

GRUPOS DE ESTACAS ESCAVADAS DE
PEQUENO DIÂMETRO EM SOLO COLAPSÍVEL

DEDALUS - Acervo - EESC



31100016415

JOSE CARLOS SILVA FERNANDES

Dissertação apresentada para Escola de Engenharia
de São Carlos, da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Geotecnia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Carlos A. Cintra

São Carlos

1995



Fernandes, Jose Carlos Silva

Grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro
em solo colapsível:
Influência da Inundação do solo na Redução da Capacidade de
Carga dos Grupos de Estacas Escavadas de Pequeno Diâmetro.

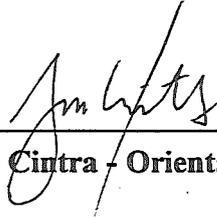
Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos -
Universidade de São Paulo, 1995.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos A. Cintra

1 - Fundações: Provas de Carga / Grupos de estacas / Solo Colapsível
Redução da Capacidade de Carga.

FOLHA DE APROVAÇÃO

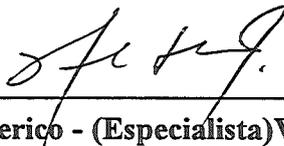
**DISSERTAÇÃO DEFENDIDA EM 13/12/95
E APROVADA PELA COMISSÃO JULGADORA:**



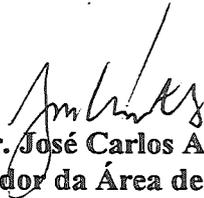
Prof. Dr. José Carlos Angelo Cintra - Orientador - USP / São Carlos



Prof. Dr. David de Carvalho - UNICAMP / Campinas



Eng.º Valter José Frederico - (Especialista)V.F. Fundações-São José do Rio Preto-SP



**Prof. Dr. José Carlos A. Cintra
Coordenador da Área de Geotecnia**



**Prof. Dr. Mounir Khalil El Debs
Vice-Presidente da Comissão de Pós-Graduação em Exercício**

DEDICATÓRIA

A toda minha Família.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. JOSE CARLOS ANGELO CINTRA, pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

- A todos os meus amigos pelo companherismo e ajuda nas horas mais difíceis, em especial a Benedito José Imbiriba Carneiro, Nilton de Souza Campelo, Paulo André Barbosa D'Ávila Silva e Marcos Fernando Macacari, e também pela colaboração na realização dos ensaios de campo.

- A todos os professores do Departamento de Geotecnia da USP - São Carlos.

- Aos professores da Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira em especial ao Prof. Adriano Sousa pelo incentivo para realização deste trabalho.

- A todos os funcionários do Departamento de Geotecnia da USP - São Carlos.

- Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FOTOGRAFIAS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 - Colapsibilidade do Solo	03
2.2 - Processos de Tratamentos	07
2.3 - Processos de Inundação	09
2.4 - Efeito da Inundação na Capacidade de Carga	11
2.4.1 - Provas de Carga em Estacas	11
2.4.2 - Provas de Carga em Placa	21
2.5 - Ensaio Sucessivos em Estacas	29
2.6 - Conclusão	31
3 - CAMPO EXPERIMENTAL	32
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 - Introdução	35

4.2 - Método de Ensaio	35
4.3 - Material utilizado	37
5 - RESULTADOS OBTIDOS	44
6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
6.1 - Introdução	55
6.2 - Estaca Isolada	56
6.3 - Grupos de Estacas	57
6.3.1 - Carga de Colapso	57
6.3.2 - Redução da capacidade de Carga	59
7 - CONCLUSÕES	63
8 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	64
9 - BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Prova de Carga a Compressão e Prova de Carga a Tração	11
Figura 02: Resultados das Provas de Carga	14
Figura 03: Carga x Índice de Vazios do Solo de Fundação do Tanque	16
Figura 04: Inundação do Terreno com diferentes Tensões - Prof. 1m	21
Figura 05: Inundação do Terreno com diferentes Tensões - Prof. 2 m	22
Figura 06: Prova de Carga Direta em Placa com e sem Inundação	25
Figura 07: Prova de Carga Direta em Placa com e Sem Inundação - Cava com Solo Subjacente Compactado	26
Figura 08: Análise Comparativa dos recalques sofridos pelos Protótipos em solo Natural e Compactado	28
Figura 09: Perfil Típico da Campo Experimental de Fundações da USP - São Carlos	34
Figura 10: Área de realização dos ensaios no Campo Experimental de Fundações da USP - São Carlos (Planta sem escala)	36

Figura 11: Provas de Carga na Estaca Isolada (Solo natural e Inundado)

- a) Gráficos Superpostos 45
- b) Gráficos não Superpostos 46

Figura 12: Provas de Carga no Grupo de 02 Estacas (Solo natural e inundado)

- a) Gráficos Superpostos 47
- b) Gráficos não Superpostos 48

Figura 13: Provas de Carga no Grupo de 03 estacas em Linha (Solo natural e inundado)

- a) Gráficos Superpostos 49
- b) Gráficos não Superpostos 50

Figura 14: Provas de carga no Grupo de 03 Estaca em Triângulo (Solo Natural e inundado)

- a) Gráficos Superpostos 51
- a) Gráficos não Superpostos 52

Figura 15: Provas de Carga no Grupo de 04 Estacas quadrado (Solo natural e Inundado)

- a) Gráficos Superpostos 53
- b) Gráficos não Superpostos 54

Figura 16: Carga de Colapso X Área de Contorno 58

Figura 17: Carga de Colapso X Carga Última 58

Figura 18: Carga de Colapso X Número de Estaca 59

Figura 19: Redução na Capacidade de Carga X Área de Contorno	60
Figura 20: Redução na Capacidade de Carga X Numero de Estacas	61
Figura 21: Redução na Capacidade de Carga X Carga Última	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Relação entre Recalques	15
Tabela 02: Comparação entre Carga Última das Estacas Escavadas com o solo Natural e Inundado	18
Tabela 03: Comparação entre Carga Última das Estacas Apiloadas com o solo Natural e Inundado	18
Tabela 04: Valores do Colapso devido à Inundação do Terreno	20
Tabela 05: Resultados dos Ensaio	23
Tabela 06: Valores Médios dos Recalques Sapatas ao Final de Cada Fase	27
Tabela 07: Resultados de Ensaio Consecutivos em uma mesma Estaca	30
Tabela 08: Redução da Capacidade de Carga	55
Tabela 09: Redução da Capacidade de Carga em Estacas escavadas	57

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 01: Grupo de 2 Estacas	38
Foto 02: Grupo de 3 Estacas (linha)	39
Foto 03: Grupo de 3 Estacas (triângulo)	40
Foto 04: Grupo de 4 Estacas (quadrado)	40
Foto 05: Deslocamento da Viga de Reação	41
Foto 06: Detalhe dos Extensômetros	41
Foto 07: Prova de Carga Preparada	42
Foto 08: Prova de Carga em Andamento	43

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo estudar o efeito da inundação no comportamento de grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro em solo de estrutura colapsível. Apesar dos grupos serem muito empregados na prática de fundações, a maioria dos trabalhos existentes na literatura geotécnica referem-se apenas a estacas isoladas, sobretudo no caso de solos colapsíveis.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram ensaiados no campo experimental de fundações da USP - São Carlos, quatro grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro, com as seguintes configurações: um grupo de duas estacas, um grupo de três estacas em linha, um grupo de três estacas em triângulo e um grupo de quatro estacas (quadrado).

Cada grupo foi inicialmente ensaiado na condição de umidade natural do solo para determinação da carga última. Posteriormente, todos os grupos foram reensaiados com inundação do solo na carga de trabalho, para quantificação da carga de colapso e consequente redução da capacidade de carga.

Constatou-se que os grupos de estacas ensaiados foram afetados pela colapsibilidade do solo, havendo uma redução da capacidade de carga que variou de 25 a 42 %.

Trata-se de um trabalho pioneiro e, por isso mesmo, as conclusões necessitam de confirmação.

ABSTRACT

This thesis aims the study of small diameter bored pile groups on collapsible soils. Despite the groups are very used in practical foundation engineering, most paper in geotechnical literature are refered to single pile, it is mainly true for collapsible soils.

To perform this work, tests were carried-out at experimental field of foundations of USP - São Carlos on four groups of small diameter bored piles with the following configurations: a group of two piles, a group of three in line piles, a triangle group of three piles and a square group of four piles.

Each group was initially tested at natural moisture content to determine the ultimate load. Afterward, all of them were tested again with flooding soil at service load, to quantify both the collapse load and the reduction of bearing capacity.

It was found that the pile groups tested were affected by the colapsibility of the soil, what lead to bearing capacity reduction varying from 25 to 42 %.

It is a pioneer Work, so the conclusions need to be confirmed.

I - INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de grupos de estacas escavadas em solos de estrutura colapsível, para que seja quantificado o efeito do aumento do grau de saturação na capacidade de carga desse tipo de fundações, assentes nestes solos.

No Brasil, os solos colapsíveis abrangem grandes áreas das regiões sudeste, nordeste e centro-oeste. Estes solos tem a característica de perderem resistência quando o teor de umidade sobe até um valor crítico provocando o colapso de sua estrutura, sendo por esse motivo conhecido por solo colapsível.

Com o intuito de estudar o comportamento de fundações assentes neste tipo de solo, que ocorre praticamente toda a região centro-oeste do Estado de São Paulo, o Departamento de Geotecnia da USP-São Carlos implantou um campo experimental de fundações em um local cujo perfil geológico-geotécnico é representativo daquela região. A camada superficial de toda esta área é constituída de sedimento cenozóico que comprovadamente tem um comportamento colapsível quando inundado e carregado, VILAR (1979), CARVALHO & SOUZA (1990), MELLIOS (1985), LOBO (1991), etc.

Esse campo experimental da USP de São Carlos tem propiciado, de fato o desenvolvimento de várias pesquisas sobre o comportamento de fundações instaladas em solo colapsível.

O problema que envolve as obras de engenharia assentes em solos estruturalmente instáveis está relacionado com os recalques diferenciais que

ocorrem se estes solos são inundados. Com o aumento do grau de saturação até um certo valor crítico, há perda de resistência e um rearranjo da estrutura do solo, provocando uma grande redução no Índice de vazios e então, o seu colapso estrutural. Em consequência, pode colocar em risco a estabilidade das estruturas aí instaladas. Provas de carga realizadas em diversas regiões, em solo comprovadamente colapsível, demonstram existir uma redução na capacidade de carga do solo inundado, variando de 30 a 70 %, em relação aos ensaios realizados com o solo na umidade natural: MELLIOS (1985), CARVALHO & SOUZA (1990), CARNEIRO (1994) e SILVA (1990), entre outros.

