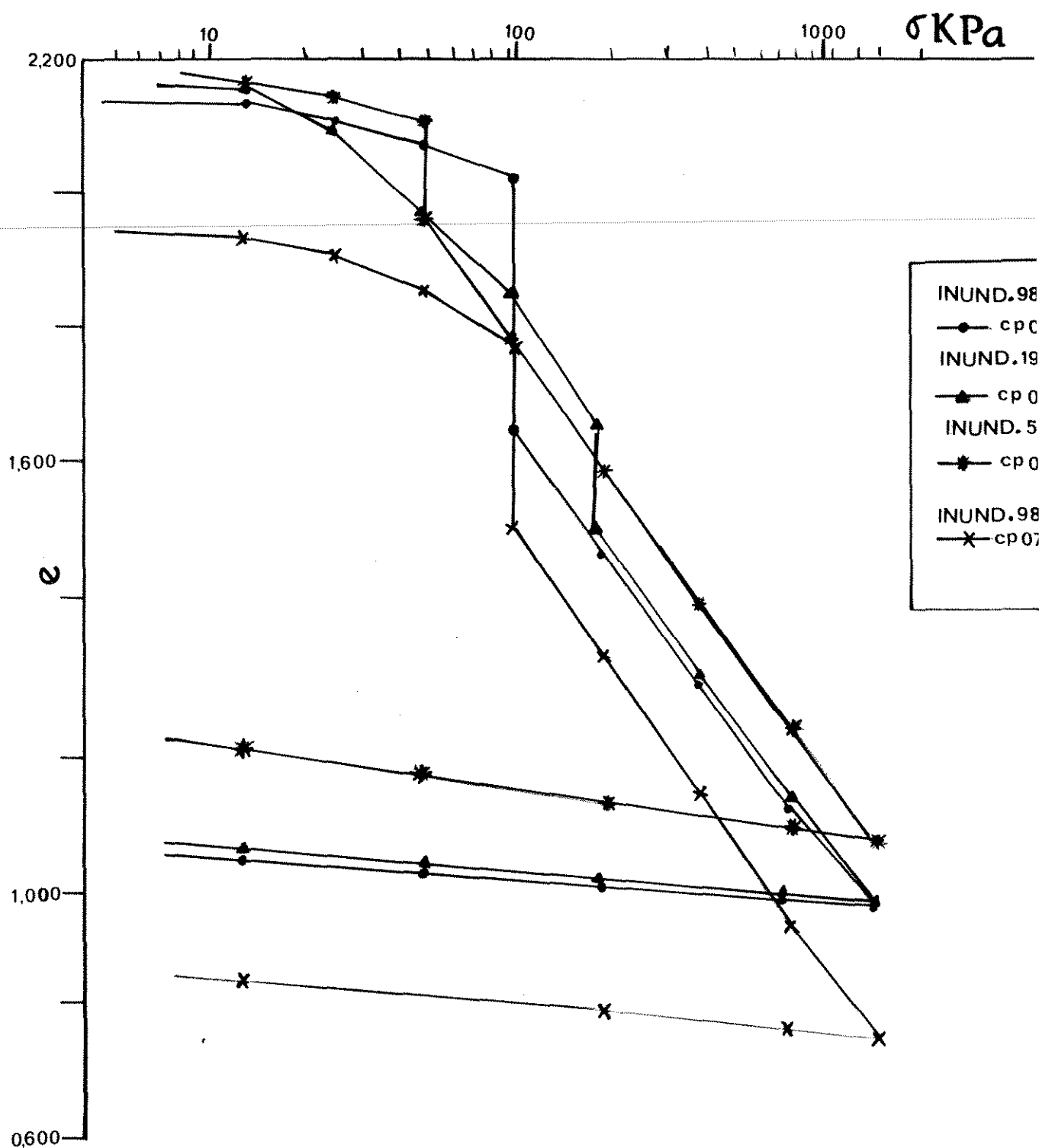


FIGURA 22 Efeito da Inundação em Diferentes Tensões  
(Profundidade 0,50 - 0,75m)

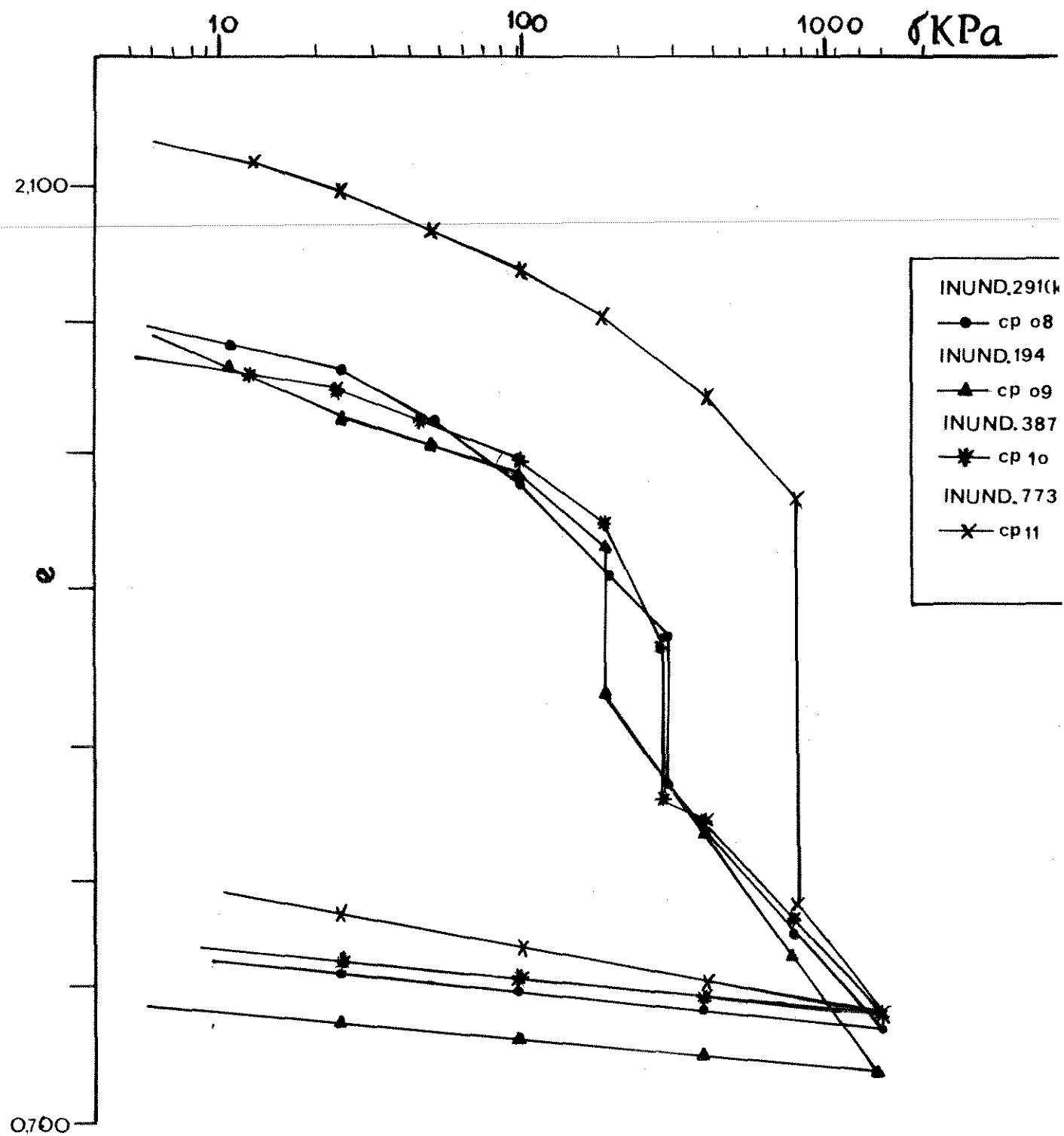


FIGURA 23 Efeito da Inundação em Diferentes Tensões  
(Profundidade 0,50 - 0,75m)

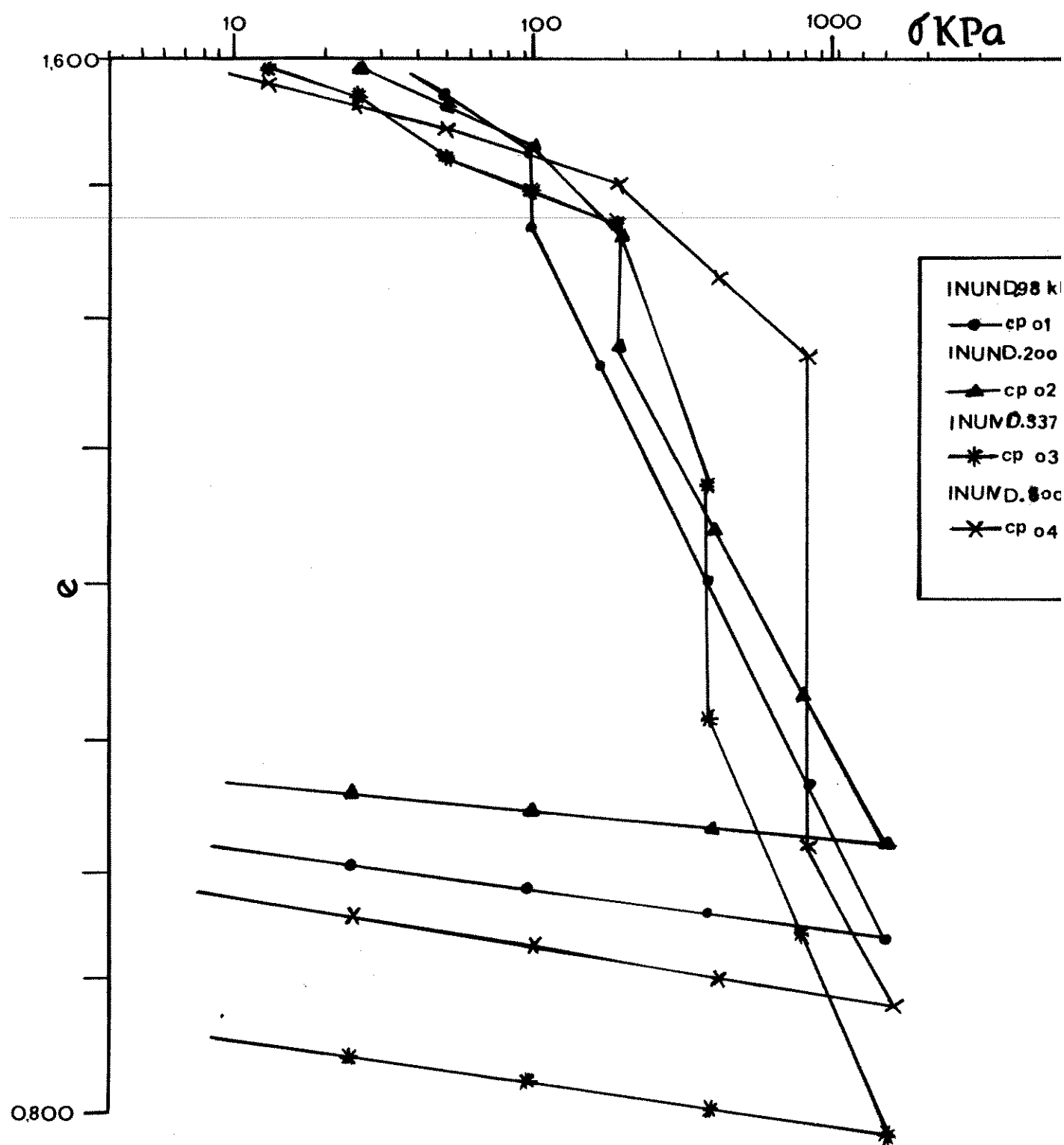


FIGURA 24 Efeito da Inundação em Diferentes Tensões  
(Profundidade 4,75 - 5,00m)

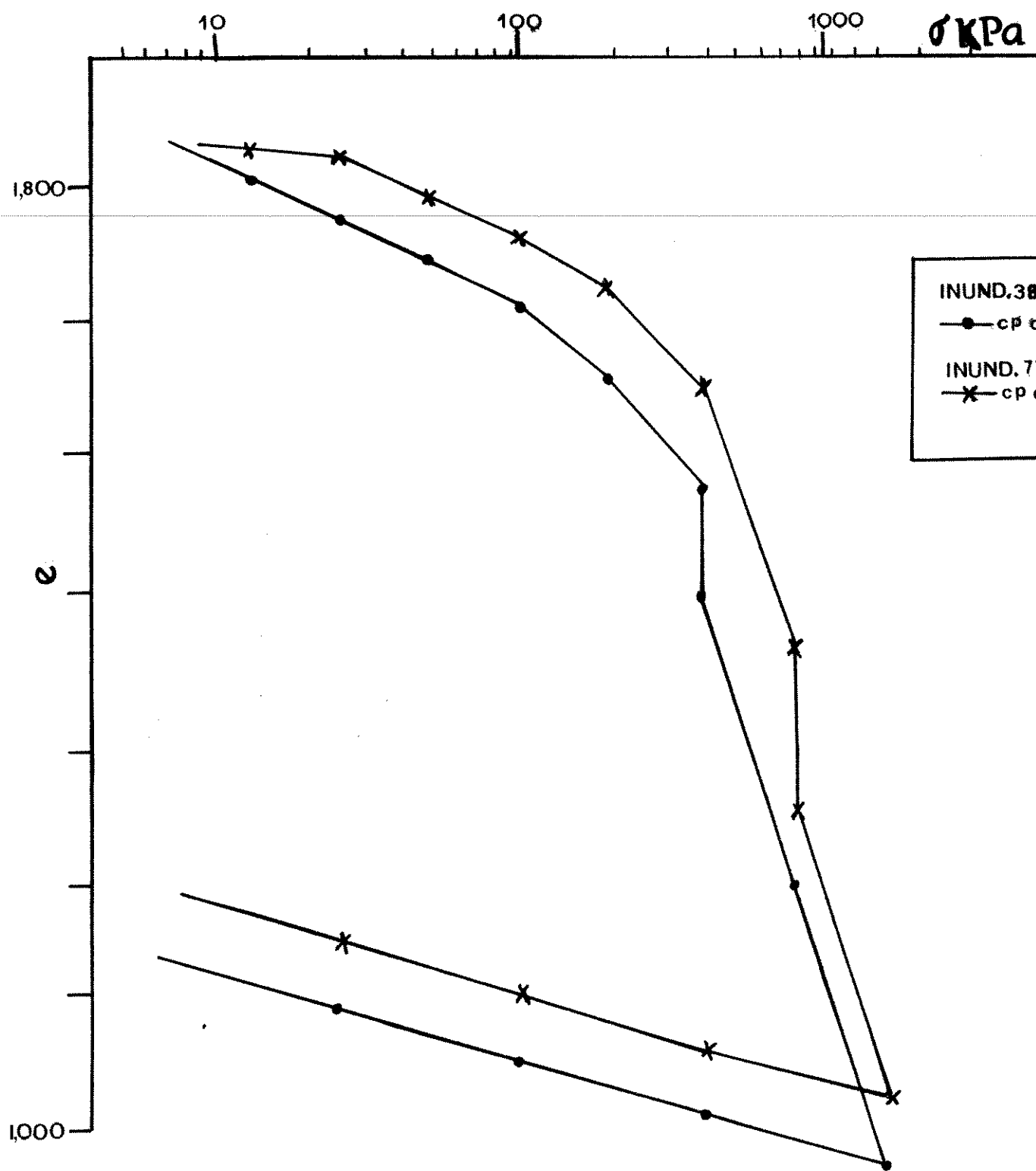


FIGURA 25 Efeito da Inundação em Diferentes Tensões  
(Profundidade 7,75 - 8,00m)