No levantamento bibliográfico realizado para o embasamento teórico da dissertação, não foi encontrado na literatura geotécnica nenhum artigo referente ao comportamento de grupos de estacas em solos colapsíveis. Portanto, procurou-se fazer um estudo dos trabalhos que tratam de vários tipos de provas de carga realizadas nestes solos, tais como: em estacas, em placas e em fundações superficiais.

II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - COLAPSIBILIDADE DOS SOLOS

Dentre os solos de estrutura instável, destaca-se um grupo que apresenta anomalias no comportamento devido à alteração das suas condições de umidade. Estas anomalias acabam resultando em uma redução abrupta de volume quando o solo sofre aumento do grau de saturação até um certo valor crítico.

Vários são os tipos de solos que podem exibir esta redução de volume provocada pelo aumento do grau de saturação. Assim, encontram-se na bibliografia especializada referências sobre os loesses, aluviões, colúvios, aterros compactados, entre outros, geralmente de granulometria arenosa. Entretanto tem-se constatado colapso também em solos argilosos.

Para VILAR & GAIOTO (1994) os solos colapsíveis caracterizam-se por uma estrutura instável na qual as partículas permanecem em sua posição graças a algum vínculo temporário, tais como cimentos solúveis ou tensões capilares e de adsorção.

Dois pontos básicos configuram um solo como potencialmente colapsível segundo DUDLEY (1970) e NUNEZ (1975):

- Alto índices de vazios, o que indica uma estrutura porosa e

- Teor de umidade menor que o necessário para ser considerado saturado.

VILAR et al. (1981) também destacam esses pontos como condição básica para o desenvolvimento do colapso. Estes autores comentam que regiões tropicais, semi-áridas e áridas apresentam as condições ideais para o desenvolvimento de solos potencialmente colapsíveis.

Outros autores, tais como QUEIROZ (1960), SCHENER (1965), DÉCOURT (1971) e VARGAS (1973), verificaram que o fenômeno da colapsibilidade ocorre na região de clima tropical com solos do tipo areia e argila porosa.

Alguns autores que estudam os solos colapsíveis dividem este tipo de solo em duas categorias:

- Na primeira categoria estão os solos que apenas com o aumento do grau de saturação, sem aplicação de esforços externos, sofreriam alteração do arranjo entre as partículas constituintes, ou seja, teriam reduções de volume sob as tensões somente devidas ao peso próprio.

- Na segunda categoria estariam solos que necessitariam de um carregamento externo, com alteração do estado inicial de tensões para a ocorrência do desarranjo estrutural com o aumento do grau de saturação.

Para BARDEN et al. (1973) o colapso de um solo requer três condições básicas; solo parcialmente saturado, nível de tensões limite e rompimento dos agentes cimentantes nos contatos intergranulares provocado pelo umedecimento.

Segundo NUNEZ (1975) a causa do colapso pode ser interpretada de várias maneiras:

- por eliminação das tensões capilares dos meniscos;
- por diminuição da resistência ao cisalhamento das partículas finas (argilosas ou siltosas) que atuam como vínculo entre as maiores;
- por eliminação da cimentação entre os grãos (óxido de ferro, carbonato, etc).

Quando a resistência das ligações entre as partículas, que é reduzida pelo umedecimento do solo, atingir um valor inferior às tensões cisalhantes atuantes, ocorre a ruptura das ligações, com a consequente redução de volume, devido aos grandes vazios que circundam o esqueleto sólido .

CLEMENCE (1981) define os solos colapsíveis como solos não saturados que apresentam um arranjo de suas partículas e uma grande redução de volume quando submetidos ao umedecimento com ou sem acréscimo de carga.

No caso do solo superficial do campo experimental de fundações da USP-São Carlos, o fenômeno de colapso só se manifesta quando o solo é inundado e carregado (VILAR, 1979).

FERREIRA (1985), em estudo realizado com solo da Região Noroeste do Estado de São Paulo, verificou que a colapsibilidade do solo diminui com a profundidade. Isso é devido ao menor grau de alteração das camadas subjacentes, conforme constatam também ZARETSKII & KARABAEV (1987), que concluem que a pressão necessária para o início do colapso do solo também aumenta com a profundidade.

MENDONÇA & MAHLER (1994) afirmam que o comportamento colapsível do solo está relacionado com a sua estrutura, que é relacionado com o seu processo de formação.

VILAR & GAIOTO (1994), estudando o comportamento de um solo laterítico compactado, concluem que dentre os parâmetros estudados, massa específica e teor de umidade, e considerando as sobrecargas empregadas nos ensaios, o teor de umidade revelou-se o mais importante condicionador das deformações por colapso.

2.2 - PROCESSOS DE TRATAMENTO PARA SOLOS COLAPSÍVEIS

Ao se pretender apoiar determinadas obras de engenharia sobre terrenos potencialmente colapsíveis, pode-se utilizar alguma técnica de tratamento que contribua para minimizar os efeitos nocivos decorrentes dos recalques devido ao colapso estrutural do solo. Os tratamentos são divididos em função das características dos processos de estabilização do solo e dentre eles destacam-se:

- Escavação e substituição do solo colapsível por aterro compactado, com opção de escavação total ou parcial do depósito de solo. Esta técnica é a que tem sido mais utilizada no Brasil na construção de barragens de terra como mostram QUEIROS (1960) , DÉCOURT (1968) , VARGAS (1972) e VIOTTI (1975) ; na construção de canais de irrigação conforme WOLLE et al. (1981) ; na execução de fundações rasas de acordo com VILAR et al. (1981) , ARAGÃO & MELLO (1982);

- Umedecimento da área com o objetivo de “saturar” o solo. Este procedimento deve ser combinado com uma compactação bastante energética, com pilões de grande peso (ARAGÃO & MELO, 1982).

- Restrição à infiltração d'água no solo, conduzindo ao mínimo as possibilidades de saturação. Esta medida preventiva é viabilizada através de projetos de drenagem adequados, controle de vazamento de condutos de água ou esgoto e impermeabilização de áreas descobertas, entre outras (ARAGÃO & MELLO, 1982).

- Estabilização química, destacando-se a silicalização gasosa, o aumento da resistência de cimentos carbonáticos pela adição de polímeros e a estabilização gasosa através de amônia, de acordo com CLEMENCE & FINBARR (1981);

- Tratamento térmico para a consolidação de solos colapsíveis, por exemplo a técnica de tratamento por calor, segundo TOKAR (1973). Este método consiste em alterar as características do solo, num processo irreversível, através da injeção de gás natural quente (acima de 900^o C) em perfuração horizontal, vertical e inclinada no solo, eliminando, completamente o desenvolvimento de recalques. NUÑES (1975) cita a utilização de ar quente através da instalação de uma usina central de produção de ar quente.

Segundo FERREIRA (1985) a compactação é o melhor processo de melhoramento do solo e sugere também de acordo com MELLO (1975) e VILLAR (1979), a pré-molhagem e o pré-carregamento.

LIMA SOBRINHO (1983), em estudo das características da compressibilidade do solo superficial de São Carlos, através de prova de cargas em modelo (placa 6 x 3 cm), verificou que a compactação do solo, mesmo para um baixo grau de compactação tem um efeito benéfico sobre o comportamento do solo quando sujeitos à compressão. Esse mesmo efeito já havia sido constatado por SOUTO SILVEIRA & SILVEIRA (1958) que, ensaiando o solo superficial de São Carlos, observaram um aumento de 200 % na tensão admissível após a compactação do solo.

2.3 - PROCESSOS DE INUNDAÇÃO

Com o intuito de avaliar o efeito da inundação em um solo colapsível e suas consequências nas fundações nele assentes, vários autores tem procurado encontrar um método para se proceder esta inundação em uma prova de carga, que se aproxime o mais próximo possível das condições reais a que uma fundação estará submetida quando da ocorrência de uma eventual inundação indesejada neste solo.

Para se processar a inundação do terreno durante a realização de uma prova de carga, os métodos que tem sido mais utilizados são: inundação através de uma cava em torno do topo da estaca, inundação através de furos verticais e uma combinação destes dois métodos.

NADEO & VIDELA (1975) comparam a inundação do terreno em três estacas através de cava e furos verticais preenchidos com brita e, obtiveram um grau de saturação igual a 80 % ao longo do fuste de uma estaca ensaiada à compressão e outra à tração. Em outra estaca ensaiada à compressão o grau de saturação atingiu 100 % nos primeiros 4 metros, utilizando uma cava.

ARUTYUNOV et al. (1983), utilizando-se de uma cava e quatro furos de inundação, em provas de carga à compressão em estacas, observam um grau de saturação de 80 % até uma profundidade de 28 m.

Outros autores, tais como LOBO (1991), TEIXEIRA (1993), CARVALHO & ÁLBQUERQUE (1994), também utilizam a combinação desses dois sistemas para proceder a inundação em suas provas de carga mas não relatam a eficiência obtida.

CARVALHO & SOUZA (1990) utilizam uma cava de 1,2 x 1,2 x 0,60 m para inundação de estacas escavadas na cidade de Ilha Solteira -SP.

CARNEIRO (1994) e CAMPELO (1994) também utilizam uma cava para proceder a inundação em provas de carga realizadas no campo experimental de fundações da USP-São Carlos.

REZNIK (1993) cita que as técnicas de “saturação” utilizadas em ensaios de placas em solos colapsíveis, não atingem as mesmas condições de umidade obtidas no ensaio edométrico, pois o grau de saturação encontrado no ensaio edométrico foi de 90 a 92 % e no campo foi de 70 a 80 %.

2.4 - EFEITO DA INUNDAÇÃO DE SOLOS COLAPSÍVEIS NA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

2.4.1- PROVAS DE CARGA EM ESTACAS ISOLADAS

CARVALHO & SOUZA (1990) realizaram provas de carga em quatro estacas escavadas com 6 m de comprimento e 0,25 m de diâmetro, sendo duas provas de carga à tração e duas à compressão. Em ambos os casos realizou-se primeiramente o ensaio com o solo na umidade natural, levando até a ruptura; depois foi aplicado 1/3 dessa carga, aguardou-se a estabilização dos recalques e começou-se a umedecer o solo.