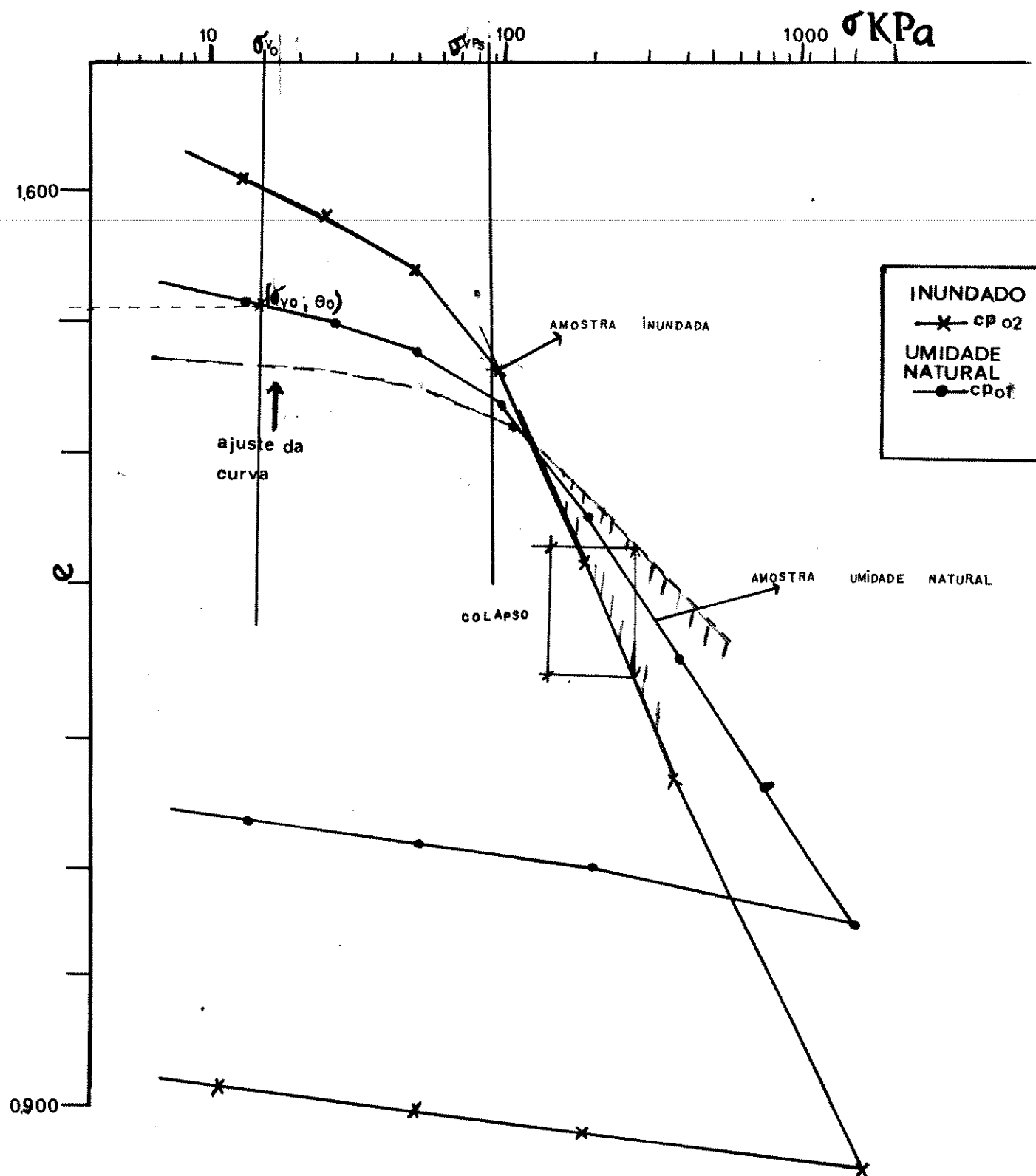
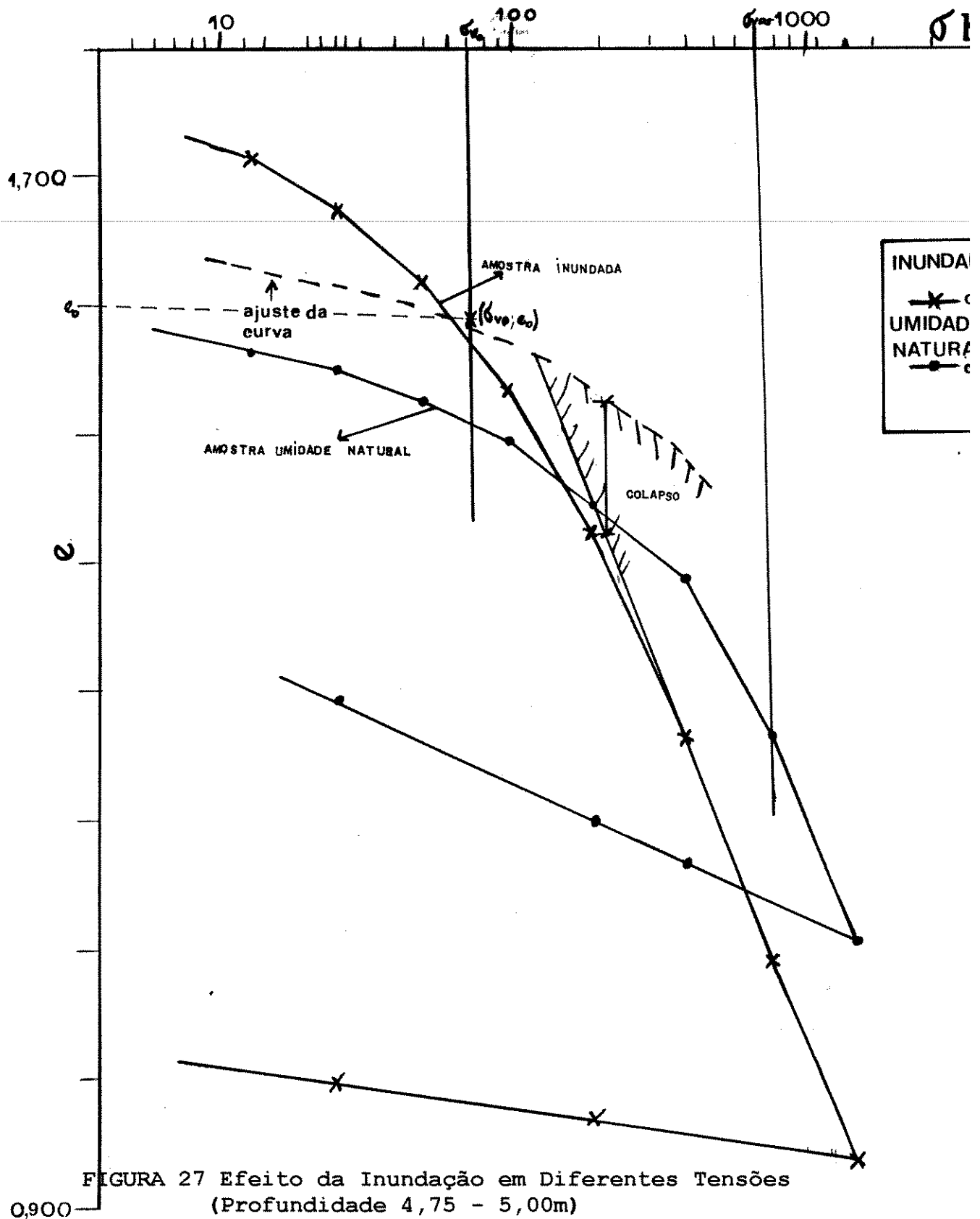


FIGURA 26 Efeito da Inundação em Diferentes Tensões  
(Profundidade 0,50 - 0,75m)



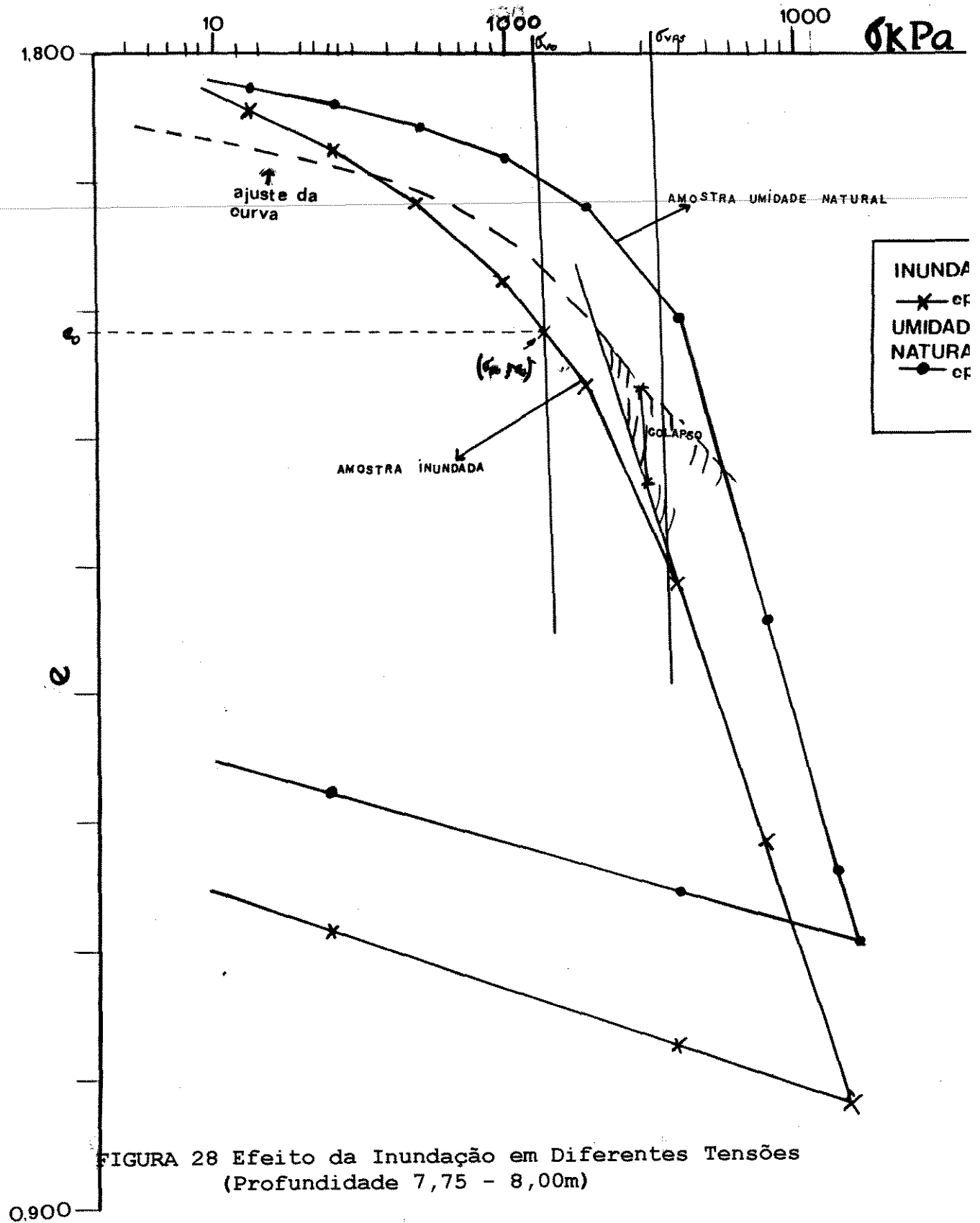


FIGURA 28 Efeito da Inundação em Diferentes Tensões  
(Profundidade 7,75 - 8,00m)