Para a estaca tracionada, os recalques de colapso começaram a ocorrer 92 minutos após o início do umedecimento do solo, caracterizando a ruptura da ligação estaca-solo, enquanto que para a estaca comprimida, os recalques de colapso ocorreram a partir de 600 minutos após o início do umedecimento do solo.

Os resultados obtidos nesses ensaios são mostrados na figura 01.

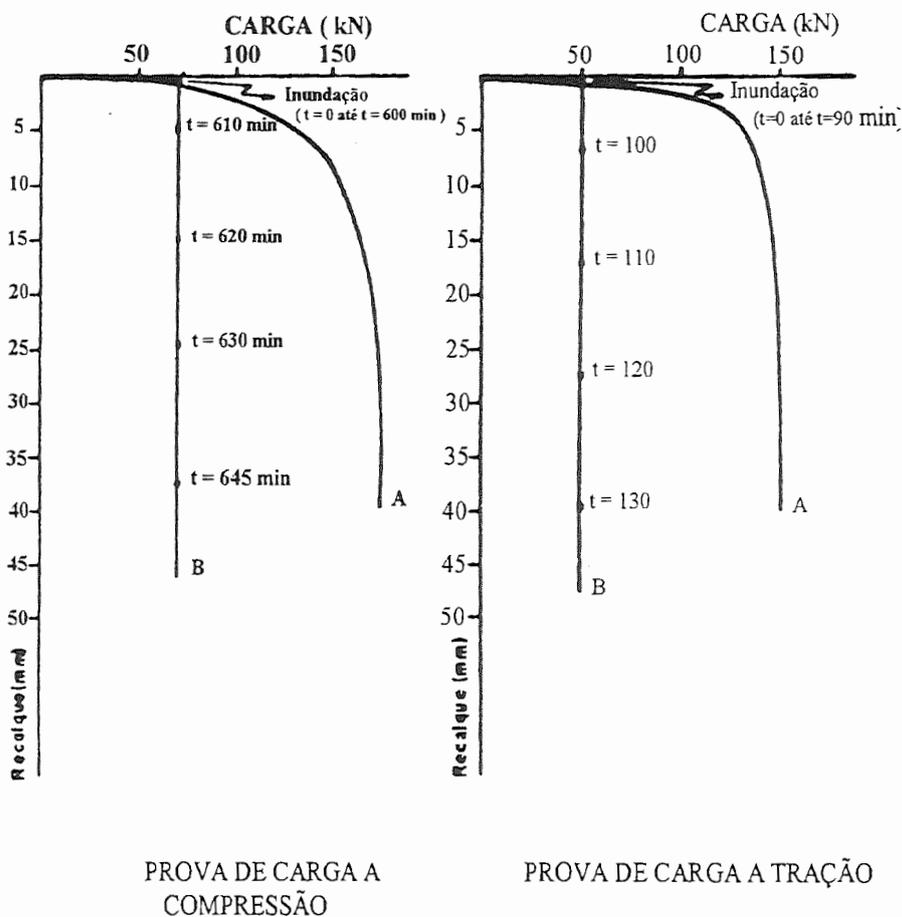


Figura 01 - Prova de Carga a Compressão e Prova de Carga a Tração (CARVALHO & SOUZA, 1990).

NADEO & VIDELA (1975) realizaram provas de carga em estacas escavadas na cidade de Córdoba - Argentina. Ensaio edométrico e as propriedades físicas do solo indicavam a existência de solos potencialmente colapsíveis, com o colapso decrescendo com a profundidade de 18,00 m.

Infelizmente os dados não permitiram tirar conclusões a respeito da redução da capacidade de carga devido à inundação porque o ensaio realizado com o solo na umidade natural foi encerrado precocemente.

MONTEIRO (1985), em estudos realizados na região noroeste do estado de São Paulo, onde se constata a existência de solos colapsíveis com potencial de colapso medido através de ensaios de laboratório de até 6 %, verificou através de provas de carga sobre estaca broca de pequeno comprimento (3,5 a 5,0 m) que há redução da capacidade de carga em torno de 50 % pelo efeito da inundação do solo. O mesmo foi observado por MELLIOS (1985), em estacas-brocas submetidas a esforços de compressão em Jupiá (SP), enquanto CARVALHO & SOUZA (1990) verificaram o colapso de estacas submetidas à compressão, em solo da mesma região, com inundação para 1/3 da carga última.

Entretanto a redução na capacidade de carga pode ser ainda mais significativa do que a observada por esses autores, visto que eles não realizaram ensaios para cargas de inundação menores.

SILVA (1990) analisa a capacidade de carga de estacas curtas, escavadas do tipo broca, de pequeno diâmetro, em solos colapsíveis no projeto Perímetro de Irrigação Formoso "A", na cidade de Bom Jesus da Lapa (BA). O autor observou uma redução de 77 % na capacidade de carga, nos locais em que houve a inundação do solo.

As provas de cargas nas estacas foram executadas sob três condições distintas: solo na umidade natural, solo inundado previamente e solo inundado após estágio inicial de carga.

A primeira prova de carga, com o solo na umidade natural, foi executada com dois ciclos de carregamento. Carregada inicialmente até 25 kN (aproximadamente metade da carga de ruptura) a estaca apresentou um deslocamento vertical, medido no topo da estaca, da ordem de 0.56 mm. Descarregada totalmente, apresentou deformação residual de 0.31 mm. No segundo ciclo, conduzido até a ruptura, obteve-se uma carga última de 58 kN.

Na segunda prova de carga, o solo foi inundado durante 24 horas antes da realização do ensaio. A irrigação foi realizada simultaneamente através do topo, pela inundação da cava e pelo fuste e base através da adição de água em um furo de irrigação. O ensaio foi realizado até se atingir o colapso, que ocorreu sob a carga de aproximadamente 13 kN.

A última prova de carga visou simular as condições reais de trabalho da estaca. A edificação das casas transcorreria durante o período seco, e no início do período chuvoso as fundações já se encontrariam sob o carregamento máximo. Deste modo, o carregamento foi processado inicialmente até a carga de 25 kN com o solo na condição natural. Os recalques obtidos foram da ordem de 1.4 mm.

Na segunda fase do ensaio, a estaca foi irrigada durante 15 horas procurando-se manter a carga constante. O colapso ocorreu sem nenhum acréscimo de carga. Após este período verificou-se que a carga estava estabilizada em 17 KN e a deformação final média no topo da estaca era de 5,4 mm.

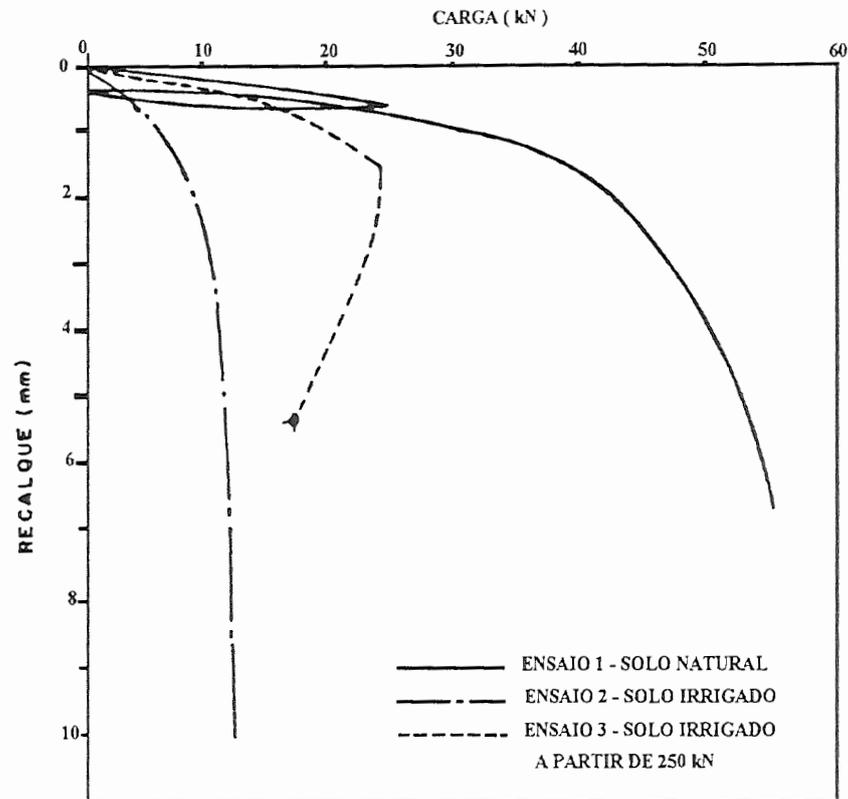


Figura 02 - Resultado das Provas de Carga (SILVA,1990)

ARUTYUNOV et al. (1983) relatam suas experiências em estacas executadas em solos loéssicos, na C E I (ex-URSS). Durante o colapso dos solos loéssicos, surgiram cargas adicionais na estaca, causadas por atrito negativo, que reduziram abruptamente a capacidade de carga da mesma. A inundação do solo, nas provas de carga, foi feita através de quatro furos de irrigação, e o grau de saturação excedeu 80 % até uma profundidade de 28 m. Como os autores estavam mais interessados nas cargas de atrito lateral adicionais nas estacas, não realizaram provas de carga com o solo na umidade natural e, por isso, não foi possível verificar o percentual de redução de carga após o solo ser inundado.

ALBIERO et al. (1986) verificaram o comportamento de reservatórios metálicos assentes sobre solos porosos. Com um bloco de amostra indeformada, retirado a 1 m de profundidade, foi realizado ensaio edométrico com e sem inundação do corpo de prova. A amostra tinha peso específico natural de $14,7 \text{ KN} / \text{m}^3$, teor de umidade de 31 %, porosidade de 58 % e grau de saturação de 60 %. A figura 3 apresenta as curvas de compressão para corpos de prova ensaiados na umidade natural até 100 kPa, e nessa tensão, inundado com água e álcool.

De uma forma geral, os recalques permaneceram estáveis, entretando, após a ruína do tanque mediram-se recalques significativamente maiores. A hipótese sugerida pelos autores é que após as primeiras fissuras na chapa de fundo, ocorreram vazamentos que provocaram recalques por colapso e daí o agravamento do problema, com posterior inutilização do tanque.

A tabela 1 mostra uma comparação entre os recalques já existentes e os recalques adicionais, possivelmente devidos ao colapso da estrutura do solo.

Tabela 01- Relação entre |Recalques (ALBIERO et al. , 1986)

PONTO	1	2	3	4
RECALQUE EXISTENTE	40	27	93	115
RECALQUE FINAL	49	41	135	136
RECALQUE ADICIONAL (COLAPSO)	9	14	42	21
RECALQUE DE COLAPSO SOBRE RECALQUE EXISTENTE	0.22	0.52	0.45	0.18

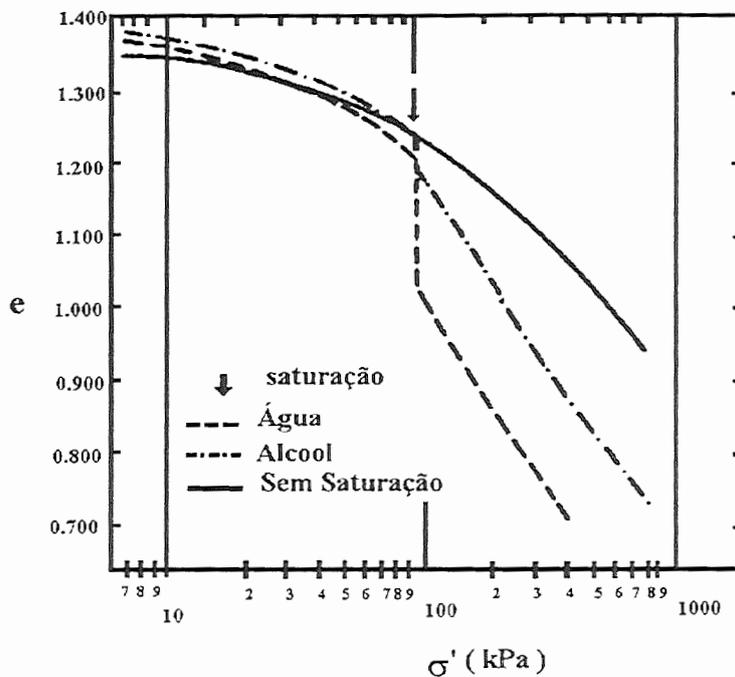


Figura 03 - Gráfico Carga x Índice de Vazios do Solo de Fundação do Tanque(ALBIERO et al., 1986).

CAMPELO & CINTRA (1994) realizaram estudo sobre o efeito da inundação na capacidade de carga de estacas apiloadas e escavadas, submetidas a esforços de tração, em solo colapsível e concluíram que:

- O apiloamento do solo não foi suficiente para eliminar completamente a sua propensão ao colapso quando inundado;

- O apiloamento, se ineficiente para evitar o colapso do solo, quando inundado, serviu para prorrogar a ocorrência da colapsibilidade da ligação solo-estaca, pois, nas estacas escavadas, os tempos de colapsos foram menores.

- Considerando que os colapsos ocorreram na carga de trabalho (fator de segurança igual a 2,0), é conveniente adotar fatores maiores no projeto de fundações tracionadas em solo de estrutura colapsível.

Através de provas de carga no campo experimental de fundações da USP de São Carlos, TEIXEIRA (1993) estuda o comportamento de estacas escavadas em solos colapsíveis. As provas de cargas foram realizadas em duas estacas de 10 m de comprimento, com diâmetro de 0.40 m e 0.50 m, utilizando furos verticais para inundação do solo. O autor constata que devido a inundação há uma redução de 28 % na capacidade de carga da estaca com diâmetro de 0.50 m e 34 % na estaca com diâmetro de 0.40 m. Contudo há de se ressaltar que estas estacas haviam sido submetidas a quatro carregamentos anteriores.

Em outras regiões do país, tais como Bom Jesus da Lapa, na Bahia, e a região noroeste do Estado de São Paulo, as reduções verificadas foram bem superiores variando de 50 % a 77 % (MONTEIRO, 1985; MELLIOS, 1985 ; SILVA,1990). Porém estas estacas estavam imersas na camada colapsível, enquanto as estacas ensaiadas por TEIXEIRA (1993) atravessavam a camada colapsível e tinham quatro metros de fuste no solo residual.

LOBO et al. (1991) apresentam os resultados obtidos em provas de carga , realizadas em 10 estacas, na cidade de Bauru (SP), sendo 04 estacas escavadas e 06 apiloadas, tendo 2, 4 e 6 m, todas com diâmetro de 0,25 m. As provas de carga foram realizadas primeiramente com o solo na umidade natural e, depois, com inundação do solo na carga de trabalho, com o objetivo de verificar a influência da inundação do solo na carga última da estaca. As tabelas 2 e 3 mostram os resultados obtidos para estacas escavadas e apiloadas com o solo em ambas as condições de umidade.

Tabela 2 - Comparação Entre Cargas Últimas das Estacas Escavadas com o Terreno Natural e Inundado (LOBO et al., 1991).

ESTACAS	L (m)	D (m)	SOLO NA UMIDADE NATURAL (kN)	SOLO COM INUNDAÇÃO (kN)	REDUÇÃO DA CARGA
01	4	0.25	159	90	43 %
02	4	0.25	184	120	35 %
03	6	0.25	171	105	39 %
04	6	0.25	178	105	41 %

Tabela 3 - Comparação Entre Cargas Últimas das Estacas Apiloadas com o Terreno Natural e Inundado (LOBO et al., 1991).

ESTACAS	L (m)	D (m)	SOLO COM A UMIDADE NATURAL (kN)	SOLO COM INUNDAÇÃO (kN)	REDUÇÃO DA CARGA
05	2	0.25	186	121	35 %
06	2	0.25	198	153	23 %
07	4	0.25	216	167	23 %
08	4	0.25	362	246	32 %
09	6	0.25	564	394	30 %
10	6	0.25	606	425	30 %

Os autores verificaram que as estacas escavadas apresentaram maior sensibilidade à inundação do solo, com uma redução na capacidade de carga em torno de 40 %, enquanto nas apiloadas esta redução foi de 30 %. Eles explicam esta redução menor na capacidade de carga das estacas apiloadas, pelo fato do solo ao redor do fuste sofrer um processo de compactação durante o apiloamento, enquanto que nas estacas escavadas o solo permanece em seu estado natural.

Este mesmo efeito é observado também por CARNEIRO et al. (1994) e por ARUTYUNOV et al. (1983).

Analizando o comportamento à tração de estacas de pequeno porte, em solo colapsível na cidade de Ilha Solteira - SP, CARVALHO & ALBUQUERQUE (1994) observaram uma redução em torno de 50 % na capacidade de carga quando o solo sofre um processo de inundação.

2.4.2 - PROVAS DE CARGA EM PLACA

AGNELLI (1992) realizou um estudo da colapsibilidade do solo da cidade de Bauru através de provas de carga direta. Foram realizadas seis provas de carga na profundidade de 1 m e seis na profundidade de 2 m. Em cada uma dessas profundidades foram executadas três provas com teor de umidade natural e três com inundação, em diferentes níveis de tensões de inundação (σ_i).

A tabela 4 mostra os valores do colapso e o tempo em que eles ocorreram em função das tensões a que o terreno estava submetido quando inundado.

TABELA 4- Valores do Colapso devido à inundação do terreno (AGNELLI,1992).

PROVA DE CARGA	PROF. (m)	σ_i (kPa)	RECALQUE DE COLAPSO (mm)	TEMPO (minutos)
01	1.00	25.1	3.45	240
02	1.00	50.3	26.08	480
03	1.00	75.4	36.55	420
04	2.00	33.5	3.69	240
05	2.00	67.0	9.94	540
06	2.00	100.6	32.33	480

Os resultados apresentados nessa tabela mostram que o colapso foi maior nas provas de carga em que o terreno foi inundado sob tensões mais elevadas.

O autor observa que nas provas de carga 03 e 06, o terreno ao ser inundado, atingiu um colapso de tamanha magnitude que não houve

necessidade de acrescentar novas cargas, iniciando-se o descarregamento, sem que houvesse estabilização das deformações, uma vez que os defletômetros alcançaram o limite de suas hastes (50 mm). Nessas duas provas de carga, o solo sofreu uma ruptura generalizada. Os ensaios edométricos e as provas de carga executadas no campo mostram que o colapso, devido à inundação do solo, é tanto maior, quanto mais elevada for a tensão atuante no solo no momento da inundação. Mas para tensões de inundação mais elevadas do que as utilizadas pelo autor, o colapso deve diminuir.