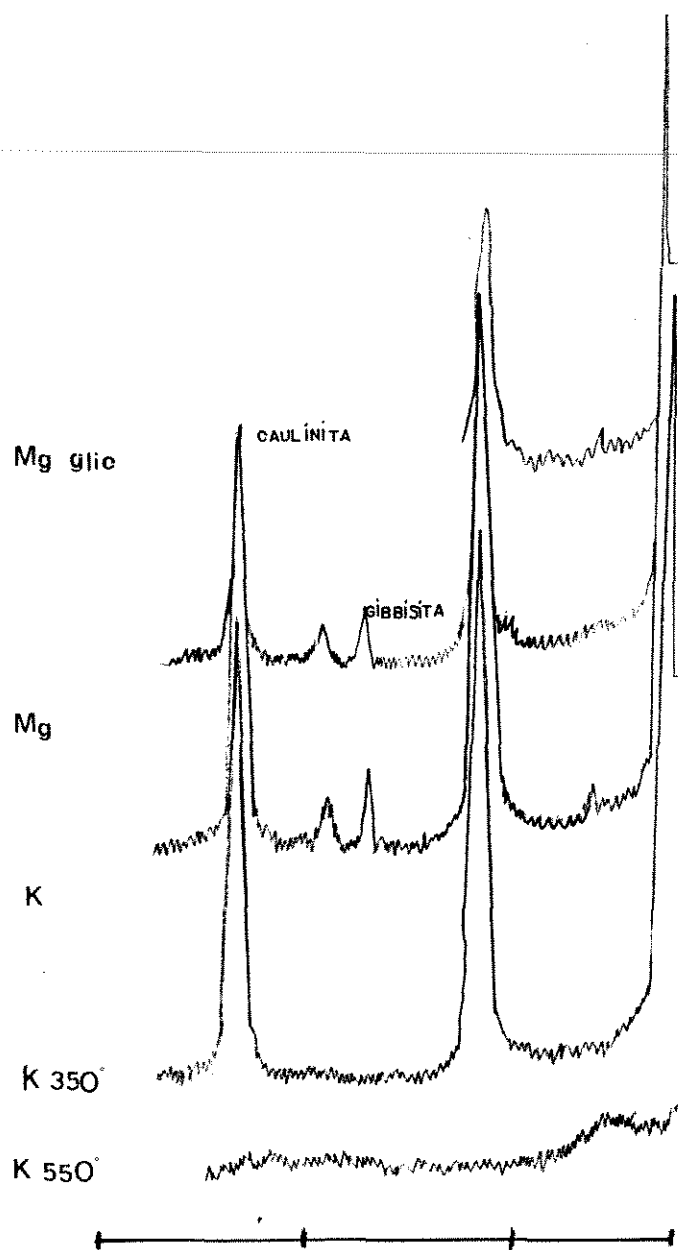


FIG. 29 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 01

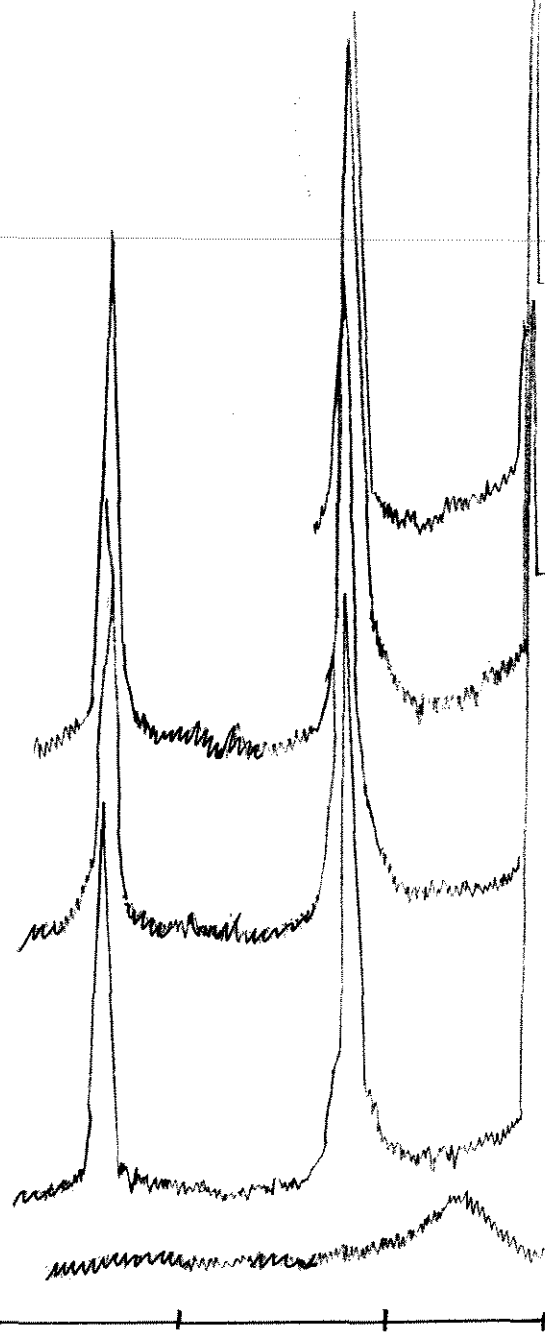


FIG. 30 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 02

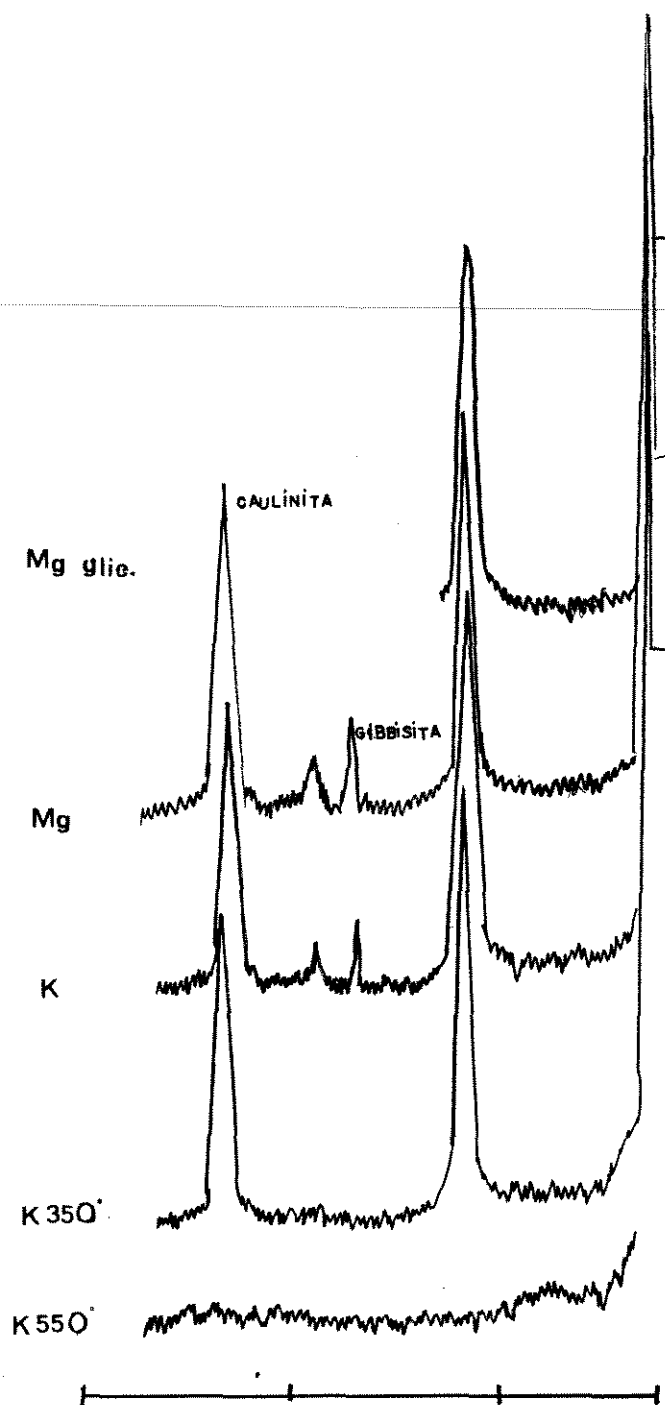


FIG. 31 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 05

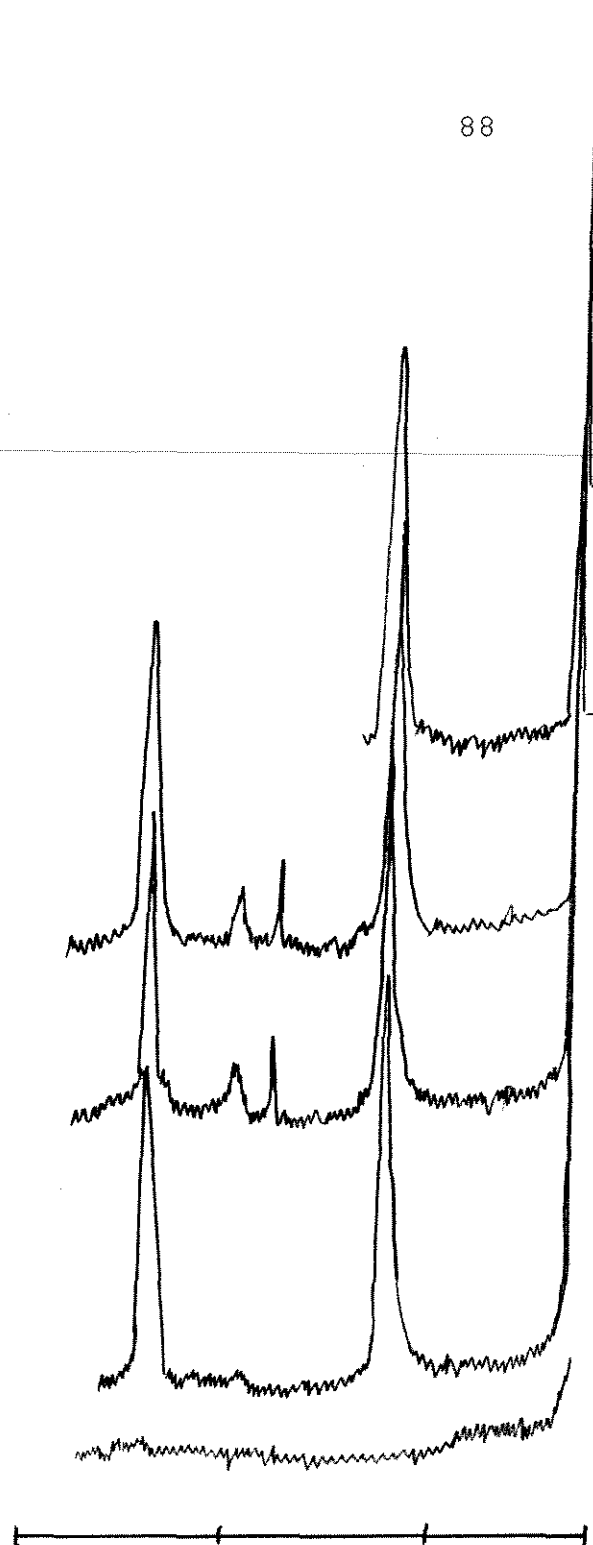


FIG. 32 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 06

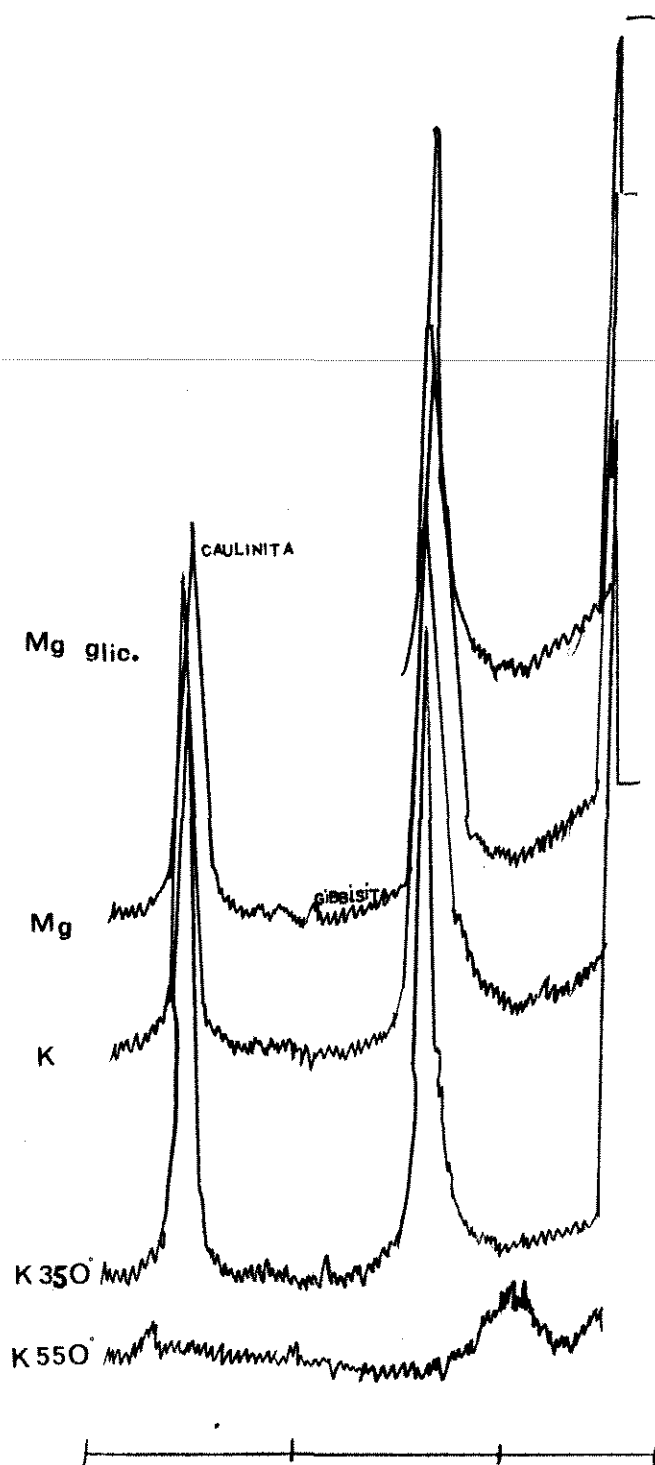


FIG. 33 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 09

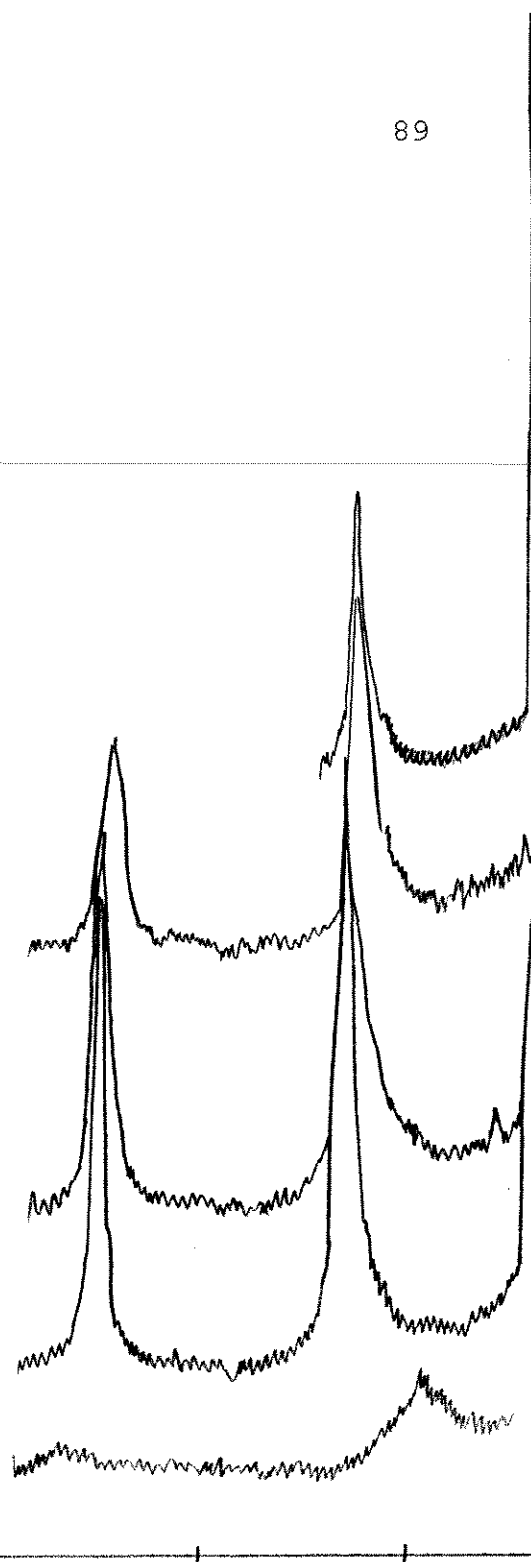


FIG. 34 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 11

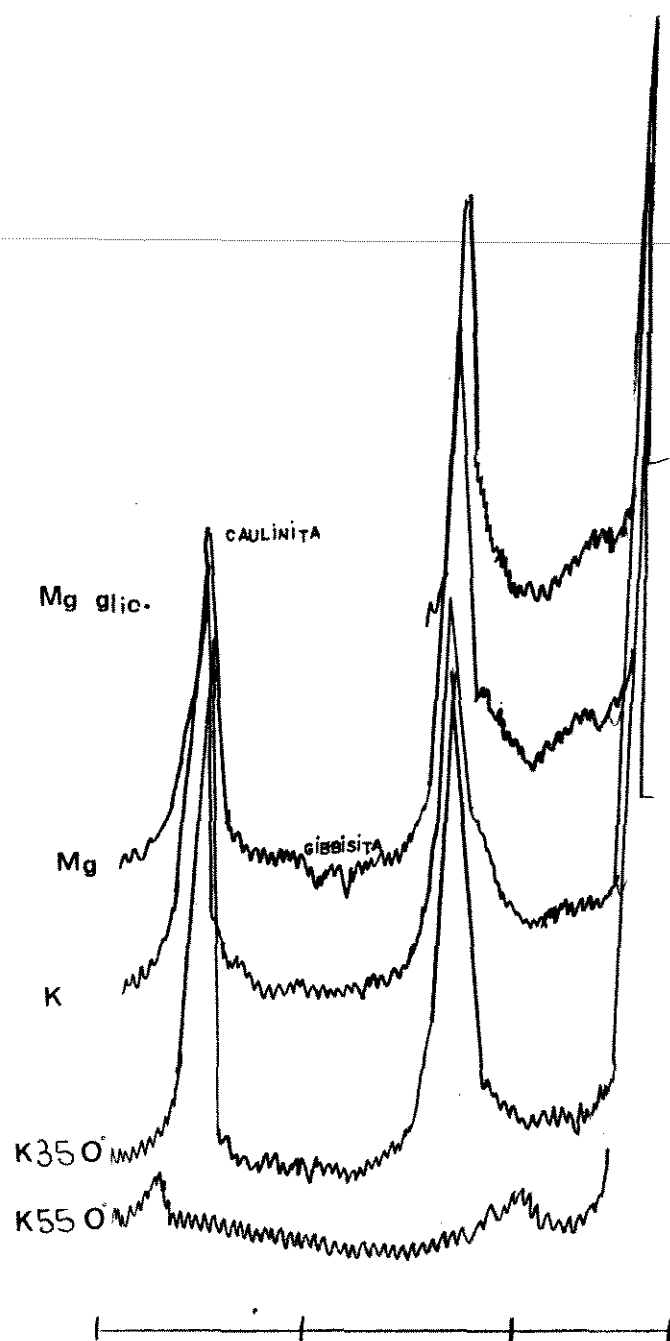


FIG. 35 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA Nº 13

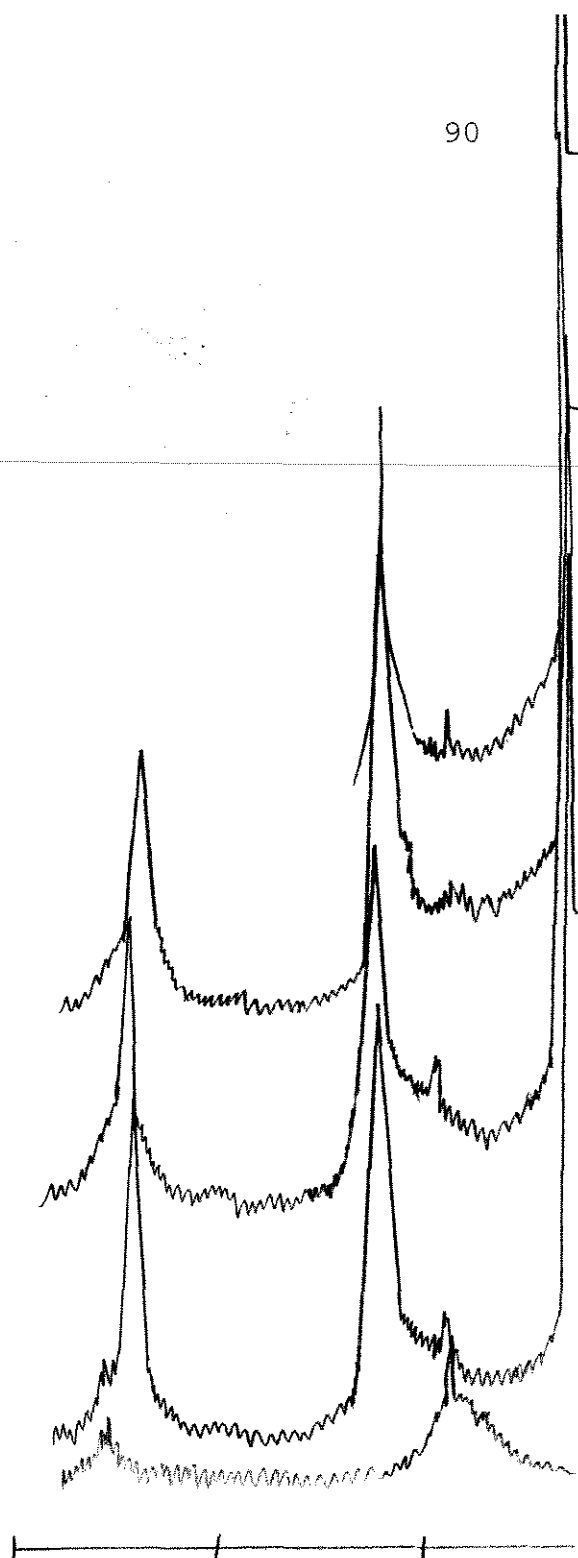


FIG. 36 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA Nº 15

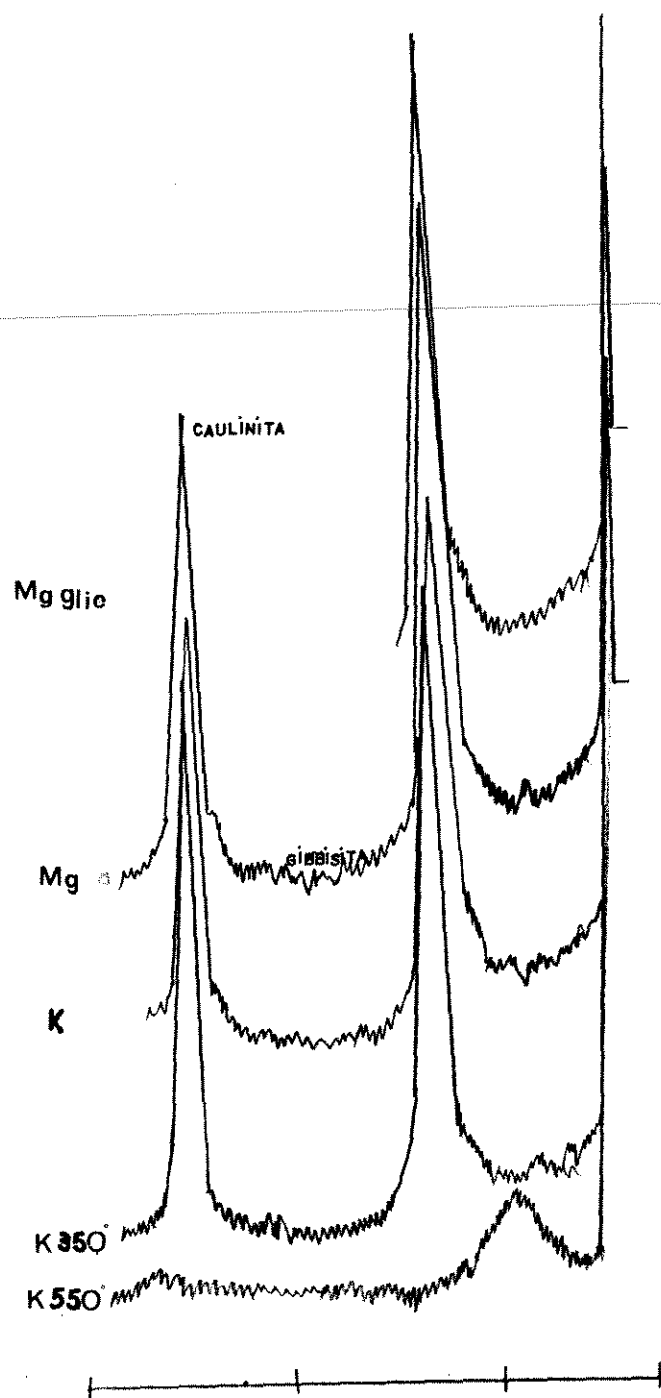


FIG. 37 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 17

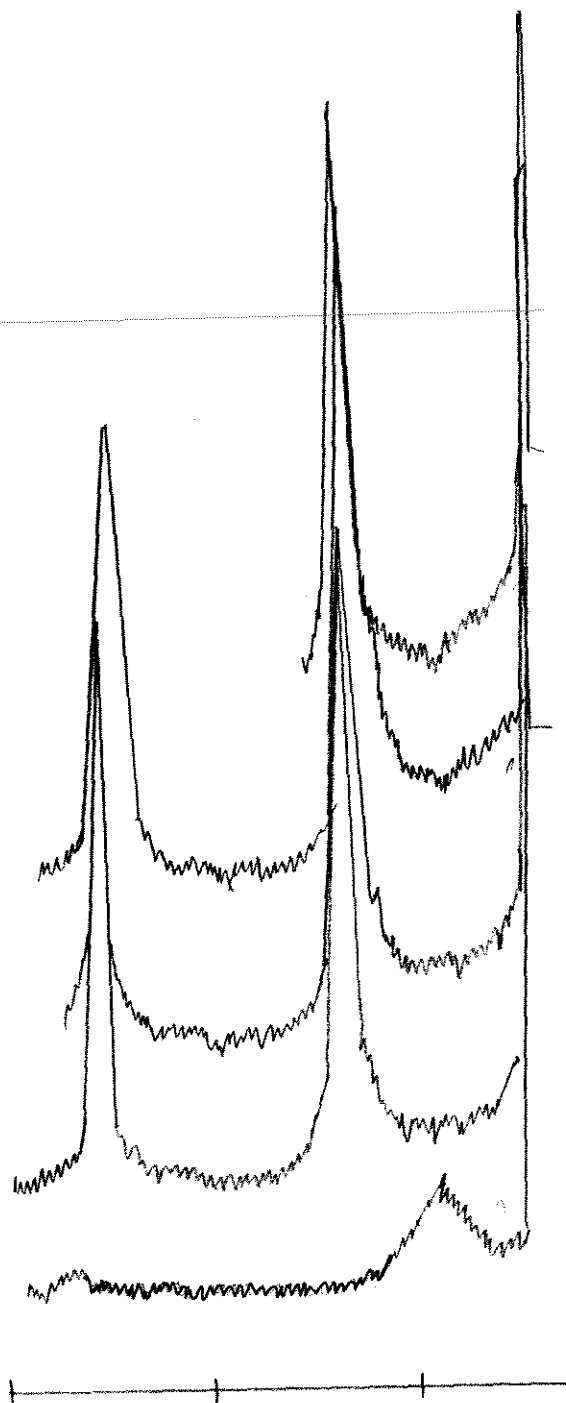


FIG. 38 DIFATOGRAMA DE RAIO-X  
AMOSTRA N° 19

## **VI ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **1- Introdução**

Neste capítulo são feitas as análises de resultados dos ensaios realizados, apresentados nas Tabelas e Gráficos anteriores. O enfoque principal das análises foi a determinação do potencial de colapsibilidade do solo, procurando-se caracterizar o seu mecanismo de colapso.

### **2- Análise através dos Ensaio de Caracterização**

Os ensaios de granulometria e limites de Atterberg indicam uma camada de argila inorgânica de alta plasticidade (CH) até os 9,00m de profundidade e uma camada de solo siltoso (MH) dos 9,00m aos 18,00m. Na profundidade de 6,50m, logo após uma camada concrecionada, o solo é classificado como uma argila arenosa (CL), segundo classificação UNIFICADA. Esta camada inicial apresenta, até os 8,00m, última profundidade em que foram realizados ensaios em amostras indeformadas, um valor elevado para o índice de vazios. Estas características, aliadas com a condição de solo não-saturado são indicativas de um solo potencialmente colapsível.

A análise do potencial de colapsibilidade do solo, utilizando-se dos ensaios de caracterização, através de propostas de diversos autores conduz a resultados diversos, conforme apresentado nas TABELAS 10 a 14.

---

### **3- Análise através de Ensaio Oedométricos**

Utilizaram-se de ensaios de adensamento, com umidade natural; com saturação do solo antes do início do carregamento e do ensaio com saturação do solo em determinado nível de carregamento, para analisar o potencial de colapsibilidade do solo.

Nos resultados dos ensaios com saturação em determinado nível de carregamento aplicou-se o critério de VARGAS (1978) para verificação da colapsibilidade. Os resultados de índice de colapso (i) obtidos foram apresentados na Tabela 10 (a, b, c).

Nos resultados dos ensaios com solo natural e inundado desde o início, aplicou-se o método proposto por JENNINGS & KNIGHT (1957) -Ensaio duplo, para verificar o colapso do solo.

Os resultados destas análises foram apresentados nas FIGURAS 26, 27 e 28.

TABELA 10 - MÉTODO DE PRIKLONSKIJ (Índice de colapso -  $k_d$ )

| Profundidade (m) | * $K_d$ |
|------------------|---------|
| 0,50-0,75        | 1,53    |
| 4,75-5,00        | 1,94    |
| 7,75-8,00        | 1,81    |

\* para  $K_d < 0,50$ , são colapsíveis

TABELA 11 - MÉTODO DE FEDA (Índice de colapso -  $K_L$ )

| Profundidade (m) | * $K_L$ |
|------------------|---------|
| 0,5-0,75         | 1,17    |
| 4,75-5,00        | 1,07    |
| 7,75-8,00        | 0,37    |

\* para  $K_L > 0,85$ , são colapsíveis

TABELA 12 - MÉTODO DE DENISOV (Índice de colapso -  $K$ )

| Profundidade (m) | * $K$ |
|------------------|-------|
| 0,50-0,75        | 0,816 |
| 4,75-5,00        | 0,898 |
| 7,75-8,00        | 1,095 |

\* para  $K > 0,50$  e  $< 0,75$ , são colapsíveis

TABELA 13 - MÉTODO DO CÓDIGO DE OBRAS DA U.R.S.S.