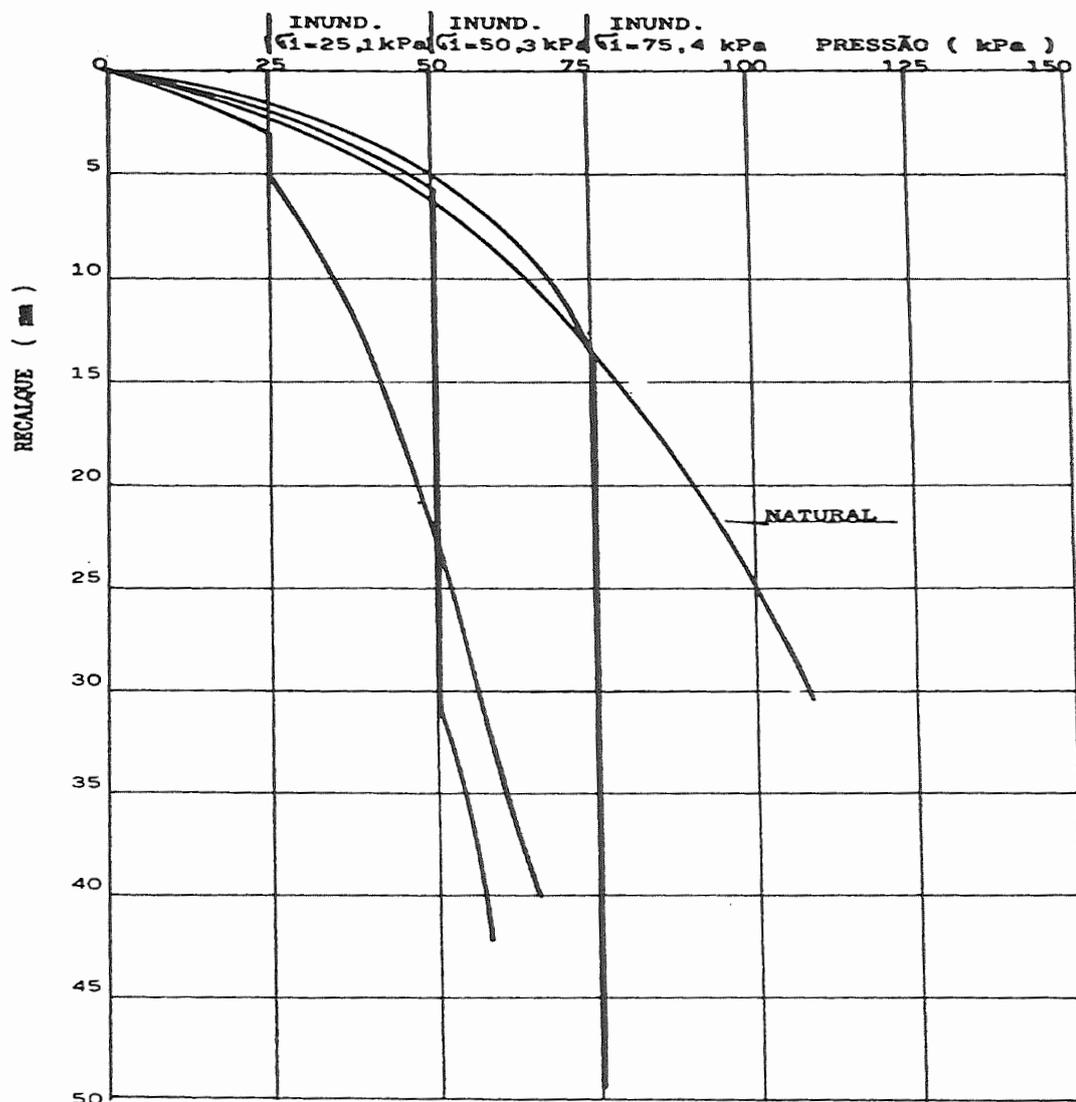


Figura 04 - Efeito da Inundação do Terreno com diferentes Tensões - Prof. 1.00 m (AGNELLI, 1992)

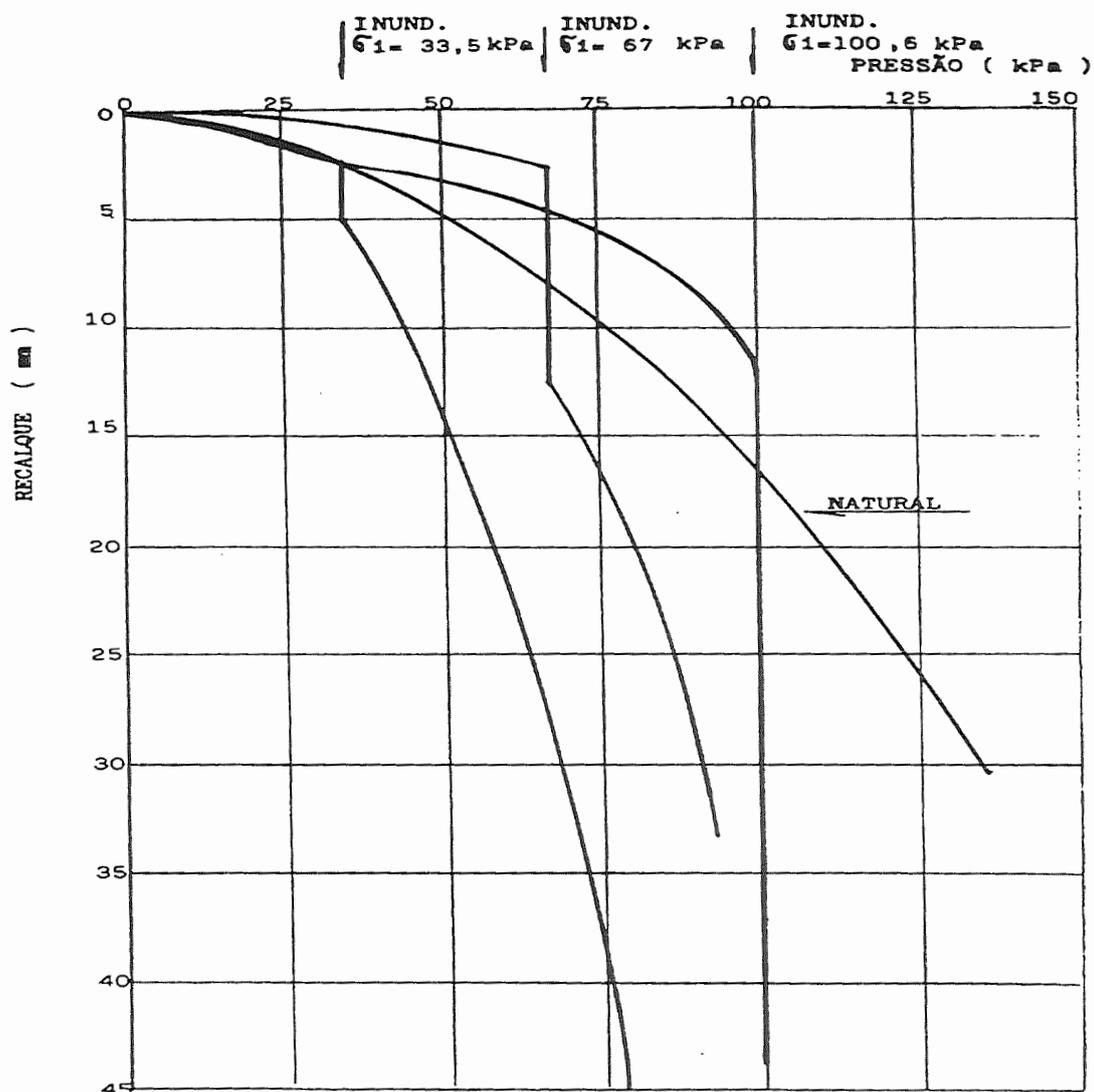


Figura 05 - Efeito da Inundação do Terreno com diferentes Tensões - Prof. 2.00 m (AGNELLI, 1992)

FERREIRA et al. (1986), em estudo para a determinação da capacidade de carga de solos porosos, para projeto de fundações rasas, realizaram quatro provas de carga em placas sobre o solo natural. Em quatro outras, foi pesquisado o efeito da saturação como minoração da capacidade de carga.

As provas de carga foram executadas sobre placas circulares rígidas de 72 cm de diâmetro (1 prova) e de 81 cm de diâmetro (7 provas).

As cargas foram aplicadas em estágios de tensão sempre inferiores a 20 % da capacidade de carga estimada do solo. Eles verificaram que a carga de ruptura das provas de carga conduzidas sem saturação foram cerca de 50 % da capacidade de carga de ruptura estimada, utilizando a fórmula de TERZAGHI para ruptura de sapatas rasas. As provas de cargas conduzidas com saturação mostram uma queda ainda maior, cerca de 30% da carga de ruptura estimada.

FERREIRA et al. (1990), numa análise de modelos geotécnicos para a previsão de recalques em solos colapsíveis, realizaram seis provas de carga sobre placa circular rígida de 80 cm de diâmetro. Estas provas de cargas foram conduzidas nas condições natural e inundada a uma tensão próxima à taxa de trabalho. Foram realizados ensaios nas profundidades de 1.0, 2.0 e 4.0 m, e os colapsos obtidos podem ser resumidos como segue:

Tabela 5 - Resultados dos Ensaio (FERREIRA et al., 1990)

PROF. (m)	TENSÃO DE INUNDAÇÃO (kPa)	RECALQUE DE COLAPSO (mm)
1.0	60	36.6
2.0	100	71.1
4.0	125	22.9

Verificou-se que na profundidade de 2.0 m, o solo estava com o teor de umidade inicial menor, por isso observou-se um recalque maior devido ao colapso. Essa dependência já havia sido detectada em ensaios edométricos de laboratório.

SOUZA (1993) estudou a utilização de fundações rasas no solo colapsível de Ilha Solteira (SP), através da realização de quatro provas de carga direta em placa a 0,70 m de profundidade, com as seguintes características:

- Prova de carga em cava seca

- Prova de carga em cava inundada
- Prova de carga em cava seca, com 0.60 m de solo subjacente compactado
- Prova de carga em cava inundada, com 0.60 m de solo subjacente compactado

Os resultados dos ensaios demonstraram que o solo, quando em seu teor de umidade natural, tem uma tensão admissível média de $115 \text{ kN} / \text{m}^2$, mas quando inundado a uma tensão de $60 \text{ kN} / \text{m}^2$, tem sua tensão admissível diminuída para 82 KN/m^2 , o que demonstra uma redução da capacidade de carga em torno de 40 % quando o solo é inundado, em comparação com o solo na umidade natural.

O autor faz uma comparação entre a prova de carga na cava com o seu teor de umidade natural e a prova de carga na cava compactada com o solo em seu teor de umidade ótima, e verifica um acréscimo médio de 110 % na carga admissível, demonstrando que o processo de compactar o solo subjacente é eficiente. Essa melhoria é verificada também quando se compara a cava natural com a cava compactada, com a inundação do solo a uma tensão de $60 \text{ kN} / \text{m}^2$, constatando uma diminui o nos recalques de 36.6 mm para 3.5 mm, resultando uma redu o de 86 % nos recalques de colapso. Essa melhoria no comportamento devido   compacta o das camadas de solo subjacente, também   demonstrada por SOUTO SILVEIRA & SILVEIRA (1958), FERREIRA (1985), LIMA SOBRINHO (1983) e CINTRA et al. (1986).

As figuras 06 e 07, a seguir, apresentam os resultados obtidos por SOUZA (1993).

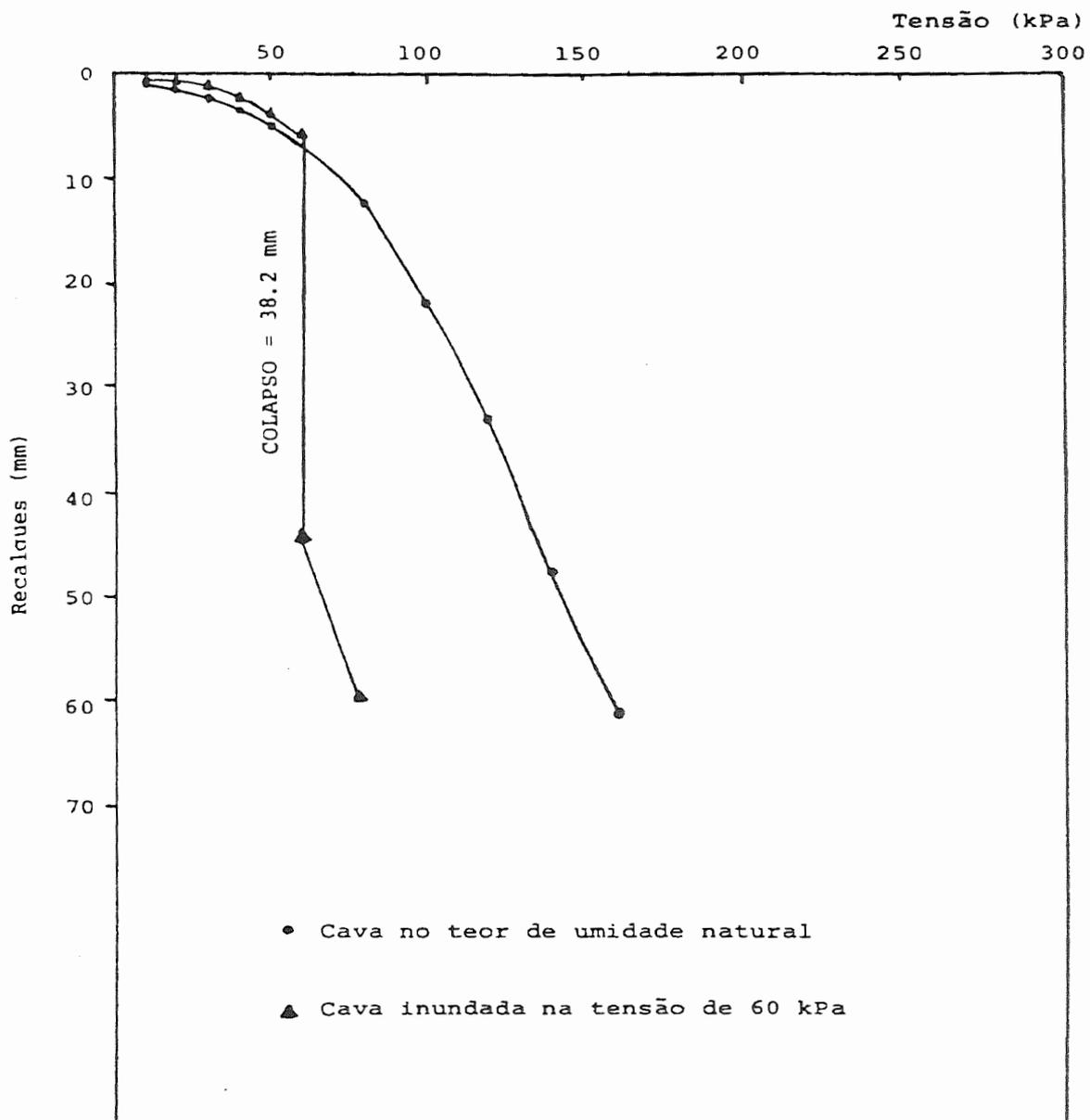


Figura 06 - Prova de Carga Direta em Placa com e sem Inundação do Solo (SOUZA, 1993)

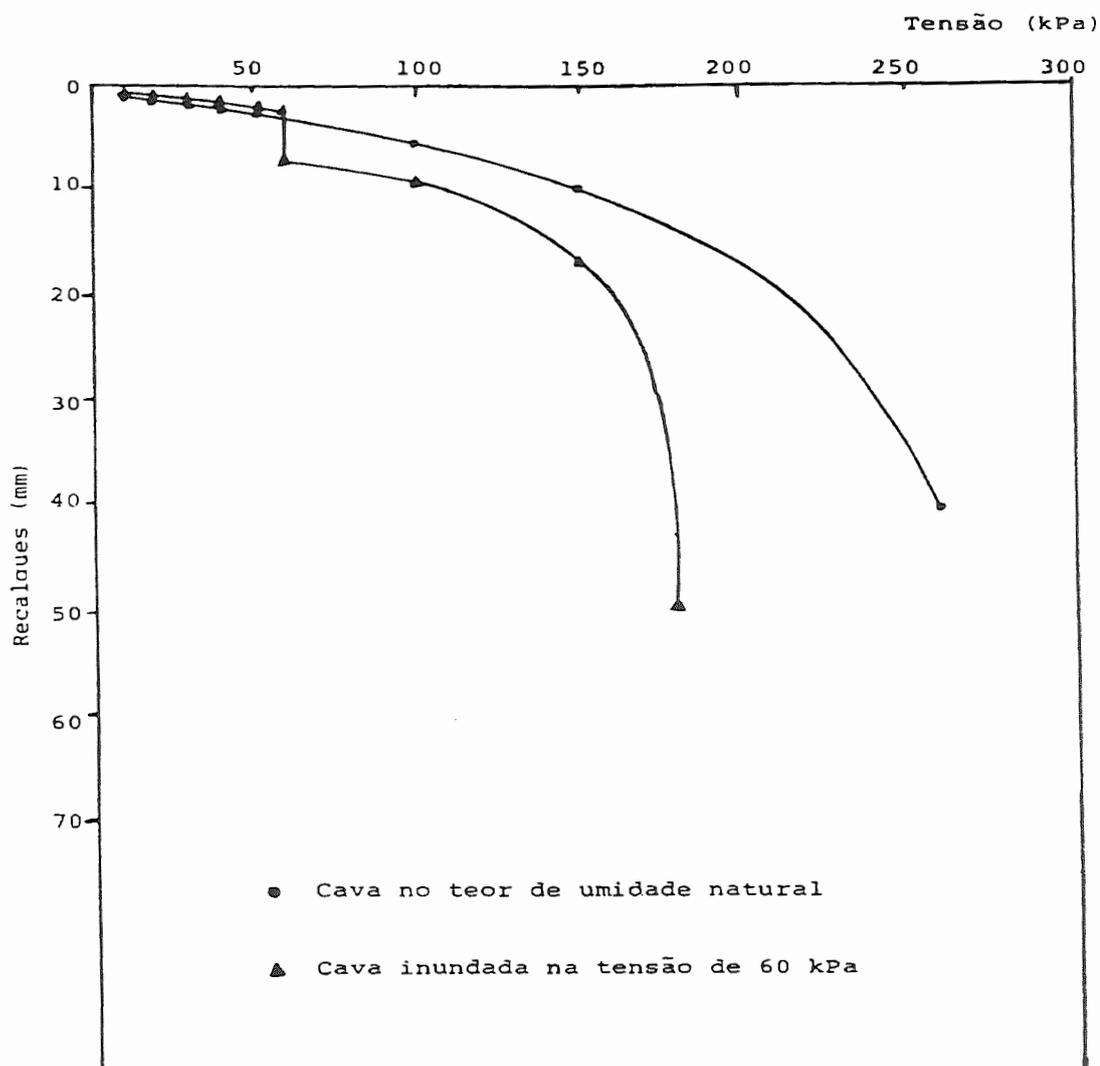


Figura 07 - Prova de carga Direta em Placa com e sem Inundação - Cava com Solo Subjacente Compactado (SOUZA, 1993).

Numa segunda etapa, foram construídas duas sapatas corridas, ambas apoiadas a 0.70 m de profundidade, sendo uma apoiada sobre o solo natural e a outra apoiada sobre uma camada subjacente com espessura de 0.60 m de solo compactado em camadas. Sobre cada sapata construiu-se um muro de 1.60 m de altura por 3.0 m de comprimento, colocou-se uma sobrecarga e procedeu-se a inundação do solo através de uma cava.

A tabela 6 mostra os valores médios dos recalques das sapatas ao final de cada etapa, sendo:

- Etapa 1, concretagem das sapatas
- Etapa 2, assentamento da alvenaria nos muros
- Etapa 3, carregamento
- Etapa 4, inundação do solo de fundação

Tabela 6 - Valores médios dos recalques das sapatas ao final de cada fase (SOUZA, 1993)

ETAPA	RECALQUE MÉDIO (mm)		REDUÇÃO DOS RECALQUES (%)
	MURO 1	MURO 2	
1ª	2.5	1.0	60
2ª	3.0	1.0	66
3ª	8.7	4.0	54
4ª	28.1	5.8	79

Comparando os recalques médios das sapatas, sobre o solo natural (muro 1) e solo compactado (muro 2), observa-se uma redução dos recalques superior a 50 % nas quatro fases estudadas. Principalmente na 4ª fase, quando se submeteu o solo da fundação das duas sapatas à inundação, verificando uma redução em torno de 79 %.