(Índice de colapso -  $\lambda$ )

| Profundidade (m) | * $\lambda$ |
|------------------|-------------|
| 0,50-0,75        | 0,12        |
| 4,75-5,00        | 0,06        |
| 7,75-8,00        | -0,06       |

\* para  $\lambda > 1$ , são colapsíveis

TABELA 14 MÉTODO DE GIBBS &amp; BARA ( Índice de colapso R)

| Profundidade (m) | * R   |
|------------------|-------|
| 0,50-0,75        | 0,005 |
| 4,75-5,00        | 0,004 |
| 7,75-8,00        | 0,027 |

\* para  $R > 1$ , são colapsíveis

#### 4- Análise do Ensaio de Raio-X

Na amostra 01 (profundidade de 0,50-0,75m) os principais minerais presentes são a caulinita e a gibbsita, havendo quantidades muito pequenas de minerais 2:1 interestratificados (vermicululita com inter camada de alumínio).

Na amostra 03 (profundidade de 2,75-3,00m) as análises são iguais a superior, mas com menos indícios de presença de interestratificados, na amostra 06 verificou-se no gráfico a presença de interestratificados.

Na amostra 02 (profundidade de 6,50m) há a presença ínfima da gibbsita e manutenção da caulinita, e pequena presença de ilita (com Mg) 10  $\text{\AA}$ .

Na amostra 08 (profundidade 6,75-7,00m) com Mg e K há sinais de picos muito pequenos e mais definidos por volta de 14  $\text{\AA}$ , forma-se como bandas muito mal definidos com Mg glicolado. indicando material expansivo: a gibbisita não

aparece, na lâmina de Mg pico muito pequeno e mal definido por volta de  $10 \text{ }^{\circ}\text{A}$  (mica = ilita), com K  $350^{\circ}$  há picos muito pequenos de ilita por volta de  $5 \text{ }^{\circ}\text{A}$  ( $2^{\circ}$  ordem), com K  $550^{\circ}$  há picos de  $3^{\circ}$  ordem da ilita, aparecendo também minerais entre  $10$  e  $12 \text{ }^{\circ}\text{A}$ , expandindo ligeiramente sobre o efeito de glicol.

Na amostra 11 (profundidade 9,75-10,00m e 13 (profundidade 11,75-12,00m) a gibbsita praticamente desaparece, começam aparecer picos de minerais interestratificados entre  $13$  e  $17 \text{ }^{\circ}\text{A}$  e/ou com minerais expansivos; no gráfico com K  $550^{\circ}$  houve uma redução dos interestratificados, para  $11$  a  $12 \text{ }^{\circ}\text{A}$  indicando a possibilidade de material expansivos como a montmorilonita.

Na amostra 15 (profundidade 13,75-14,00m) aparece uma banda mal formada, mostrando ligeira expansão entre  $14$  e  $16 \text{ }^{\circ}\text{A}$  de interestratificados com montmorilonita.

Na amostra 17 (profundidade de 15,75-16,00m) com K  $550^{\circ}$  aparece pico de  $3^{\circ}$  ordem de ilita, em quantidades muito pequenas com Mg aparecem interestratificadas com ligeira expansão com glicol.

Na amostra 19 (profundidade de 18,00m) minerais interestratificados e mica de  $1^{\circ}$  ordem,  $\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{A}$  de  $2^{\circ}$  ordem

Na amostra 19 (profundidade de 18,00m) minerais interestratificados por volta de  $12\overset{\circ}{\text{\AA}}$  e mica por volta de  $10\overset{\circ}{\text{\AA}}$  (1° ordem),  $\pm 5\overset{\circ}{\text{\AA}}$  (2° ordem), mal definido e o de (3° ordem) bem definido ( $3,33\overset{\circ}{\text{\AA}}$ ).

---

## 5 - Lâminas para Análise Micromorfológica

Foram analisadas três lâminas, em três profundidades diferentes (0,50-0,75; 4,75-5,00; 7,75-8,00m), e devido à especificidade deste assunto contou com a colaboração do Eng° Agrônomo José Ricardo Lucarelli. Também as fotos foram obtidas dessas lâminas, cujas descrição são apresentadas à seguir.

A lâmina 01 (0,50-0,75m) apresentou áreas distintas formadas por galerias de origem animal e vegetal que se localizam no eixo vertical, divide a lâmina ao meio, possuindo características próprias em relação ao restante da lâmina.

O interior destas galerias é preenchido por microagregados com formas arredondadas e subarredondadas, possuindo uma alta porosidade. O material contido nesta galeria é menos denso com agregados bem delimitados e individualizados.

Também há boa quantidade de areia fina, areia muito fina e silte. A porcentagem apresentada de poro, esqueleto (areia e silte), plasma (partículas do tamanho, ou menores que os minerais de argila), no pedotúbulo é de 55%, 15% e 30% respectivamente.

A maioria do esqueleto é de tamanho de silte, areia fina e média, com poucos quartzos de tamanhos grandes. A forma dos esqueletos menores é subangular.

A porosidade nos dois casos é do tipo intergranular (porosidade entre os grãos), ou de empilhamento do tipo complexo com poros de tamanhos médios.

Observou-se a presença de 03 agregados de cores mais densas e tamanhos maiores e que possuem no seu interior, esqueletos de tamanhos pequenos (silte).

Na lâmina 02 (4,75-5,00m), observou-se uma massa contínua de plasma, com agregados de tamanhos pequenos principalmente (microagregados), com pouca distinção dos seus contornos, sendo que muitas vezes os microagregados estão unidos, formando agregados de tamanhos maiores mas com alguma porosidade em seu interior.

Sua formas são arredondadas e subarredondadas.

A quantidade de esqueleto, diminui em relação a lâmina 01, principalmente quanto ao tamanho, predominando esqueletos de silte e areia fina. Encontrou-se apenas um quartzo de tamanho grande (>1mm).

Os poros são de tamanhos médios e do tipo intergranular complexo.

Pode-se notar um adensamento do solo, com diminuição do espaço porale ainda atividades biológicas.

Foi observado na lâmina 03 (7,75-8,00m), presença de uma massa plásmica desuniforme com poucos grãos de esqueletos com o tamanho de silte.

A variação de cor é muito grande, predominando muitos materiais em alteração.

A presença de esqueleto é menor que nas outras duas lâminas e o seu tamanho é pequeno com forma subangular e angular.

Há muitas áreas de material de alteração, basalto em estado adiantado de alteração, que são as zonas mais amarelas.

As cores apresentadas nas fotos à seguir correspondem a: o verde são os poros, o avermelhado ou brumado são os plasmas (argilas) e os brancos representam o esqueleto (partículas de areia ou silte).

Estas análises tiveram o objetivo de verificar a disposição das partículas do solo (areia, silte, argila e os poros), contido em três diferentes profundidades e

também o grau de evolução do solo, principalmente em profundidades maiores.

---

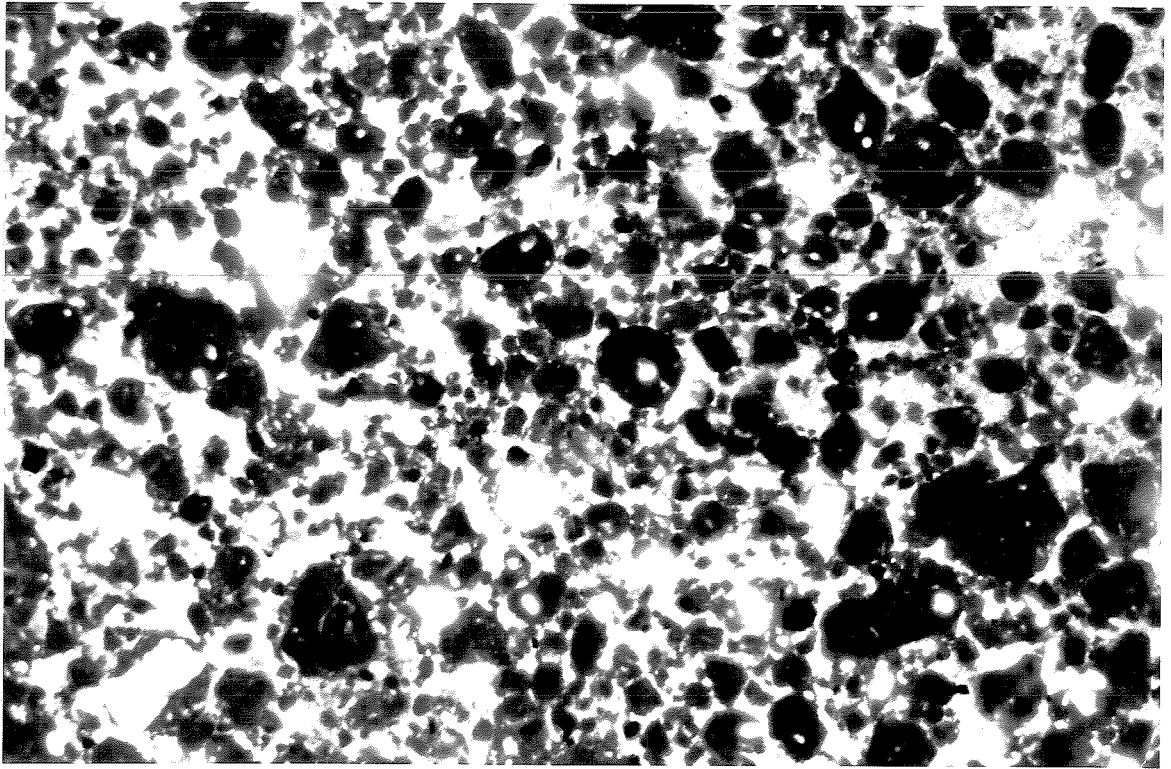


FOTO 01 Prof. 0,50 - 0,75m (Esc.1:10.000)

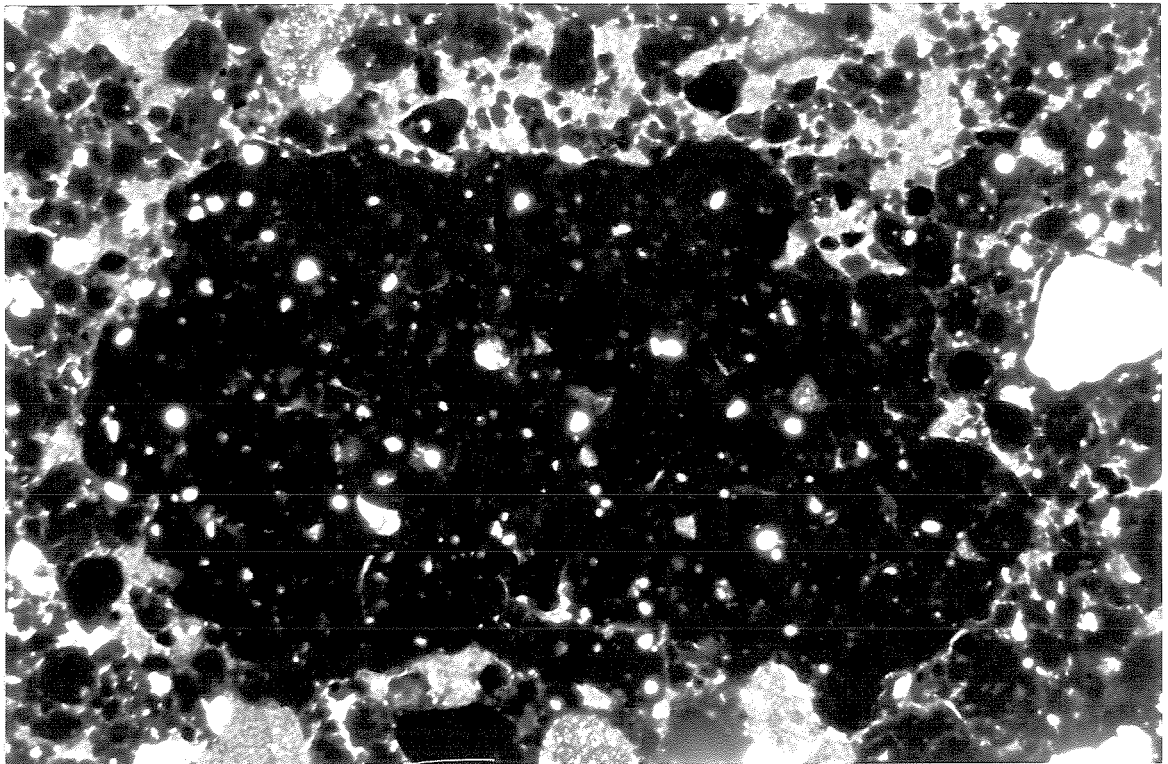


FOTO 02 Prof. 0,50 - 0,75m (ESC.1:10.000)

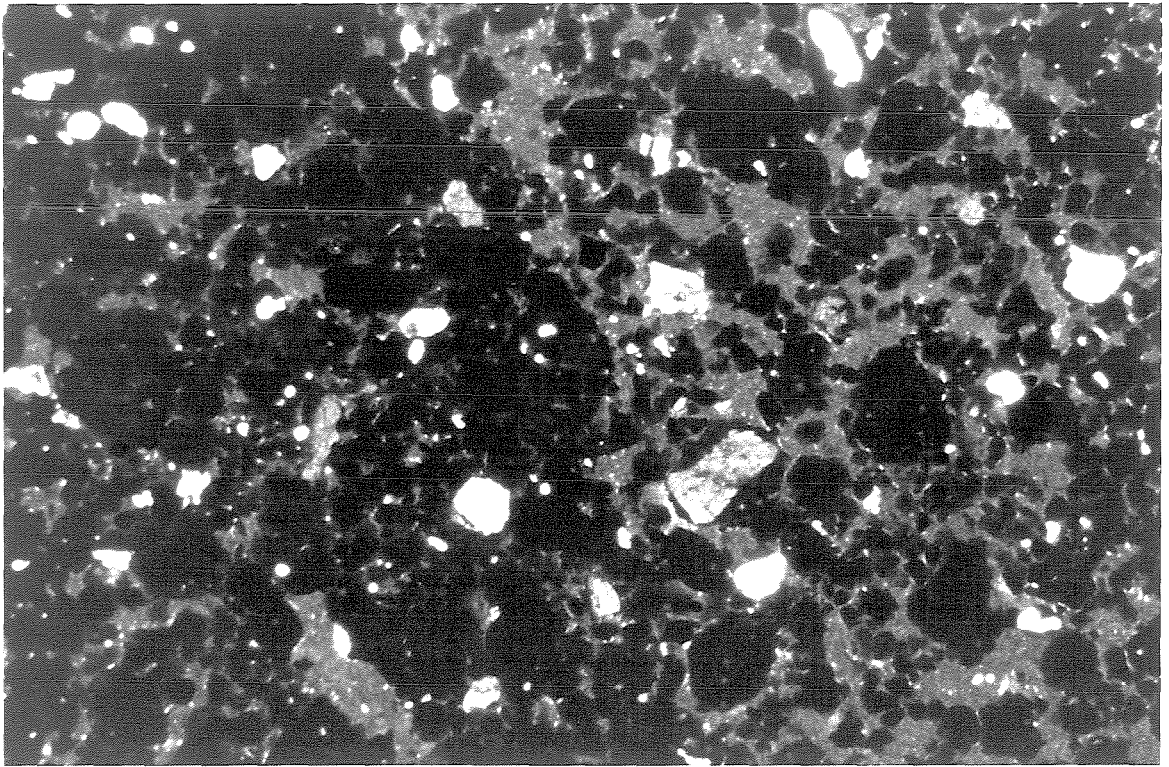


FOTO 03 Prof. 0,50-0,75m (Esc.1:10.000)

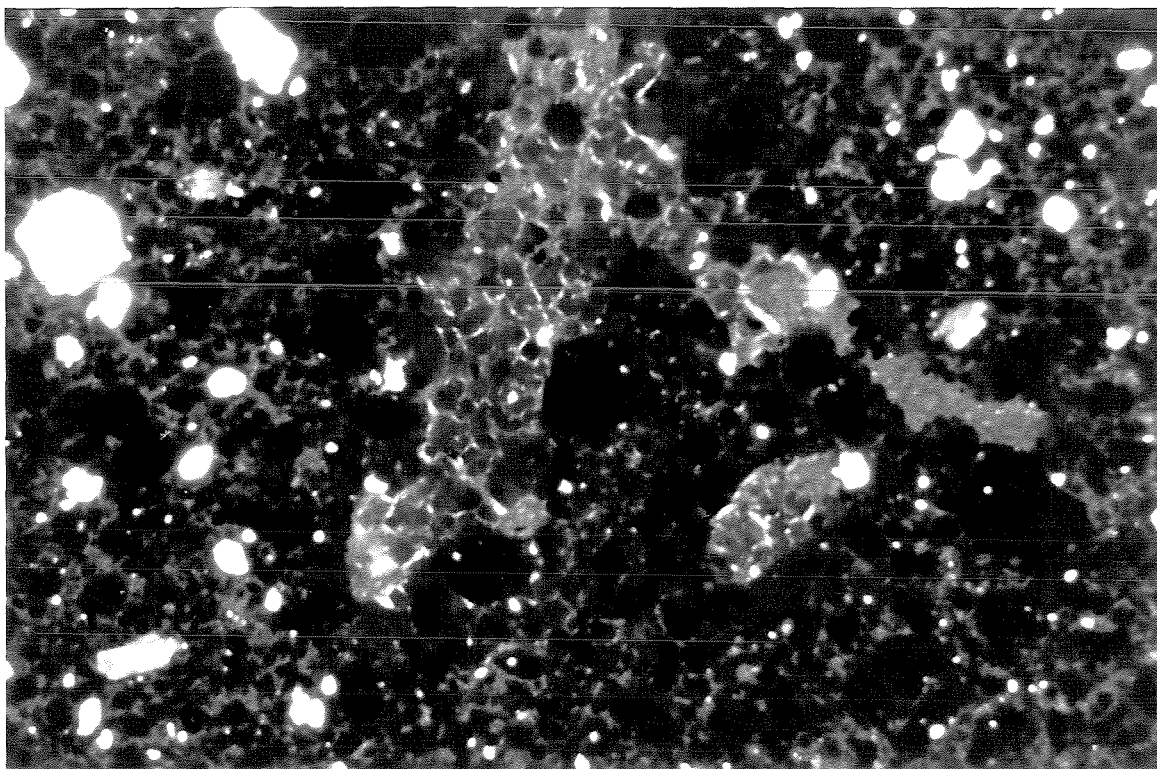


FOTO 04 Prof. 4,75 - 5,00m (Esc.1:10.000)