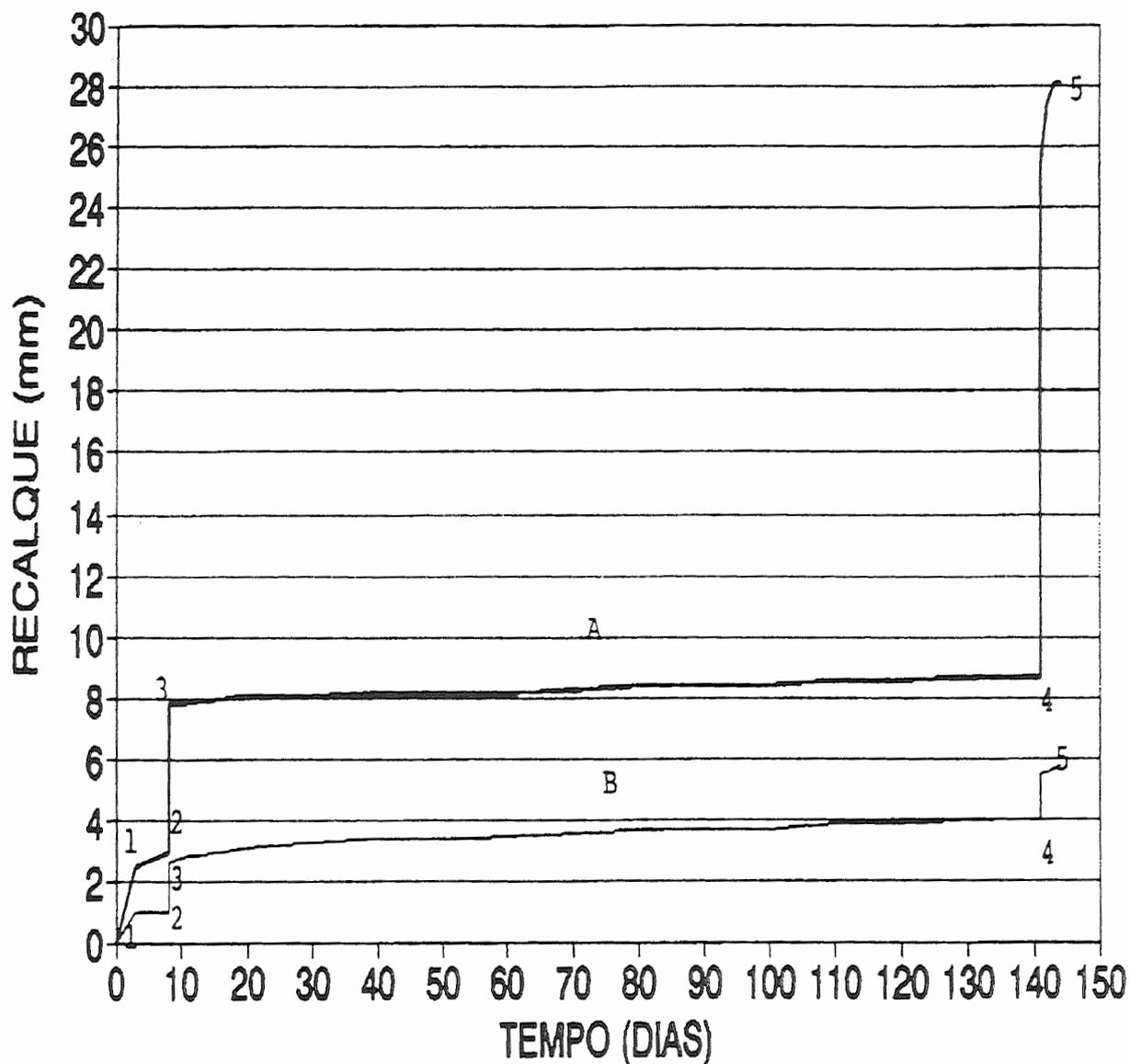


Figura 08 - Análise Comparativa dos Recalques sofridos pelos Protótipos em solo Natural e Compactado (SOUZA, 1993).

CINTRA (1992), em um estudo comparativo de provas de carga direta no campo de fundações da USP de São Carlos, verificou uma redução de 50 % na capacidade de carga devido à inundação do solo.

2.5 - ENSAIOS SUCESSIVOS EM ESTACAS

Quando se realizam sucessivos ensaios em estacas, a carga de ruptura pode ser maior que a do carregamento anterior.

MANTILLA (1992) e SACILOTTO (1993), através de provas de carga realizadas no campo experimental da USP de São Carlos, concluem que à medida que uma estaca escavada vai sendo introduzida no terreno por meio de sucessivas provas de carga, ela passa a se comportar como uma estaca cravada, devido ao aumento da resistência e diminuição da compressibilidade do solo sob a ponta da estaca, o que explicaria o crescente aumento na capacidade de carga destas estacas. Os valores da carga última obtida em cinco ensaios, em duas estacas, estão apresentados na tabela 07. Apenas a quinta prova de carga foi realizada com inundação do solo.

TABELA 07 - RESULTADOS DE ENSAIOS CONSECUTIVOS EM UMA MESMA ESTACA (TEIXEIRA & ALBIERO, 1994).

DIÂMETRO (m)	CARGA ULTIMA (kN)				
	1	2	3	4	5
0.40	488	595	727	726	510
0.50	451	725	831	911	610

No final, recalques da ordem de 45 % do diâmetro indicam que a estaca já deixava de exibir o comportamento típico de estaca escavada.

Já para o caso de estacas cravadas, MASSAD (1991) conclui que quando se procede um segundo carregamento, as estacas reagem com uma carga de ponta bem superior, denotando a ocorrência de uma carga residual de

forma análoga ao fenômeno do pré-adensamento dos solos. Este fato foi também observado por DECOURT (1991) que afirma que tensões residuais permanecem na ponta de estacas previamente carregadas através de provas de carga.

Portanto, o reensaio de uma estaca para análise do efeito da colapsibilidade do solo, pode alterar, para maior, a carga de colapso. A alternativa de ensaio de estaca virgem, na condição de solo inundado, tem entretanto o inconveniente de ignorar a dispersão no valor da capacidade de carga, uma vez que duas estacas nunca são completamente “iguais”.

2.6 - CONCLUSÃO

- Não é recomendável a instalação de estacas flutuantes na camada de solo colapsível, devendo a estaca atravessar essa camada e penetrar no estrato não colapsível do solo. Entretanto, caso a camada colapsível for espessa e a construção de pequeno porte, pode-se estudar cuidadosamente a utilização de estacas flutuantes, empregando fatores de segurança adequados em relação a carga de colapso.

- As estacas apiloadas, devido a compactação do solo em volta do fuste durante o processo de execução, sofrem menor redução da capacidade de carga do que as estacas escavadas (LOBO,1991 ; ARUTYUNOV et al. ,1983 ; MACACARI et al. , 1994).

- Para as pequenas construções em solo colapsível, pode-se utilizar fundação rasa do tipo sapata, desde que se proceda a compactação da camadas de apoio. Este “tratamento” reduz consideravelmente os recalques de colapso, chegando a uma redução de 80 % (SOUZA, 1993).

- A redução da capacidade de carga, de acordo com as pesquisas analisadas, variam de 30 % a 70 %, dependendo do comprimento, diâmetro e da região onde foi realizada a prova de carga. Esta redução deve ser levada em consideração nos projetos de fundações.

- A inexistência de artigos referentes a grupos de estacas em solos colapsíveis justifica a necessidade de se pesquisar este tema.

III - CAMPO EXPERIMENTAL

A cidade de São Carlos está assente sobre as rochas do Grupo São Bento, constituídas de arenitos da Formação de Botucatu e magmatitos básicos da formação Serra Geral. Sobre estas rochas ocorrem conglomerados e arenitos do Grupo Bauru, e em seguida, cobrindo toda a região, aparecem os sedimentos cenozóicos (BORTOLUCCI,1983).

Os sedimentos cenozóicos que cobrem toda a região, foram originados a partir do retrabalhamento dos materiais do grupo Bauru e das formações da Serra Geral e Botucatu, através de um pequeno transporte em meio aquoso de razoável competência.

Esses sedimentos foram submetidos a ação de intemperismo favorecido pelas condições climáticas típicas da região tropical, onde se encontram boa situação de drenagem, elevada temperatura e intensa pluviosidade. Esse ambiente propício provocou um processo de laterização do solo que consiste na concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Como consequência deste processo, esses solos são pouco compactos, muito porosos e colapsíveis (VILAR, 1979).

A área escolhida para implantação do campo experimental, no extremo sul do campus da USP de São Carlos, apresenta um perfil geológico representativo de toda a região centro-oeste do Estado de São Paulo.

Para a completa caracterização geotécnica dessa área, foram realizados diversos ensaios em laboratório e “in situ”. Os ensaios “in situ” foram cinco sondagens de simples reconhecimento (SPT) e cinco ensaios de penetração estática até a profundidade de 20 m. Para os ensaios laboratoriais, foi aberto um poço de 10 m de profundidade para a retirada de amostras indeformadas a cada metro. Os resultados dos ensaios encontram-se em CARVALHO (1991).

O perfil típico obtido através das sondagens do campo experimental representa uma camada superficial de sedimento cenozóico com 6,0 m de espessura, formada por uma areia argilosa, marrom, laterizada porosa e colapsível. Separada por uma linha de seixos na cota - 6,0 m, aparece logo abaixo o solo residual do Grupo Bauru, composto por uma areia argilosa vermelha. O nível d'água encontra-se a 10 m de profundidade no inverno (CINTRA et al., 1991).

A figura 09 abaixo mostra este perfil com valores médios do SPT nas camadas, e as parcelas de resistência de ponta e atrito lateral médio do ensaio de CPT.