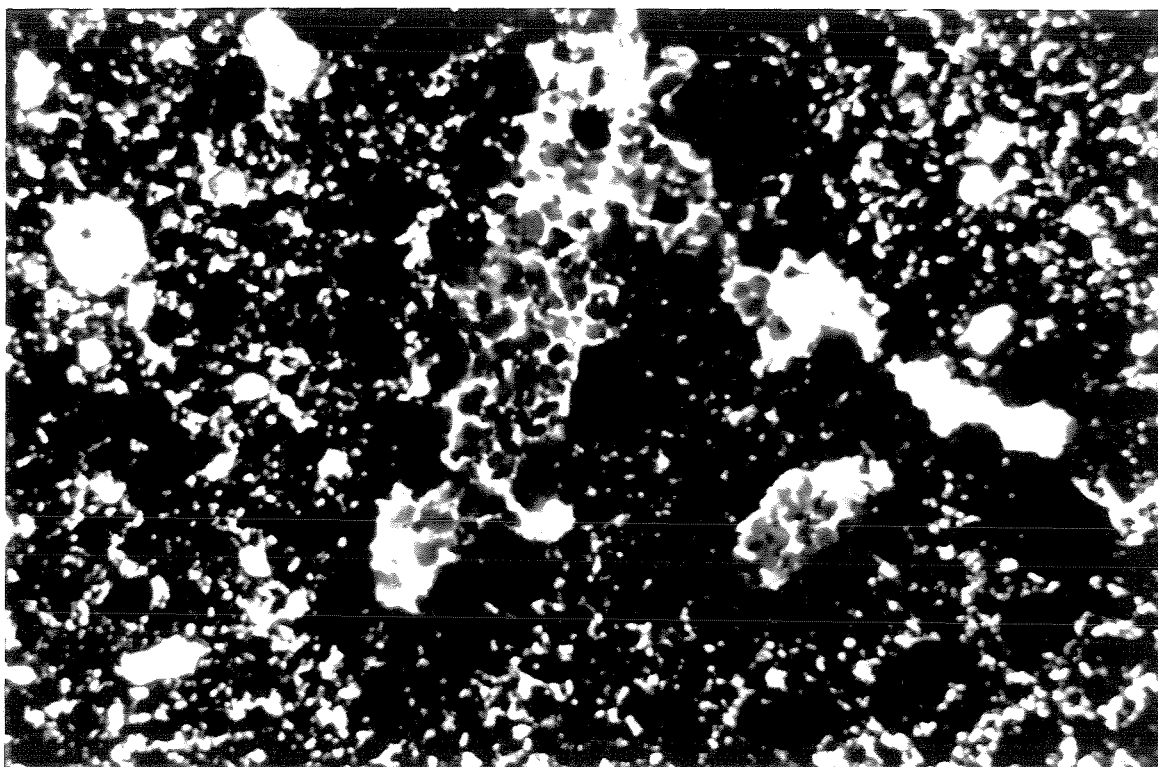


FOTO 05 Prof. 4,75 - 5,00m (ESC.1:10.000)

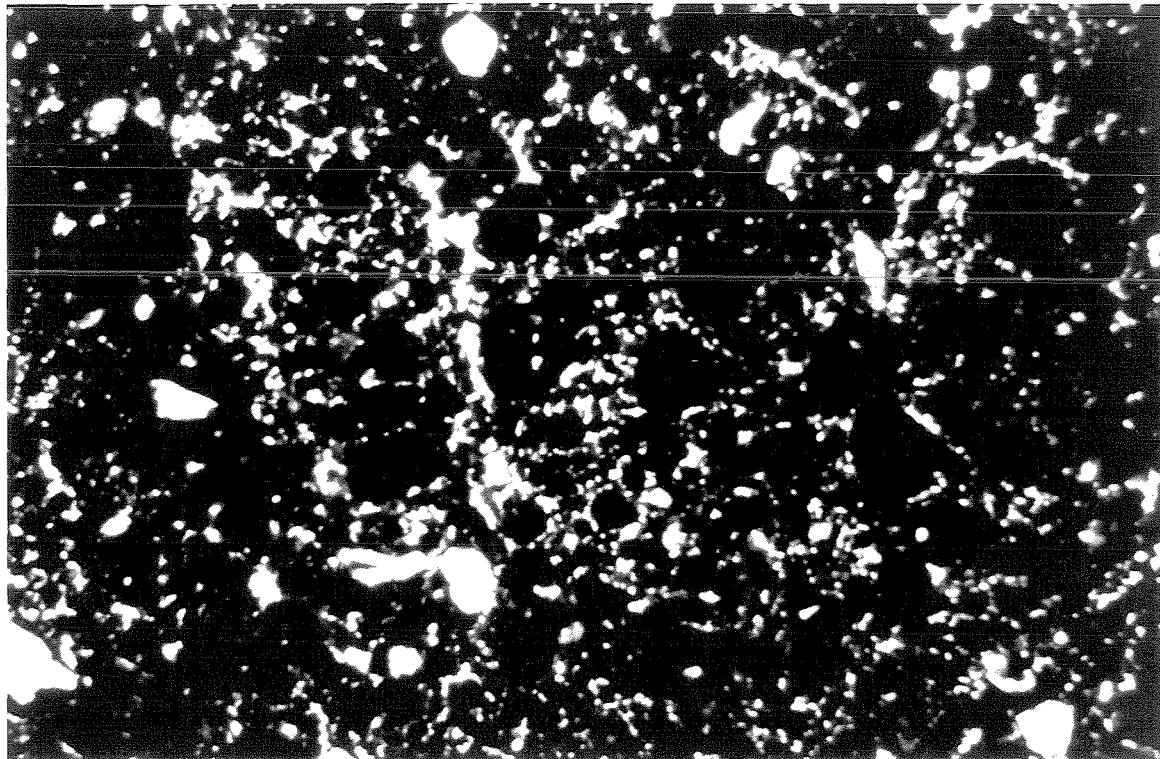


FOTO 06 Prof. 4,75 - 5,00m (Esc.1:10.000)

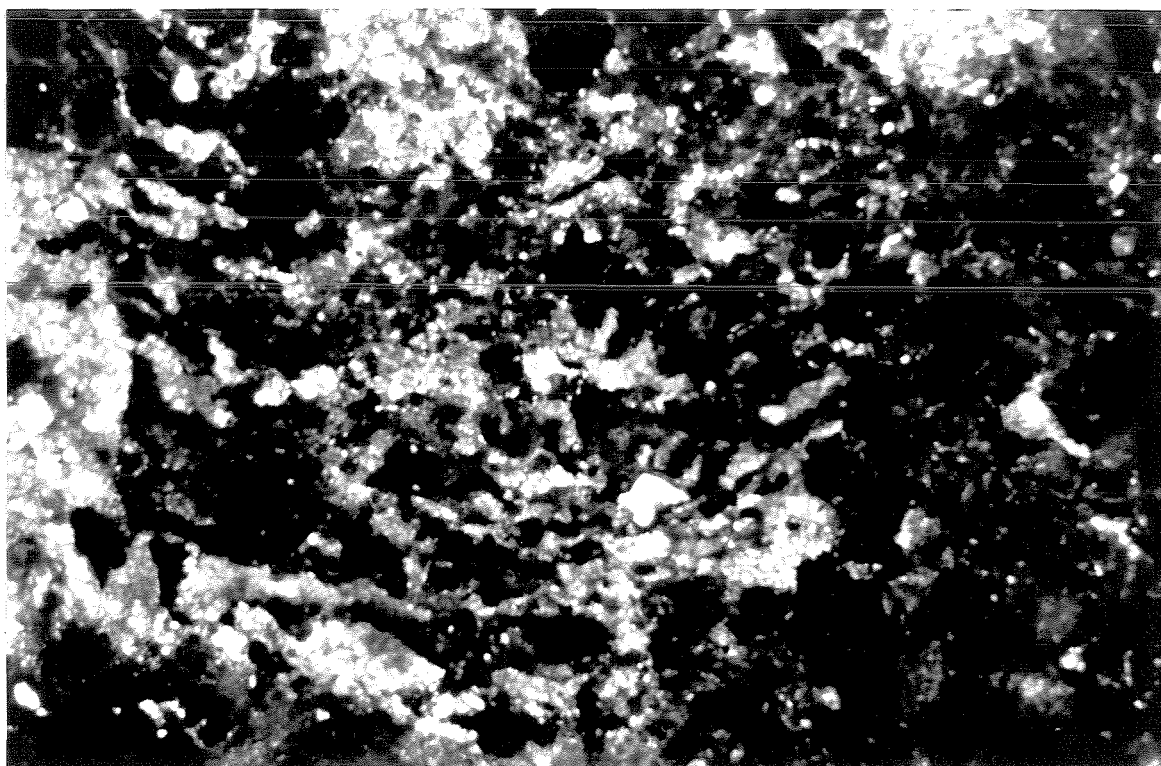


FOTO 07 Prof. 7,75 - 8,00m (Esc.1:10.000)

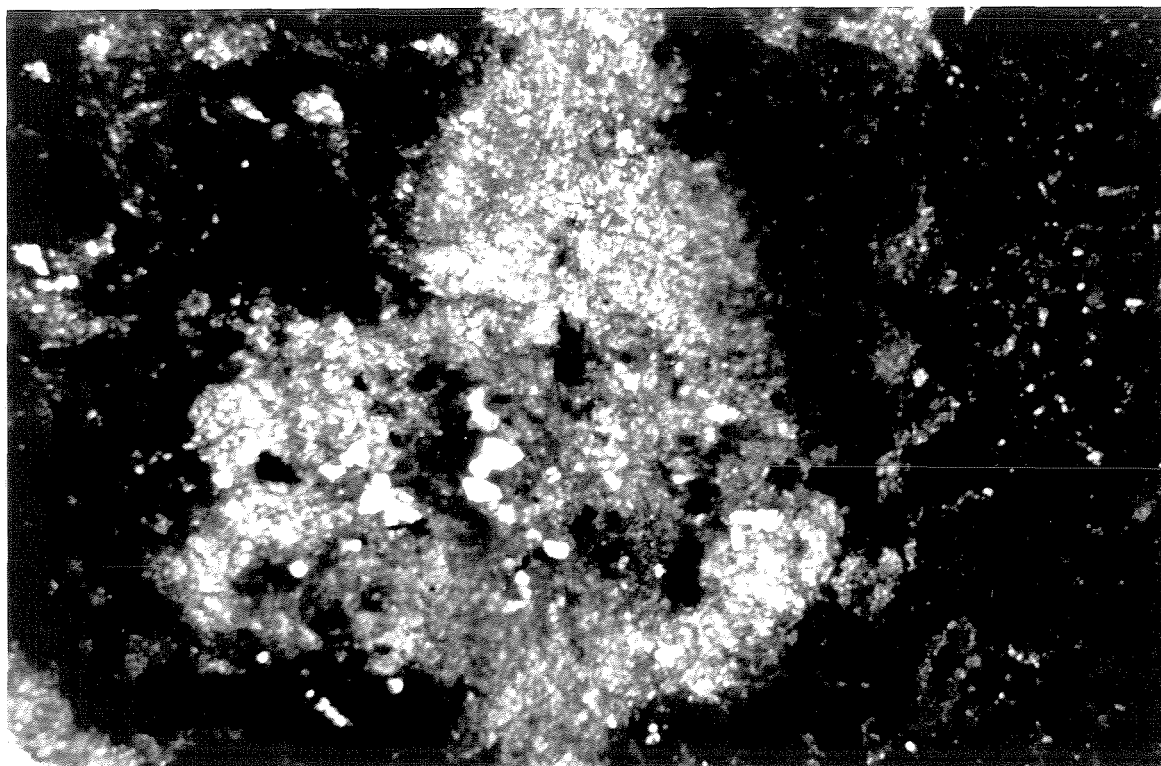


FOTO 08 Prof. 7,75 - 8,00m (ESC.1:10.000)

## LAMINA 03

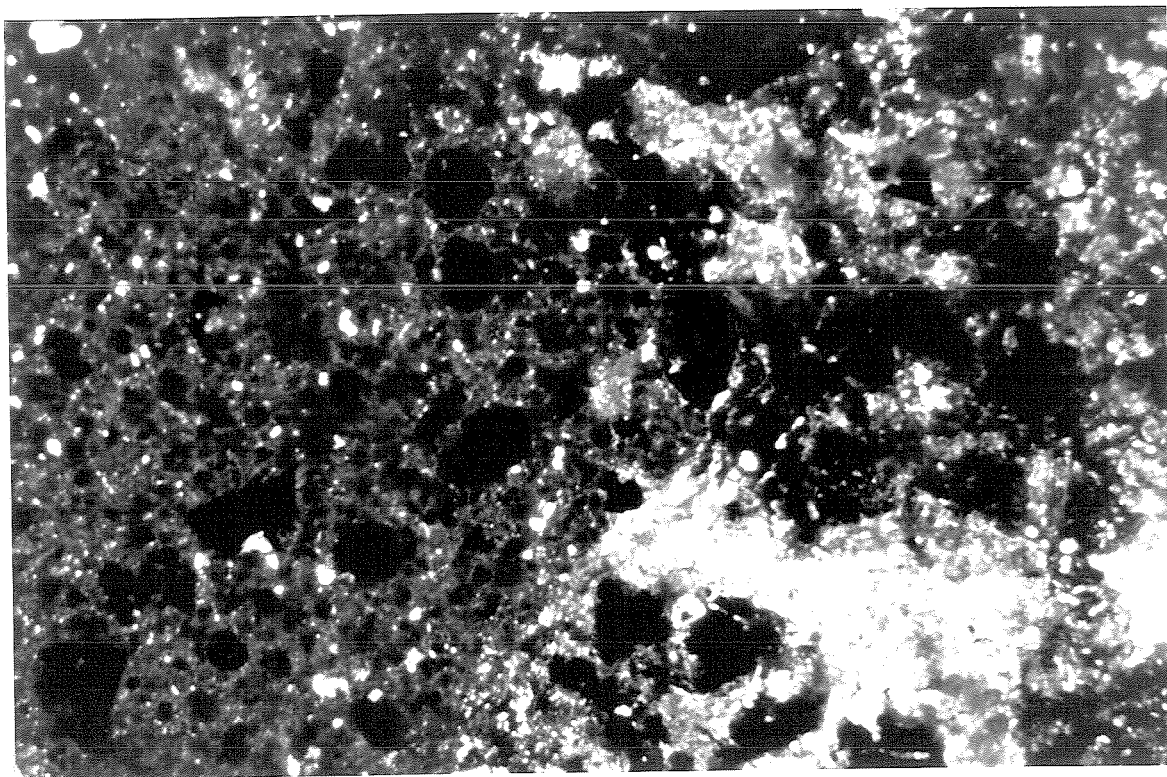


FOTO 09 Prof. 7,75 - 8,00m (Esc.1:10.000)

## VII- CONCLUSÕES

Objetivou-se com este trabalho analisar as características de colapsibilidade de um solo residual de diabásio, comum à região de Campinas, assim como, contribuir para a implantação de um campo experimental para estudos de Mecânica dos Solos e Fundações. Dos resultados alcançados nesta pesquisa, pode-se concluir:

- os ensaios de adensamento realizados, com saturação em determinado nível de carga indicam, segundo critério de Vargas (1978), que o solo tem alto índice de colapso, principalmente em sua camada inicial, até 5,00m de profundidade. A 8,00m de profundidade o solo também apresentou-se colapsível, porém com um índice de colapso menor. À partir desta profundidade não foram realizados ensaios para verificação da colapsibilidade do solo.

- a utilização de ensaios de simples caracterização do solo (LL ;LP ;W ;Sr), através da proposta de diversos autores para definir se um solo é colapsível ou não, conduz a resultados conflitantes para o solo em estudo.

- o solo estudado apresenta uma estrutura altamente porosa, constituída por microagregados, os quais unidos formam agregados maiores, por vezes do tamanho de silte e areia fina. Há a presença bem definida de caulinita e gibbsita, havendo em pequena quantidade a muscovita e illita. Esta estrutura altamente porosa provavelmente

sofre colapso devido a eliminação da sucção e enfraquecimento das ligações entre os grãos, causado pelo aumento do grau de saturação do solo, isso pode ser analisado através dos ensaios de raio-x e micromorfologia.

---

- considerando-se os ensaios já realizados juntamente com outras pesquisas em desenvolvimento no local, pode-se concluir que já se tem um campo experimental implantado.

## VIII- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNELLI, N. (1992). Estudo da colapsibilidade do solo de Bauru através de provas de carga diretas. São Carlos-USP. 169p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ALBIERO, J.H. (1991). Caracterização geotécnica do solo de uma área da cidade de Bauru - SP. São Carlos-USP. 148p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- ARMAN, A. & THORNTONS, S.I. (1973) *Identification of Collapsible Soils in Louisiana*. Highway Research Record, n.426,p.14-22.
- BENVENUTO, C. (1982). Uma avaliação teórico - experimental do comportamento de alguns solos colapsíveis. São Paulo-USP. Dissertação (Mestrando em Engenharia) - Escola politécnica, Universidade de São Paulo.
- CAMARGO, O.A., MONIZ, A.C., JORGE, J.A. & Valadares (1986) *Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Cap. 3 e 4, p.3-56. (Boletim do Instituto Agrônomo de Campinas, SP, n.106).
- CARNEIRO, B.J.I., CAMPELO, N.S., MACACARI, M.F., CINTRA, J.C.A. (1994). *Correlação entre a carga última de estacas à tração e à compressão em solo colapsível*. In: Simpósio sobre solos não saturados, Recife, Anais..., Recife, pp. 231-236.
- CARVALHO, D. & ALBUQUERQUE, P.J.R. (1994). *Comportamento de estacas de pequeno porte a tração em solos colapsíveis*. In: Simpósio sobre solos não saturados, Recife, Anais..., Recife, pp. 237- 242.
- CARVALHO, J.C. (1994). *Considerações sobre o estudo e análise do colapso de solos porosos naturais*. In: Simpósio sobre solos não saturados, Recife, Anais..., Recife, pp. 99- 104.
- CARVALHO, M.F. (1994). Estudo de solos colapsíveis no Nordeste do Estado de Minas gerais. São Carlos-USP. 137 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de

Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**CASTRO, S.S.(1985).** *Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada* - Soc. Bras. Ci. Solo. bol. Inf., p.44, Campinas.

---

**CASTRO, S.S.(1986)** (compilador). - *Micromorfologia de solos- pequeno guia para descrição de lâminas delgadas* - Apostila (mimeografada) - Apoio IPT - CAPES/CONFECUB para DG - USP (no prelo).

**CASTRO, S.S.(1989).** *Sistemas de transformação pedológica em Marília, S.P. : B latossólidos e B texturais*. Tese de Doutorado - Departamento de Geografia da FFLCH-USP. 274 p. Universidade de São Paulo.

**CLEMENCE, S.P. & FINBARR, A.O. (1981).** Design Considerations for Collapsible Soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE*, V.107, n.GT3, março, p.305-317.

**COSTA, M.E.R.(1986).** *Estudo da colapsividade dos solos superficiais de Uberlândia*. São Paulo-USP. 90 p.Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**CRUZ, P.T. et al (1994).** *Ensaio in situ em solo colapsível durante ascensão do lençol freático*. In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Foz do Iguaçu, p. 443-450.

**CRUZ, P.T. et al (1994).** *Análise de alguns fatores que afetam a colapsibilidade dos solos porosos*. In: X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos em Engenharia de Fundações. Foz do Iguaçu, Novembro, p.1127-1143.

**DIAS, R.D.(1994).** *Influência da estrutura pedológica na colapsibilidade dos latossolos*. In: Simpósio sobre solos não saturados. Recife, Anais..., Recife, pp. 147-152.

**ELIS, V.R.(1993).** *A aplicação da geofísica para análise do meio físico. Importância para elaboração do mapeamento geotécnico*. Rio Claro-UNESP. 120 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia) Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de São Paulo.

**FERREIRA, R.C. & MONTEIRO, L.B. (1985).** *Identification and evaluation of collapsibility of colluvial soils that occur in the São Paulo state.* In: International Conference on geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soil. Brasília Proceedings..., São Paulo, ABMS. V.1, p.269-80.

**FERREIRA, C.F., PERES, J.E.E., OGNEBENE, W. (1986).** *A determinação da capacidade de carga de solos porosos através da resistência à penetração do cone (CPT), para projeto de fundações rasas.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Porto Alegre. Anais..., ABMS. V.6, p.201-212.

**FERREIRA, S.R.M. (1994).** *Técnicas de ensaios e fatores nas medidas de deformação de solos colapsíveis e expansivos.* In: Simpósio sobre solos não saturados. Recife, Anais..., p. 19-29.

**FUMIÓ, B.L.C. (1982).** *Barragens de terra sobre solos "porosos": Análise de soluções de drenagem na fundação.* Rio de Janeiro: UFRJ. 89 p. Tese (Mestrado em Ciências) Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**GEHLING, W.Y.Y., DIAS, R.D., ROISENBERG, A. (1982).** *Compressibilidade e colapsibilidade de solos porosos planalto meridional do Rio Grande do Sul.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7, Olinda. Anais..., São Paulo, ABMS. V.4, p.192-205.

**GIACHETTI, H.L. (1991).** *Estudo experimental de parâmetros dinâmicos de alguns solos tropicais do estado de São Paulo.* São Carlos-USP. 232 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**GOLOMBEK, S. (1985).** *Peculiarities of in situ behaviour of tropical lateritic and saprolitic soils in their natural conditions: building foundations.* In: International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, 1, Brasília, Anais..., V.4, pp. 13-29.

**LIMA SOBRINHO, O.O. (1983).** *Estudo das características da compressibilidade do solo superficial através de provas de carga em modelos.* São Carlos - USP. 123 P.

(Dissertação Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**LOBO, A.S. (1991).** *Colapsividade do solo de Bauru e sua influência em estacas de pequeno porte.* São Carlos-USP. 211 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**LOPES, J.A.U. (1987).** *Terra Roxa-PR: um caso notável de problemas em fundações rasas provocadas por fenômenos associados a colapso de solos.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, São Paulo, Anais..., V. 2., p. 359-372.

**MARCO, L.A., BARROS, J.M.C., FREITAS, C.G.L. (1986).** *Características geológico-geotécnicas do horizonte superior poroso do subsolo de Boa Vista, RR - Informações preliminares.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES. Porto Alegre, Anais..., P. 23-28.

**MARIZ, D.F., CASANOVA, F.J. (1994).** *Alguns aspectos relevantes no mecanismo de colapso de solos do Planalto de Central.* In: Simpósio sobre Solos não saturados. Recife, Anais..., p. 129- 134.

**MELLIOS, G.A. (1985).** *Provas de carga em solos porosos.* Seminário de Engenharia de Fundações Especiais, 102 p.

**MENDONÇA, M.B., MAHLER, C.F., PEREIRA, J.H.F. (1993).** *Ensaio laboratório em solos colapsíveis da região de Bom Jesus da Lapa-BH.* Revista Solos e Rochas, Outubro, p. 159-172.

**MENEZES, R.S., FRAGA, M.B.T. (1994).** *Solos Colapsíveis.* In: Simpósio sobre solos não saturados. Recife, Anais..., p.111-116.

**MONTEIRO, L.B. (1985).** *Alguns aspectos da capacidade de carga de solos colapsíveis.* Ilha Solteira. Seminário de Engenharia de Fundações Especiais. 10 p.

**MENDONÇA, M.B., MAHLER, C.F., CASANOVA, F.S. (1994).** *Estudo do mecanismo de colapso de solos do semi-árido da Bahia.* In : Simpósio sobre Solos não Saturados. Recife, Anais..., p. 123-128.

**MIRANDA, A.N. & MENESCAL, R.A. (1994).** *O método dos elementos finitos aplicado ao estudo de fundações de*

barragens rígidas sobre solos colapsíveis. In: Simpósio sobre Solos não Saturados. Recife, Anais..., p. 271-277.

MORAES, L.J., CAVALCANTE, A.V., FRANCO, J.A.M. (1994). Caracterização dos solos colapsíveis na fundação do dique 2 do aproveitamento hidroelétrico de Cana-Brava. In: Simpósio sobre Solos não Saturados. Recife, Anais..., p. 117-122.

NAKAO, H. & RICCÓ, M.F. (1982). Características geotécnicas de solos da região de Brasília-DF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES. Olinda, Recife, Anais..., ABMS. V.5, p. 141-159.

NEVES, M. (1986). Permeabilidade dos solos enfase em solos colapsível. São Carlos-USP. 91p. Seminários em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PAIXÃO, M.N.O.N. (1994). Influência da micro estrutura no colapso de um solo de Brasília. In : Simpósio sobre solos não saturados. Recife, Anais..., p. 105-110.

SERAPHIM, L.A. (1978). Comportamento do Solo Superficial de Limeira e sua Integração com Fundações de Pequeno e Médio Porte. Faculdade de Engenharia Civil de Limeira, Limeira.

SERAPHIM, L.A. (1984). Algumas considerações a respeito de solos colapsíveis. Revista das Faculdades Franciscanas. V.2, p.01-14.

SOUZA, A. (1993). Utilização de fundações rasas no solo superficial colapsível de Ilha Solteira. São Carlos-USP. 125 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA PINTO, C. (1978). Fundações de barragens em solos compressíveis e/ou de baixa resistência. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens. São Paulo, Anais..., P. 173-215.

SULTAN, H. A . (1971) "Some Engeneering Aspescts of Collapsing Soils", the University of Arizona, Tucson, p.35, (inédito).

TEIXEIRA, C.Z. (1993). Comportamento de estacas escavadas em solos colapsíveis. São Carlos-USP. 157 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VARGAS, M. (1977). *Fundações de barragens de terra sobre solos porosos*. Revista Construções Pesada, março. p.77-81.

VILAR, O.M. (1979). Estudo da compressão unidirecional do sedimento moderno (solo superficial) da cidade de São Carlos. São Carlos-USP. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

---

VILAR, O.M. (1986). *Solos colapsíveis: um problema para a engenharia de solos tropicais*. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia. Rio de Janeiro, Anais..., V.1. p. 209-224.

VILAR, O.M. (1993). *Colapso de solos sob condições controladas de sucção*. In: Simpósio Brasileiro de Solos tropicais em Engenharia. Ilha Solteira, Anais..., p. 217-227.

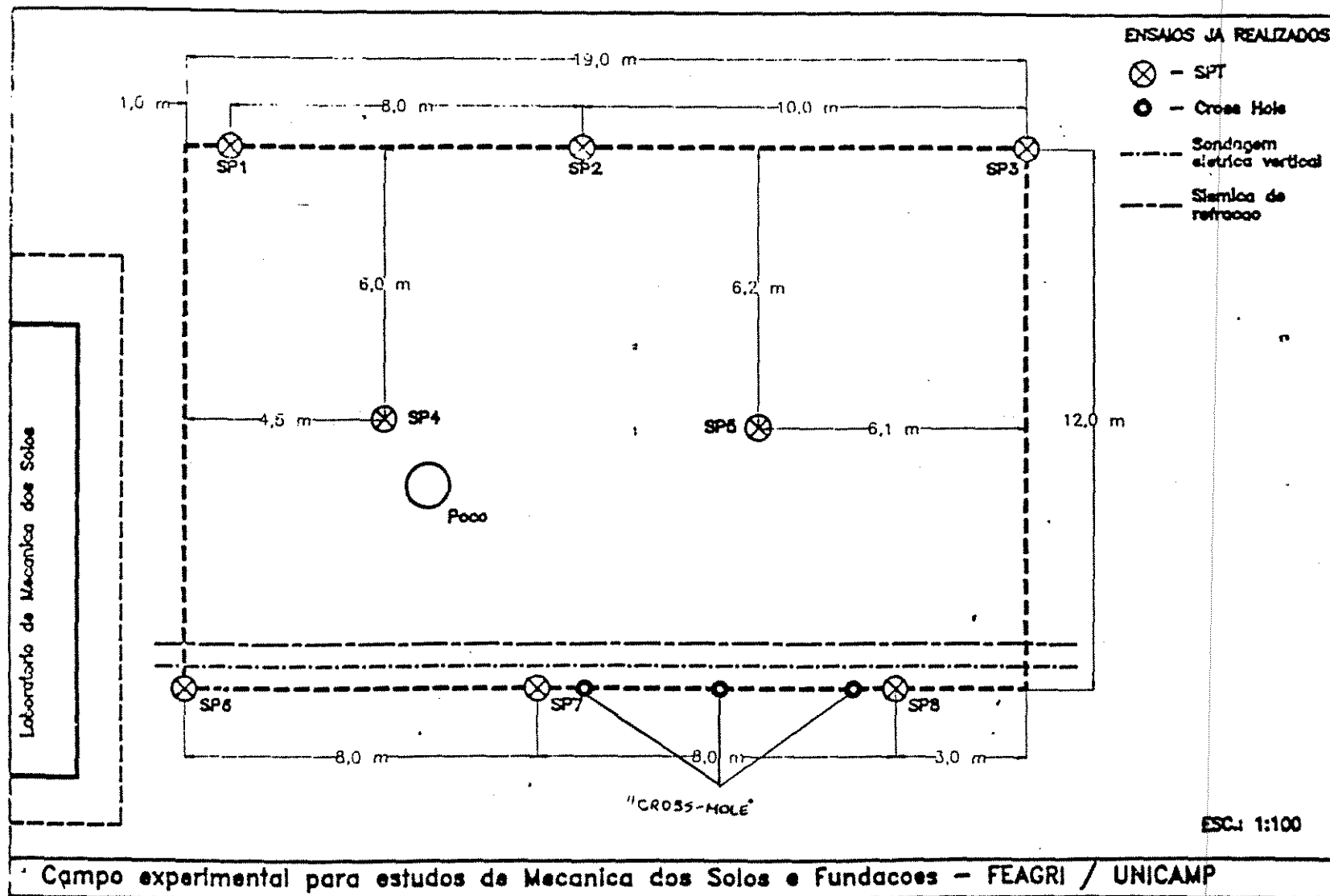
VILAR, O.M., GAIOTO, N. (1994). *Comportamento colapsível de um solo laterítico compactado*. In: Simpósio sobre solos não Saturados. Recife, Anais..., p. 185-190.

ZUQUETTE, L.V. (1987). Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos- USP. 673 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

WOLLE, et al. (1978). *Estudo preliminar da colapsividade dos solos no projeto Jaíba*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1, São Paulo, 1978. Anais..., ABGE. V.1. p.179-194.

---

# ANEXO I



---

# ANEXO II



geotecnia e engenharia ltda

D 200408

|                         |         |                                                                   |                                  |                      |                                                                                                |        |         |
|-------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|
| CLIENTE                 |         | Unicamp Universidade Estadual de Campinas                         |                                  |                      |                                                                                                | REF    | SP-4512 |
| LOCAL                   |         | FEAGRI Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas - SP |                                  |                      |                                                                                                |        |         |
| ESCALA                  | 1:100   | DATA                                                              | 04.02.91                         | DESTINO              | ENGR                                                                                           | DES Nº | 33042   |
| SONDAGEM                |         | SP.01                                                             |                                  | COTA 100,18 metros   |                                                                                                |        |         |
| Cota em relação ao R.N. | AMOSTRA | Profundidade de camada (m)                                        | PENETRAÇÃO (golpes/30 cm) S.P.T. |                      | REVESTIMENTO 63,5 mm                                                                           |        |         |
| NÍVEL D'ÁGUA            |         |                                                                   | Nº DE GOLPES                     | GRÁFICO              | ANULADOR { Ø INTERNO 34,9 mm<br>Ø EXTERNO 50,8 mm<br>PESO 65 kg ALTURA DE QUEDA 75 cm          |        |         |
|                         |         |                                                                   |                                  | 10 20 30 40 50 60 70 | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                      |        |         |
| 100                     | 1       |                                                                   | 1/25                             |                      | Argila muito arenosa (porosa), muito mole a média, marron-avermelhado.                         |        |         |
|                         | 2       |                                                                   | 2/35                             |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 3       |                                                                   | 3/35                             |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 4       |                                                                   | 4/35                             |                      |                                                                                                |        |         |
| 95                      | 5       |                                                                   | 4                                |                      | Silte argilo-arenoso, marron-amarelado.                                                        |        |         |
|                         | 6       | 6,30                                                              | 6                                |                      | Argila arenosa com concreções, marron-avermelhado.                                             |        |         |
|                         | 7       | 6,50                                                              | 4                                |                      | Silte areno-argiloso, amarelado (veio concrecionado).                                          |        |         |
|                         | 8       | 6,70                                                              | 8                                |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 9       |                                                                   | 6                                |                      |                                                                                                |        |         |
| 90                      | 10      |                                                                   | 11                               |                      | Rijo.                                                                                          |        |         |
|                         | 11      |                                                                   | 10                               |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 12      |                                                                   | 9                                |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 13      |                                                                   | 9                                |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 14      |                                                                   | 8                                |                      |                                                                                                |        |         |
| 85                      | 15      |                                                                   | 8                                |                      | Silte argilo-arenoso, mole a média, variegado (marron-avermelhado e amarelo). (Solo Residual). |        |         |
|                         | 16      |                                                                   | 7                                |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 17      |                                                                   | 6                                |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 18      |                                                                   | 6                                |                      |                                                                                                |        |         |
|                         | 19      |                                                                   | 7                                |                      |                                                                                                |        |         |
| 80                      | 20      | 20,45                                                             | 5                                |                      | Limite da Sondagem                                                                             |        |         |
|                         |         |                                                                   |                                  |                      | *Não Foi Encontrado.                                                                           |        |         |
|                         |         |                                                                   |                                  |                      | AVANÇO. { TRADO 0,00 a 15,00 m<br>LAVAGEM                                                      |        |         |
|                         |         |                                                                   |                                  |                      | PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO. m                                                                |        |         |
|                         |         |                                                                   |                                  |                      | — SPT últimos 30 cm                                                                            |        |         |
|                         |         |                                                                   |                                  |                      | --- SPT estimado.                                                                              |        |         |

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA  
INICIAL \*NFE<sub>m</sub> em 04.02.91  
FINAL \*NFE<sub>m</sub> em 05.02.91



geotecnia e engenharia ltda

| CLIENTE                 |         | Unicamp Universidade Estadual de Campinas                         |                                  | REF                  |                                                                                                                                                                                | SP-4512                                          |  |
|-------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--|
| LOCAL                   |         | FENGRI Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas - SP |                                  |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
| ESCALA                  |         | 1:100                                                             |                                  | DATA                 |                                                                                                                                                                                | 04.02.91                                         |  |
| DESTINO                 |         | analisar                                                          |                                  | ENCO                 |                                                                                                                                                                                | 33043                                            |  |
| SONDAGEM                |         | SP.02                                                             |                                  | COTA 100,427 metros  |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
| Cota em relação ao R.N. | AMOSTRA | Profundidade de cota (m)                                          | PENETRAÇÃO (golpes/30 cm) S.P.T. |                      | REVESTIMENTO $\phi$ 63,5 mm                                                                                                                                                    |                                                  |  |
| NÍVEL D'ÁGUA            |         |                                                                   | Nº DE GOLPES                     | GRÁFICO              | AMOSTRADOR                                                                                                                                                                     | $\phi$ INTERNO 34,7 mm<br>$\phi$ EXTERNO 50,8 mm |  |
|                         |         |                                                                   |                                  | 10 20 30 40 50 60 70 | PESO 65 KG                                                                                                                                                                     | ALTURA DE QUIDA 75 cm                            |  |
|                         |         |                                                                   |                                  |                      | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                                                                                                      |                                                  |  |
| 100                     | 1       |                                                                   | 1/20                             |                      | Argila muito arenosa (porosa), muito mole a média, marrom-avermelhado.                                                                                                         |                                                  |  |
|                         | 2       |                                                                   | 1/17                             |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 3       |                                                                   | 2/32                             |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 4       |                                                                   | 4                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
| 95                      | 5       |                                                                   | 3                                |                      | Silte argilo-arenoso, marrom-amarelado (veio concrecionado).<br>Argila areno-siltosa, consistência média, marrom-amarelado e amarela.                                          |                                                  |  |
|                         | 6       | 5,30<br>6,46                                                      | 4                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 7       |                                                                   | 8                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 8       |                                                                   | 8                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 9       | 9,00                                                              | 8                                |                      | Silte argilo-arenoso, consistência média a mole, variegada (marrom-avermelhado e amarela).<br>(Solo Residual).                                                                 |                                                  |  |
| 90                      | 10      |                                                                   | 10                               |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 11      |                                                                   | 8                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 12      |                                                                   | 10                               |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 13      |                                                                   | 8                                |                      | Areia fina e média siltosa, vermelha e amarela. (Solo Residual).<br>Silte areno-argiloso com mica, medianamente compacta a compacta, variegada (cinza). (Solo Residual).       |                                                  |  |
|                         | 14      |                                                                   | 9                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 15      |                                                                   | 5                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
| 85                      | 16      |                                                                   | 9                                |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 17      |                                                                   | 8                                |                      | Limite da Sondagem<br><br>*Não Foi Encontrado.<br><br>AVANÇO { TRADO 0,00 a 20,00 m<br>LAVAGEM.<br>PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO. m<br>— SPT últimos 30 cm<br>--- SPT estimado. |                                                  |  |
|                         | 18      | 18,30                                                             | 12                               |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 19      | 19,00                                                             | 14                               |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
|                         | 20      | 20,45                                                             | 22                               |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |
| 80                      |         |                                                                   |                                  |                      |                                                                                                                                                                                |                                                  |  |

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA  
INICIAL \*NFE<sub>m</sub> em 04.02.91  
FINAL \*NFE<sub>m</sub> em 06.02.91



geotecnia e engenharia Ltda.

|                                                                          |                |                            |                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CLIENTE: Unicamp Universidade Estadual de Campinas                       |                | REF: SP-4512               |                                                                                                     |
| LOCAL: FEAGRI Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas - SP |                |                            |                                                                                                     |
| ESCALA: 1:100                                                            | DATA: 08.02.91 | DEST: <i>medias</i>        | ENG: <i>[assinatura]</i>                                                                            |
| SONDAGEM SP.03                                                           |                | COTA: 100,354 metros       |                                                                                                     |
| Cota em relação ao R. N.                                                 | AMOSTRA        | Profundidade da camada (m) | PENETRAÇÃO: (golpes/30 cm) S. P. T.                                                                 |
| NÍVEL D'ÁGUA                                                             |                |                            | REVESTIMENTO Ø 63,5 mm                                                                              |
|                                                                          |                |                            | ANISOTRADOR { Ø INTERNO: 34,9 mm<br>Ø EXTERNO: 50,8 mm                                              |
|                                                                          |                |                            | PESO 85 KG ALTURA DE QUEDA 75 cm                                                                    |
|                                                                          |                |                            | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                           |
| 100                                                                      |                |                            |                                                                                                     |
|                                                                          | 1              | 1/20                       | Argila muito arenosa (porosa), muito mole a mole, marrom-avermelhado.                               |
|                                                                          | 2              | 1/45                       |                                                                                                     |
|                                                                          | 3              | 1/25                       |                                                                                                     |
|                                                                          | 4              | 2                          |                                                                                                     |
| 95                                                                       | 5              | 4                          | Silte areno-argiloso, marrom-amarelado. (veio concrecionado).                                       |
|                                                                          | 6              | 8                          |                                                                                                     |
|                                                                          | 7              | 6                          | Argila silto-arenosa, consistência média, marrom.                                                   |
|                                                                          | 8              | 8                          |                                                                                                     |
|                                                                          | 9              | 12                         | Silte argilo-arenoso, médio a rijo, variegado (marrom-avermelhado a amarelado).<br>(Solo Residual). |
| 90                                                                       | 10             | 14                         |                                                                                                     |
|                                                                          | 11             | 14                         |                                                                                                     |
|                                                                          | 12             | 12                         |                                                                                                     |
|                                                                          | 13             | 9                          | Areia fina e média siltosa, medianamente compacta, vermelha e amarela. (Solo Residual).             |
|                                                                          | 14             | 15                         |                                                                                                     |
| 85                                                                       | 15             | 14                         |                                                                                                     |
|                                                                          | 16             | 14                         |                                                                                                     |
|                                                                          | 17             | 26                         | Silte argilo-arenoso com mica, compacta a muito compacta, variegada (cinza). (Solo Residual).       |
|                                                                          | 18             | 32                         |                                                                                                     |
|                                                                          | 19             | 17/15                      | Limite da Sondagem                                                                                  |
| 80                                                                       | 20             | 16/05                      |                                                                                                     |
|                                                                          |                |                            | *Não Foi Encontrado.                                                                                |
|                                                                          |                |                            | AVANÇO: { TRADO: 0,00 a 20,00' m<br>LAVAGEM:                                                        |
|                                                                          |                |                            | PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO: m                                                                     |
| PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA                                             |                |                            |                                                                                                     |
| INICIAL: *NFE m em 06.02.91                                              |                |                            |                                                                                                     |
| FINAL: *NFE m em 09.02.91                                                |                |                            |                                                                                                     |
| — SPT últimos 30 cm<br>--- SPT estimado.                                 |                |                            |                                                                                                     |



geotecnia e engenharia ltda

CLIENTE Unicamp Universidade Estadual de Campinas REF SP-4512  
LOCAL FEAGRI Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas - SP  
ESCALA 1:100 DATA 06.02.91 DESTINO *analisar* INQU *2* DES Nº 33045  
SONDAGEM SP.04 COTA 99,948 metros

| Cota em relação ao R.N. | AMOSTRA | Profundidade da amostra (m) | PENETRAÇÃO (golpes/30 cm) S.P.T. |                      | REVESTIMENTO Ø 63,5 mm                              |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|-------------------------|---------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
|                         |         |                             | Nº DE GOLPES                     | GRÁFICO              | AMOSTRADOR { Ø INTERNO 34,9 mm<br>Ø EXTERNO 50,8 mm |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
| NÍVEL D'ÁGUA            |         |                             |                                  |                      | PESO 85 KG                                          | ALTURA DE QUEDA 75 cm | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                                                                        |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  | 10 20 30 40 50 60 70 |                                                     |                       | Argila muito arenosa (porosa), muito mole a média, marrom-avermelhado.                                                                           |  |  |  |  |
|                         | 0       |                             | 2/32                             |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 1       |                             | 2/40                             |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 2       |                             | 2/32                             |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 3       |                             | 2/35                             |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 4       |                             | 3/33                             |                      |                                                     |                       | Argila silto-arenosa, consistência média a rija, variegada (marrom-avermelhado e amarela).                                                       |  |  |  |  |
| 95                      | 5       |                             | 5                                |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 6       |                             | 7                                |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 7       | 7,60                        | 6                                |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 8       |                             | 10                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 9       |                             | 13                               |                      |                                                     |                       | Silte argilo-arenoso, duro a médio, variegado (marrom-avermelhado e cinza).<br>(Solo Residual).                                                  |  |  |  |  |
| 90                      | 10      |                             | 18                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 11      | 11,00                       | 20                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 12      |                             | 7                                |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 13      |                             | 7                                |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 14      |                             | 9                                |                      |                                                     |                       | Silte arenoso com mica, compacto, variegado (marrom e cinza).<br>(Solo Residual).                                                                |  |  |  |  |
| 85                      | 15      |                             | 10                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 16      | 16,40                       | 18                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 17      |                             | 21                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 18      |                             | 21                               |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         | 19      |                             | 25                               |                      |                                                     |                       | Areia média, fina e grossa siltosa com veios de pedregulhos em decomposição, muito compacta, cinza-claro. (Solo Residual).<br>Limite da Sondagem |  |  |  |  |
| 80                      | 20      | 20,00<br>20,30              | 20/15                            |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       | *Não Foi Encontrado.                                                                                                                             |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       | AVANÇO { TRADO 0,00 a 20,00m<br>LAVAGEM.                                                                                                         |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       | PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO. m                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       | — SPT últimos 30 cm<br>--- SPT estimado.                                                                                                         |  |  |  |  |
|                         |         |                             |                                  |                      |                                                     |                       |                                                                                                                                                  |  |  |  |  |

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA  
INICIAL \*NFE m em 04.02.91  
FINAL \*NFE m em 07.02.91



geotecnia e Engenharia Ltda

CLIENTE Unicap Universidade Estadual de Campinas

REF SP-4512

LOCAL Feagri Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicap - Campinas - SP

ESCALA 1:100

DATA 15.02.91

DEST. *metros*ENGR *P*

OBS Nº 33047

SONDAGEM SP.06

COTA 99,386 metros

| Cota em relação ao P.N.                       | AMOSTRA | Profundidade de camada (m) | PENETRAÇÃO (golpes/30 cm) S.P.T. |                      | REVESTIMENTO $\phi$ 63,5 mm                                                                       |
|-----------------------------------------------|---------|----------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               |         |                            | Nº DE GOLPES                     | GRÁFICO              |                                                                                                   |
| NÍVEL D'ÁGUA                                  |         |                            |                                  | 10 20 30 40 50 60 70 | ANUSINADOR { $\phi$ INTERNO 34,9 mm<br>$\phi$ EXTERNO 50,8 mm<br>PESO 85 KG ALTURA DE QUEDA 75 cm |
| CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                     |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |
|                                               | 0       |                            | 1                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 1       |                            | 2/40                             |                      |                                                                                                   |
|                                               | 2       |                            | 2                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 3       |                            | 4                                |                      |                                                                                                   |
| 95                                            | 4       |                            | 5                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 5       |                            | 4                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 6       | 6,00                       | 6                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 7       | 7,00                       | 6                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 8       | 8,00                       | 7                                |                      |                                                                                                   |
| 90                                            | 9       |                            | 7                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 10      |                            | 8                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 11      |                            | 9                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 12      |                            | 10                               |                      |                                                                                                   |
|                                               | 13      |                            | 10                               |                      |                                                                                                   |
| 85                                            | 14      |                            | 10                               |                      |                                                                                                   |
|                                               | 15      |                            | 8                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 16      |                            | 7                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 17      |                            | 8                                |                      |                                                                                                   |
|                                               | 18      |                            | 10                               |                      |                                                                                                   |
| 80                                            | 19      |                            | 10                               |                      |                                                                                                   |
|                                               | 20      | 20,45                      | 25                               |                      |                                                                                                   |
| Limite da Sondagem                            |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |
| *Não Foi Encontrado.                          |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |
| AVANÇO: { TRADO: 0,00 a 20,00 m<br>LAVAGEM: m |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |
| PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO.                 |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |
| — SPT últimos 30 cm                           |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |
| --- SPT estimado.                             |         |                            |                                  |                      |                                                                                                   |

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA  
INICIAL \*NFE m em 13.02.91  
FINAL \*NFE m em 16.02.91



geotécnia e engenharia ltda

CLIENTE Unicamp Universidade Estadual de Campinas

REF SP-4512

LOCAL FEAGRI Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas - SP

ESCALA 1:100

DATA 15.02.91

DEST. *análise*ENCO *1*

DES Nº 33048

SONDAGEM SP.07

COTA 99,343 metros

| Cota em relação ao R.N. | AMOSTRA | Profundidade da camada (m) | PENETRAÇÃO (golpes/30 cm) E. P. T. |         | REVESTIMENTO Ø 63,5 mm                                                                                                                                                         |                                        |
|-------------------------|---------|----------------------------|------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                         |         |                            | Nº DE GOLPES                       | GRÁFICO | ANOTADOR                                                                                                                                                                       | Ø INTERNO 34,9 mm<br>Ø EXTERNO 50,8 mm |
| NÍVEL D'ÁGUA            |         |                            |                                    |         | PESO 85 KG ALTURA DE QUEDA 75 cm                                                                                                                                               |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                                                                                                      |                                        |
|                         | 0       |                            | 1/25                               |         | Argila muito arenosa (porosa), muito mole a mole, marrom-avermelhado.                                                                                                          |                                        |
|                         | 1       |                            | 1                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 2       |                            | 1/25                               |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 3       |                            | 2                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
| 95                      | 4       |                            | 4                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 5       |                            | 3                                  |         | Areia fina e média argilo-siltosa, pouco compacta, marrom-amarelado. (veio concrecionado).<br>Argila silto-arenosa, consistência média a mole, variegada (marrom-avermelhado). |                                        |
|                         | 6       | 6,00                       | 5                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 7       | 6,50                       | 6                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 8       |                            | 5                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
| 90                      | 9       | 9,00                       | 7                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 10      |                            | 9                                  |         | Silte argilo-arenoso, consistência média a rija, variegado (marrom-avermelhado e amarelo). (Solo Residual).                                                                    |                                        |
|                         | 11      |                            | 10                                 |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 12      |                            | 9                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 13      |                            | 9                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
| 85                      | 14      |                            | 9                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 15      |                            | 11                                 |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 16      |                            | 6                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 17      |                            | 7                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 18      |                            | 9                                  |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
| 80                      | 19      |                            | 14                                 |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         | 20      | 20,45                      | 14                                 |         |                                                                                                                                                                                |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | Limite da Sondagem                                                                                                                                                             |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | *Não Foi Encontrado.                                                                                                                                                           |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | AVANÇO: { TRADO 0,00 a 20,00 m<br>LAVAGEM                                                                                                                                      |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO. m                                                                                                                                                |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | — SPT últimos 30 cm                                                                                                                                                            |                                        |
|                         |         |                            |                                    |         | --- SPT estimado.                                                                                                                                                              |                                        |

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA  
INICIAL \*NFE<sub>m</sub> em 13.02.91  
FINAL \*NFE<sub>m</sub> em 16.02.91



geotecnia e engenharia Ltda

CLIENTE Unicamp Universidade Estadual de Campinas

REF SP-4512

LOCAL FEAGRI Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp - Campinas - SP

ESCALA 1:100

DATA 15.02.91

DESEMPENHO

ENCO 1

DES Nº 33049

SONDAGEM SP.08

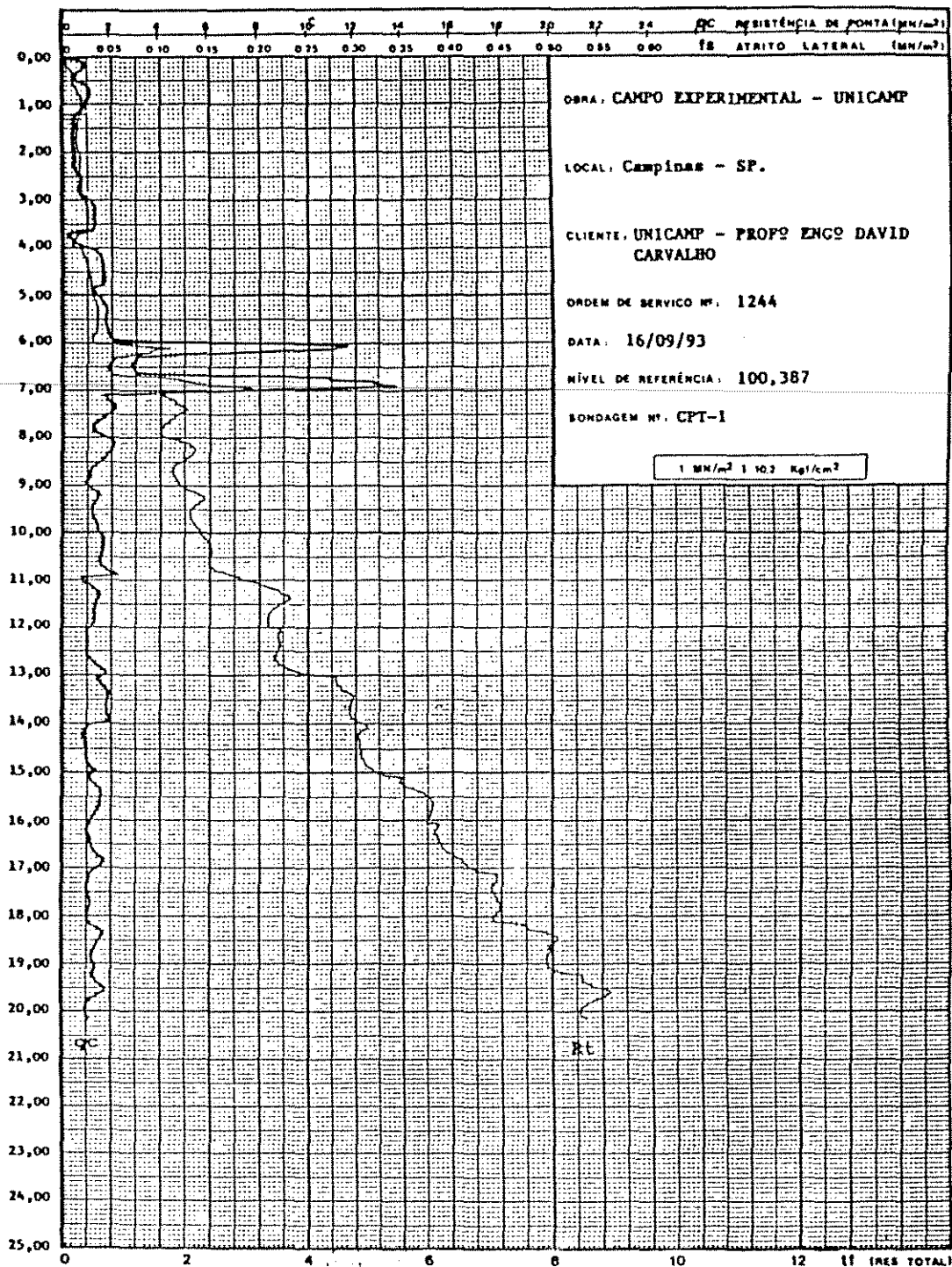
COTA 99,348 metros

| Cota em relação ao R.N. | AMOSTRA | Profundidade de camada (m) | PENETRAÇÃO (golpes/30 cm) S.P.T. |                      | REVESTIMENTO $\phi$ 63,5 mm                                                                     |
|-------------------------|---------|----------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |         |                            | Nº DE GOLPES                     | GRÁFICO              |                                                                                                 |
| NÍVEL D'ÁGUA            |         |                            |                                  | 10 20 30 40 50 60 70 | ANOTADOR { $\phi$ INTERNO 34,9 mm<br>$\phi$ EXTERNO 50,8 mm<br>PESO 85 KG ALTURA DE QUEDA 75 cm |
|                         |         |                            |                                  |                      | CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL                                                                       |
|                         | 0       |                            | 1/15                             |                      | Argila muito arenosa (porosa), muito mole a mole, marron-avermelhado.                           |
|                         | 1       |                            | 1/25                             |                      |                                                                                                 |
|                         | 2       |                            | 1/25                             |                      |                                                                                                 |
|                         | 3       |                            | 2                                |                      |                                                                                                 |
| 95                      | 4       |                            | 2                                |                      |                                                                                                 |
|                         | 5       |                            | 5                                |                      | Areia fina e média argilo-siltosa, pouco compacta, marron-amarelado. (veio concrecionado).      |
|                         | 6       | 6,00                       | 8                                |                      |                                                                                                 |
|                         | 7       | 6,50                       | 4                                |                      |                                                                                                 |
|                         | 8       |                            | 6                                |                      |                                                                                                 |
| 90                      | 9       |                            | 7                                |                      |                                                                                                 |
|                         | 10      |                            | 7                                |                      | Silte argilo-arenoso, mole a duro, variegado (marron-avermelhado a amarelado). (Solo Residual). |
|                         | 11      |                            | 9                                |                      |                                                                                                 |
|                         | 12      |                            | 10                               |                      |                                                                                                 |
|                         | 13      |                            | 8                                |                      |                                                                                                 |
| 85                      | 14      |                            | 8                                |                      |                                                                                                 |
|                         | 15      |                            | 8                                |                      | Areia fina, média e grossa siltosa, muito compacta, variegada (cinza-claro). (Solo Residual).   |
|                         | 16      |                            | 28                               |                      |                                                                                                 |
|                         | 17      |                            | 30                               |                      |                                                                                                 |
|                         | 18      | 18,60                      | 29                               |                      |                                                                                                 |
| 80                      | 19      |                            | 35/25                            |                      |                                                                                                 |
|                         | 20      | 20,27                      | 20/12                            |                      | Limite da Sondagem                                                                              |
|                         |         |                            |                                  |                      |                                                                                                 |
|                         |         |                            |                                  |                      | *Não Foi Encontrado.                                                                            |
|                         |         |                            |                                  |                      | AVANÇO: { TRADO 0,00 a 20,00 m<br>LAVAGEM.                                                      |
|                         |         |                            |                                  |                      | PROFUNDIDADE DO REVESTIMENTO. m                                                                 |
|                         |         |                            |                                  |                      | — SPT últimos 30 cm                                                                             |
|                         |         |                            |                                  |                      | --- SPT estimado.                                                                               |

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA  
INICIAL \*NFE m em 13.02.91  
FINAL \*NFE m em 16.02.91

---

# ANEXO III



**PTS**

PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO SOLO LTDA.

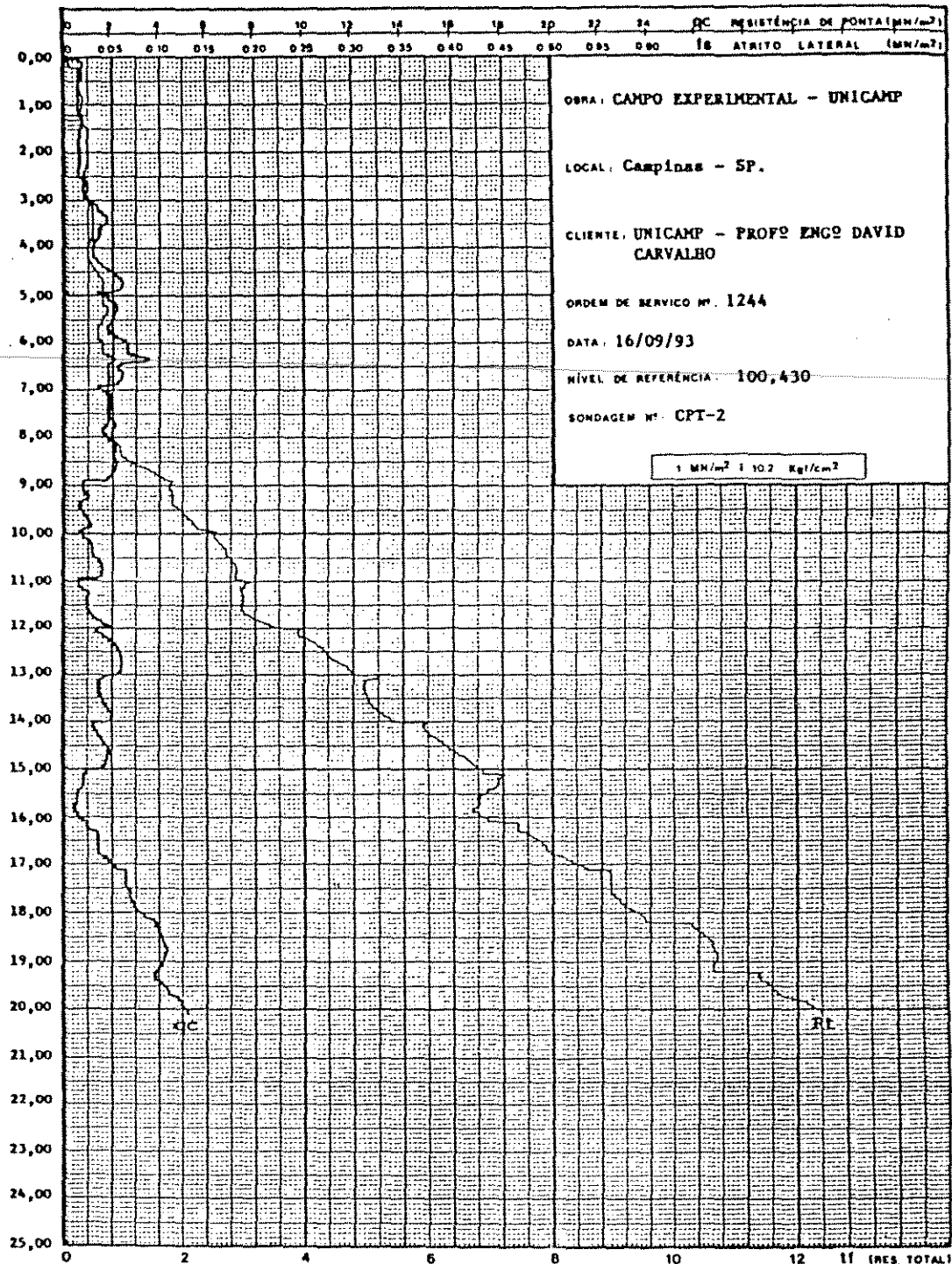
Rua Mauro, 478 - Bêde - Telas: (011) 25350  
CEP 04055 - Fone: (011) 577-8763 - São Paulo

Sondagem: contínua

Velocidade: 2cm/seg

Registro: eletrônico

**SONDAGEM**



**PTS**

PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO SOLO LTDA.

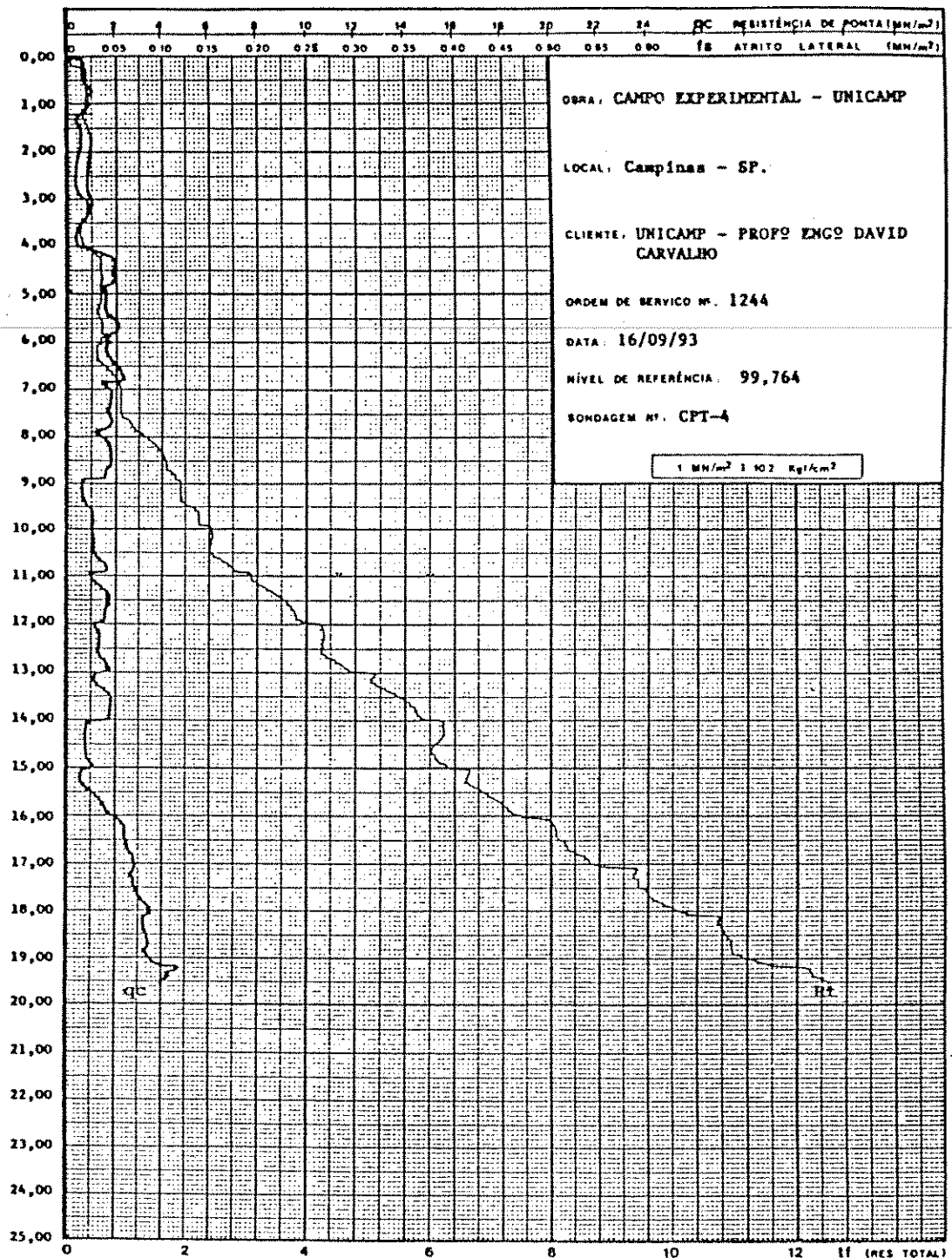
Rua Mauro, 478 - Bêde - Telax (011) 25350  
CEP 04055 - Fone (011) 577-8783 - São Paulo

Sondagem contínua

Velocidade: 2 cm/seg.

Registro eletrônico

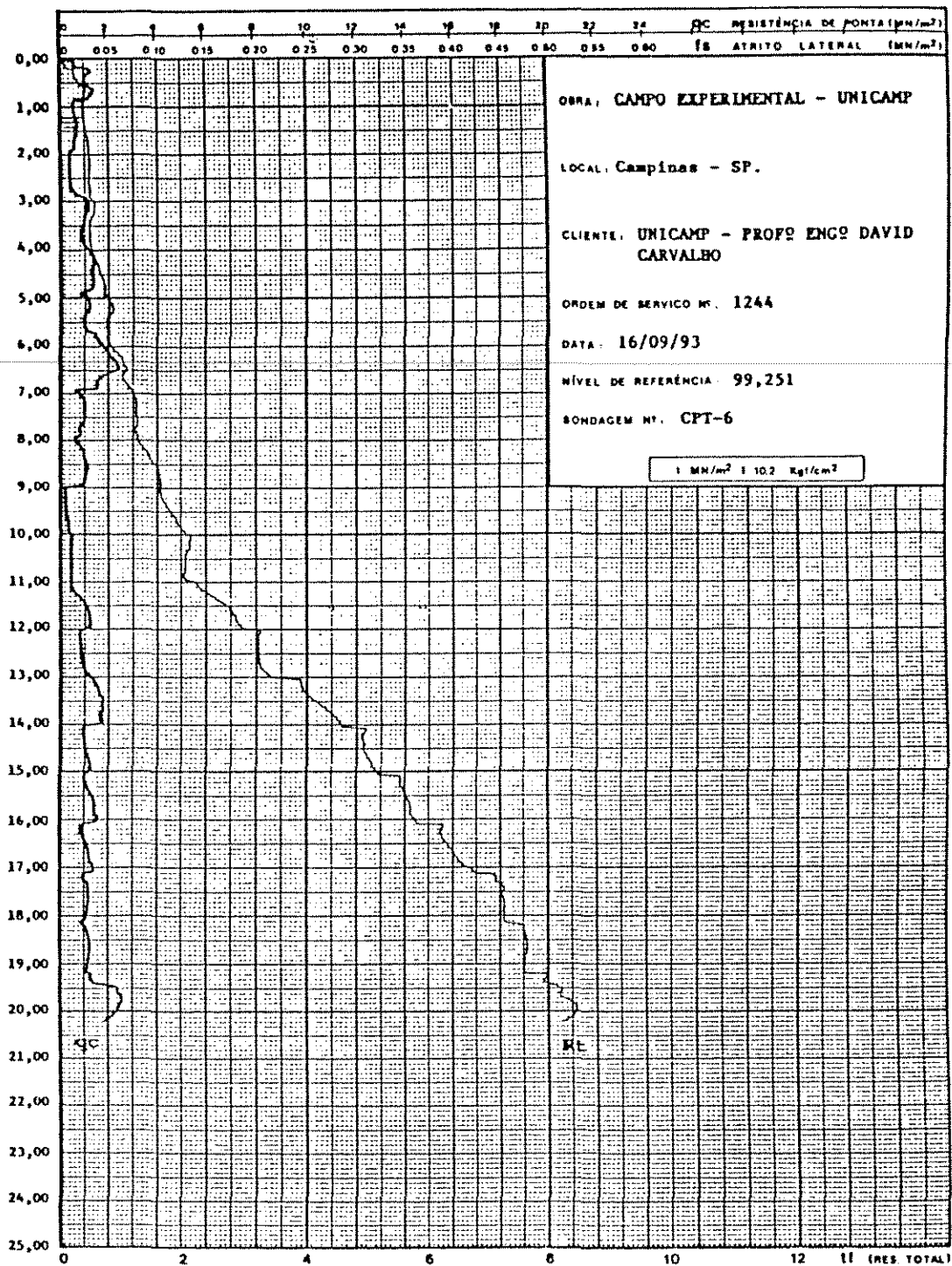
**SONDAGEM**



**PTS**  
**PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO SOLO LTDA.**  
 Rua Mauro, 478 - Saúde - Telex: (011) 25350  
 CEP: 04055 - Fone: (011) 577-9783 - São Paulo

Sondagem: contínua  
 Velocidade: 2 cm/seg.  
 Registro: eletrônico

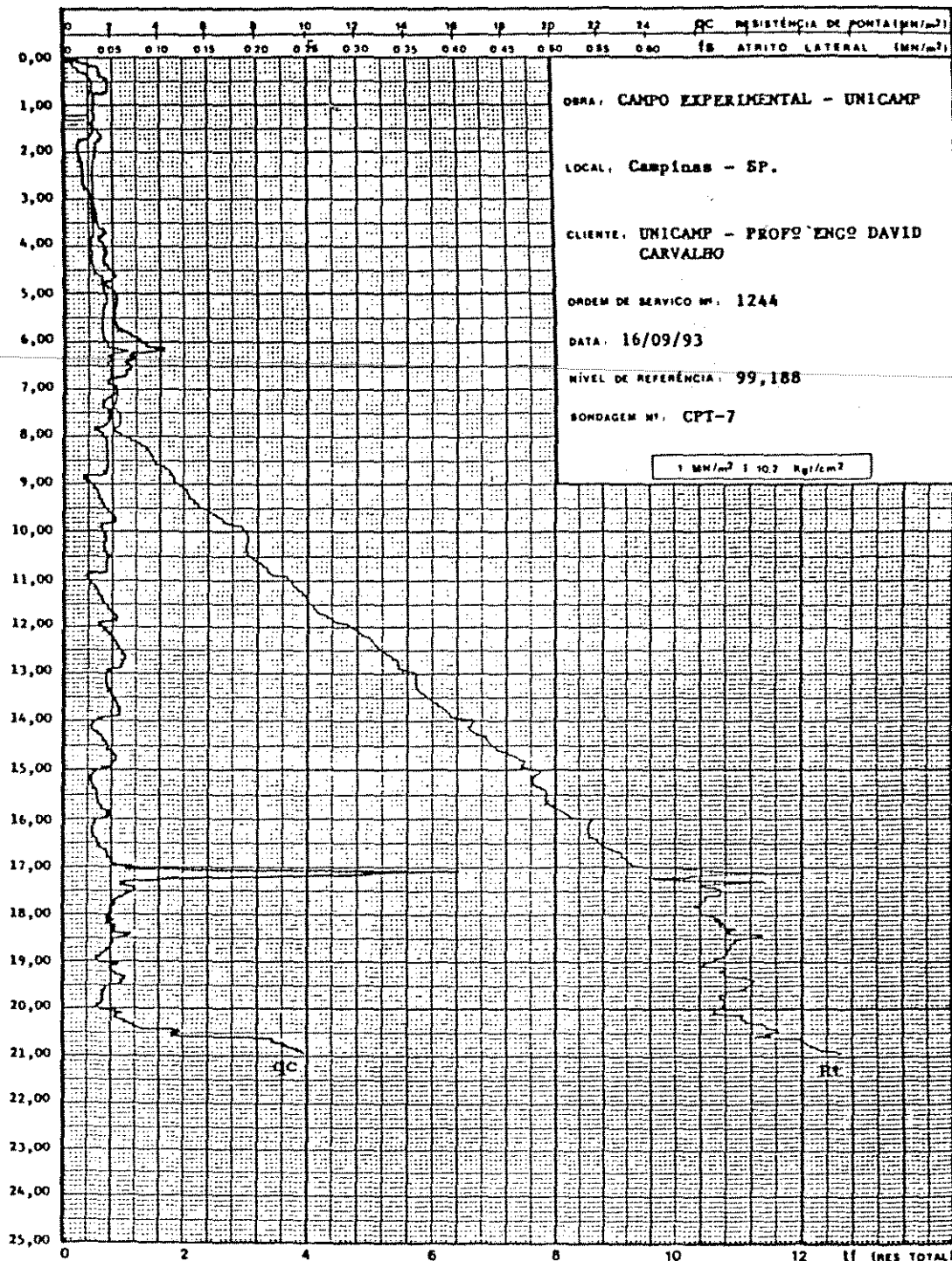
**SONDAGEM**



**PTS**  
**PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO SOLO LTDA.**  
 Rua Mauro, 478 - Saúde - Telex: (011) 25350  
 CEP: 04055 - Fone: (011) 577-9783 - São Paulo

Sondagem contínua  
 Velocidade: 2 cm/seg.  
 Registro eletrônico

**SONDAGEM**



**PTS**

PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO SOLO LTDA.

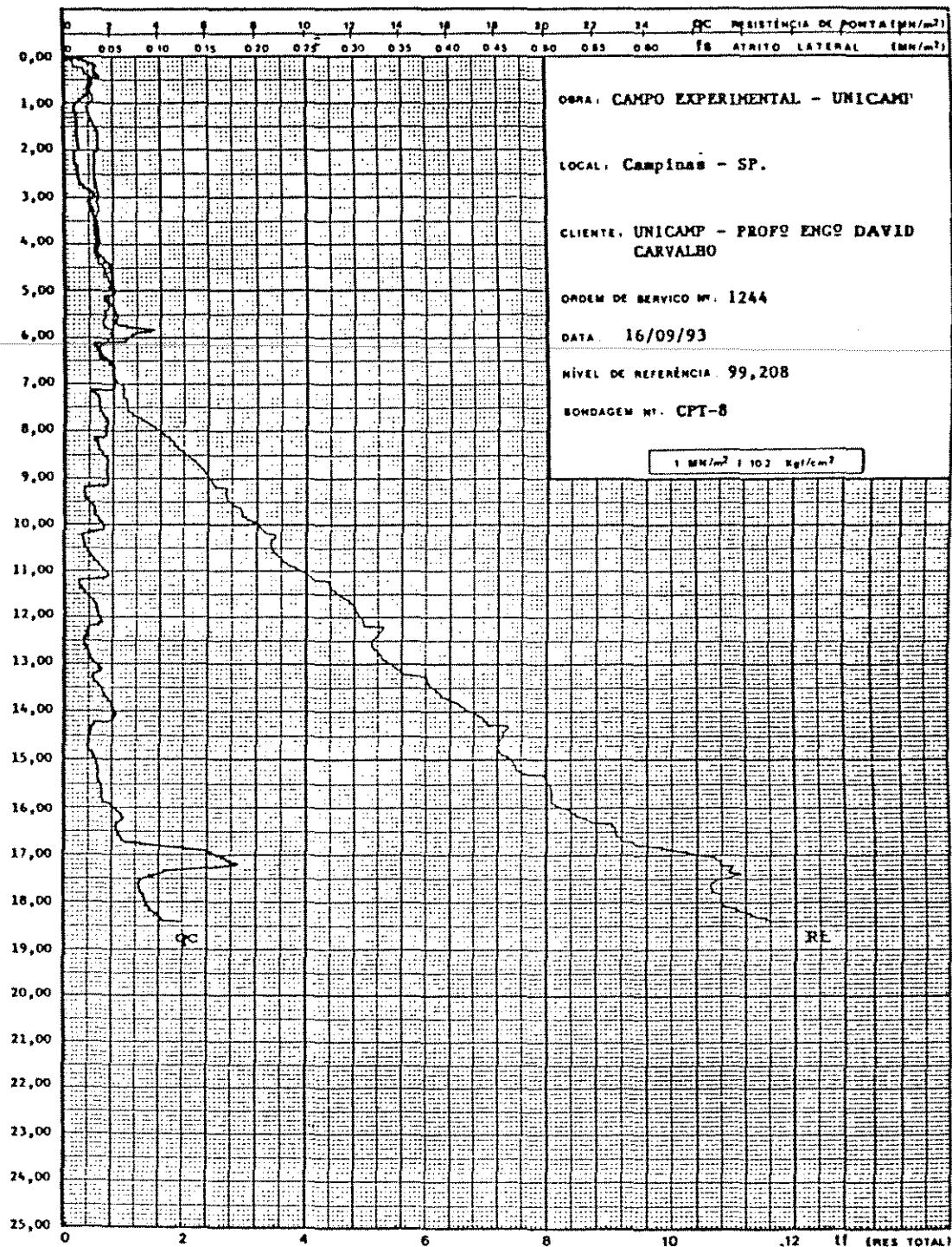
Rua Mauro, 476 - Saúde - Telas: (011) 25350  
CEP 04055 - Fone (011) 577-9783 - São Paulo

Sondagem contínua

Velocidade: 2 cm/seg

Registro eletrônico

**SONDAGEM**



**PTS**

PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO SOLO LTDA.

Rua Mauro, 476 - Saúde - Telex - (011) 25350  
CEP 04055 - Fone - (011) 577-9763 - São Paulo

Sondagem contínua

Velocidade: 2 cm/seg.

Registro eletrônico

**SONDAGEM**