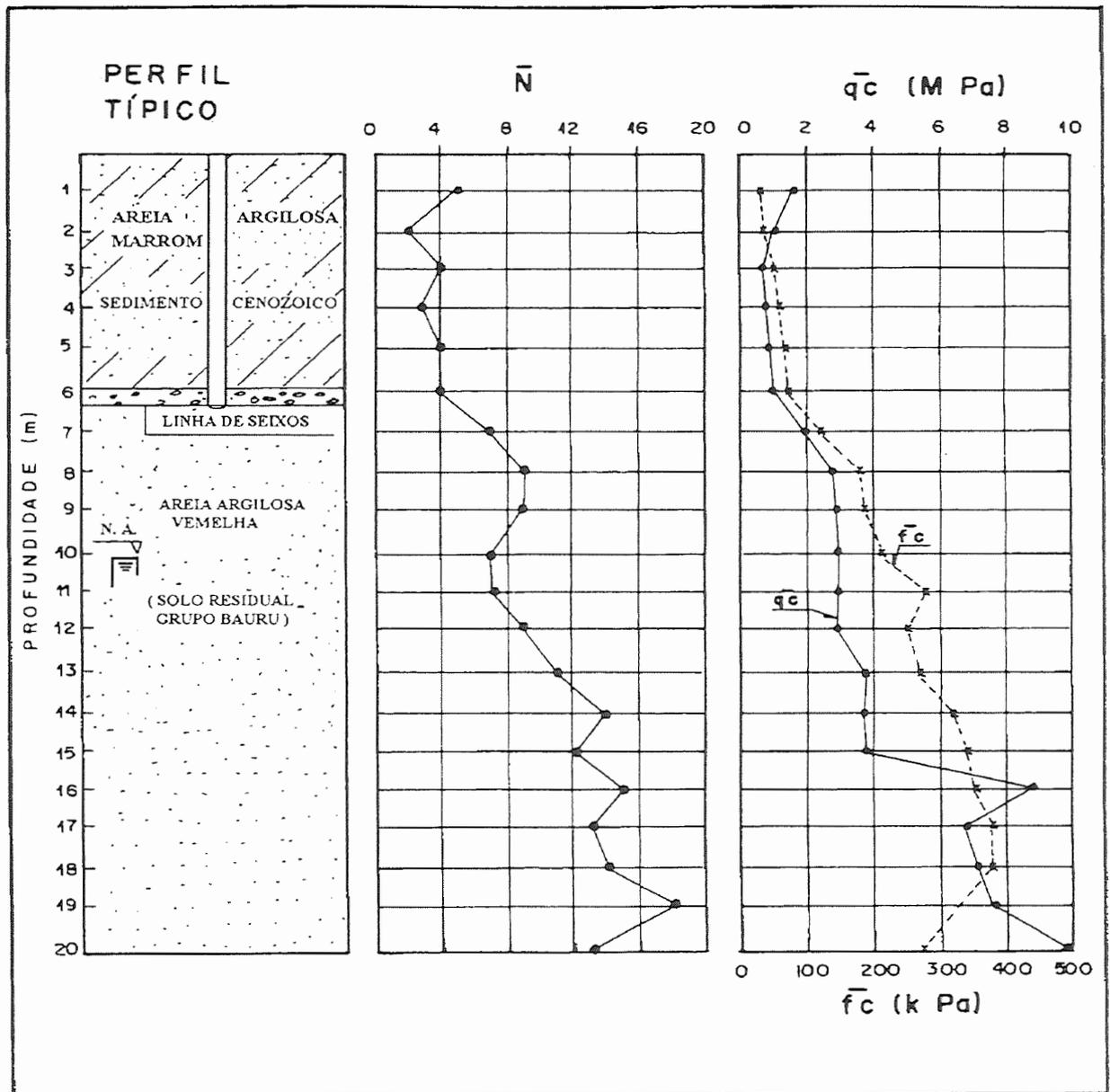


Figura 09 - Perfil Típico do Campo Experimental de Fundações da USP-São Carlos (CINTRA et al., 1991).

IV - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Introdução

Foram ensaiados quatro grupos de estacas e uma estaca isolada nas condições de umidade natural e de solo inundado.

Os grupos de estacas são compostos de 04 estacas (quadrado), 03 estacas em linha, 03 estacas em triângulo e 02 estacas. Todas as estacas são escavadas do tipo broca, com comprimento de 6 m e diâmetro de 0,25 m, atravessam a camada colapsível e têm a ponta apoiada na camada de solo residual.

4.2 - Método de Ensaio

Para a realização dos ensaios adotou-se carregamento rápido, de acordo com a MB - 3472/91 da ABNT, modificando-se o intervalo de tempo de aplicação do incremento de carga para 15 minutos conforme sugestão de FELLENIUS (1975). As leituras de recalques para cada estágio do ensaio foram realizadas com os intervalos de 0, 1, 2, 3, 6, 9, 12 e 15 minutos.

Para cada grupo de estaca e para a estaca isolada, primeiramente realizaram-se as provas de carga com o solo na umidade natural, em 20 estágios, no mínimo, levando até a ruptura da ligação estaca-solo, para a determinação carga de última na umidade natural. Depois, realizou-se um segundo ensaio, com o solo inundado, através de uma cava, no estágio

correspondente à carga de trabalho (metade da carga última obtida para o ensaio realizado na umidade natural).

Se até um período máximo de 48 horas em que o solo ficaria submetido ao processo de inundação, na carga de trabalho, não ocorresse o colapso da ligação estaca-solo, mantinha-se a inundação e dava-se prosseguimento a prova de carga até atingir a carga de colapso.

Atingida essa carga de colapso, deixava-se de proceder a reposição de carga e aguardava-se a sua estabilização. O descarregamento foi realizado em duas etapas.

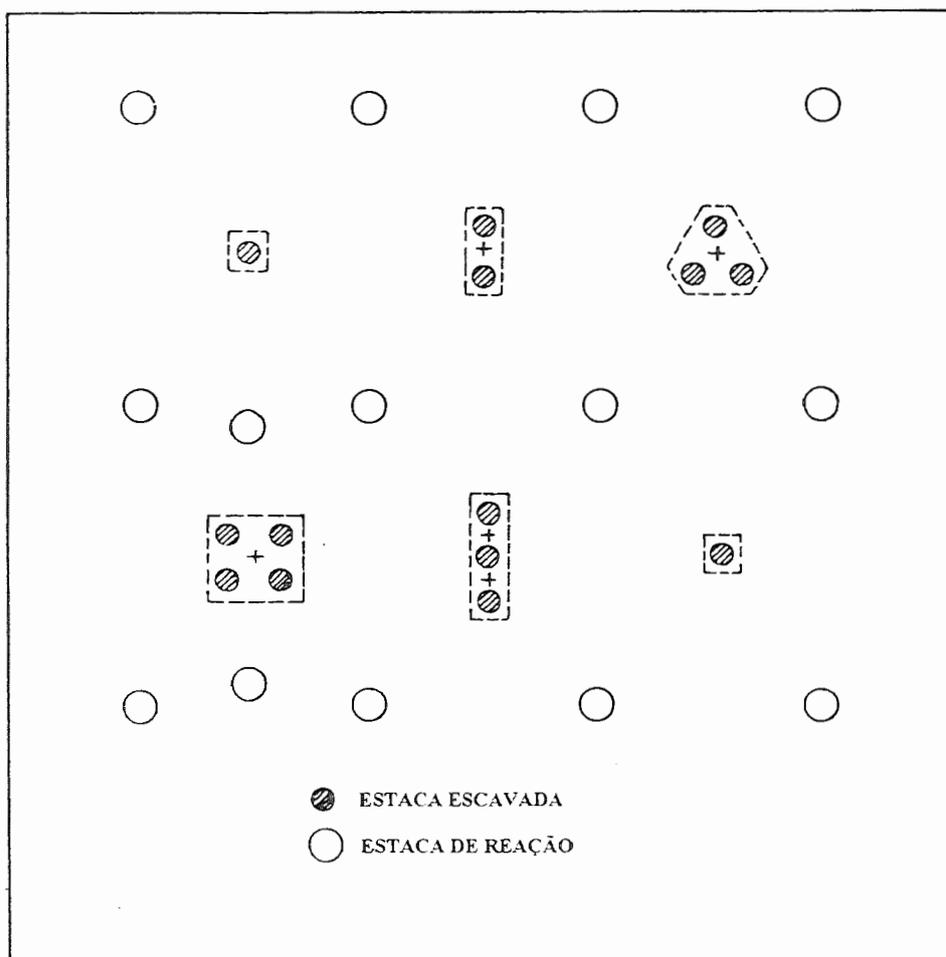


Figura 10 - Área de realização dos ensaios no Campo Experimental de Fundações da USP-São Carlos (Planta sem escala)

4.3 - Material Utilizado

4.3.1 - Macaco Hidráulico

A carga foi transmitida ao grupo de estacas, através de macaco hidráulico com capacidade de aplicação de carga da ordem de 2 MN.

4.3.2 - Célula de Carga

Foram utilizadas três células de cargas para leitura das cargas, sendo que para a estaca isolada utilizou-se a célula de 200 kN, para os grupos de 02 e 03 estacas a célula de 500 kN e para o grupo de 04 estacas a célula de 800 kN.

4.3.3 - Indicador de Deformações

O indicador de deformações utilizado para leitura de deformações específicas de extensômetros elétricos de resistência, tem a capacidade de leitura de $\pm 50000 \times 10^{-6}$ mm.

4.3.4 - Extensômetro Mecânico

Nas provas de carga ensaiadas, foram utilizados quatro extensômetros mecânicos, com precisão de 0,01 mm e curso de 50 mm para leitura dos recalques. Para traçar a curva carga x recalque, considerou - se o valor médio das quatro leituras efetuadas para cada estágio de carga.



Foto 01 - Grupo de duas estacas



Foto 02 - Grupo de 03 estacas (linha)



Foto 03 - Grupo de 03 estacas (triângulo)



Foto 04 - Grupo de 04 estacas (Quadrado)



Foto 05 - Deslocamento da viga de reação



Foto 06 - Detalhe dos Extensômetros

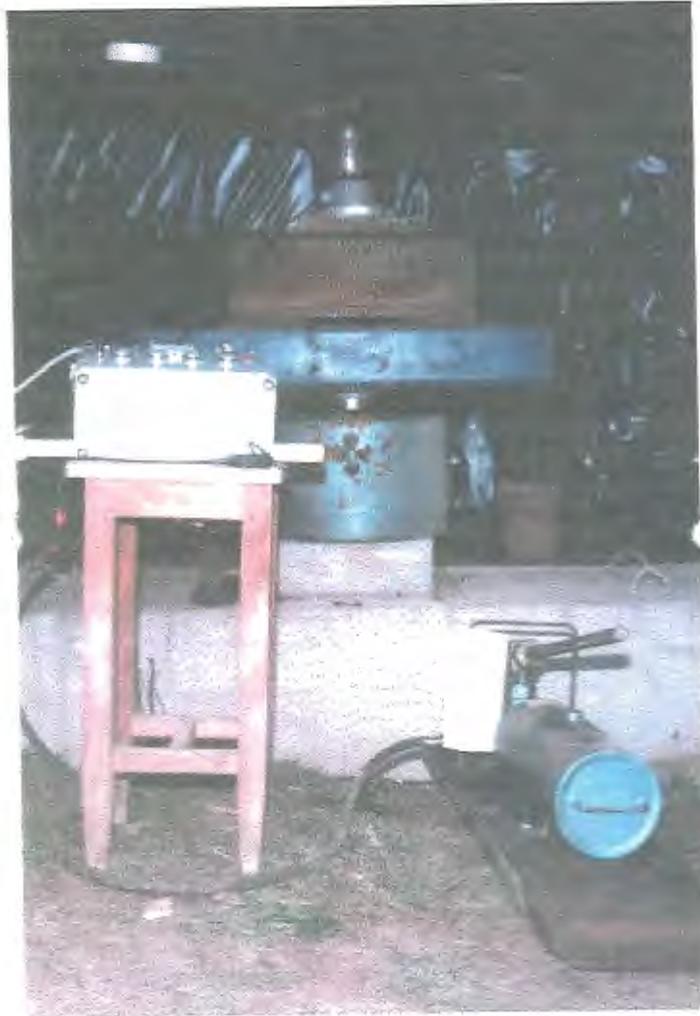


Foto 07 - Prova de Carga Preparada



Foto 08 - Prova de Carga em Andamento

V - RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentadas as curvas carga x recalque das provas de carga à compressão, do tipo rápido, realizadas nos grupos de estacas e em uma estaca isolada, nas condições de umidade natural e de solo inundado (figuras 11 a 15), sendo:

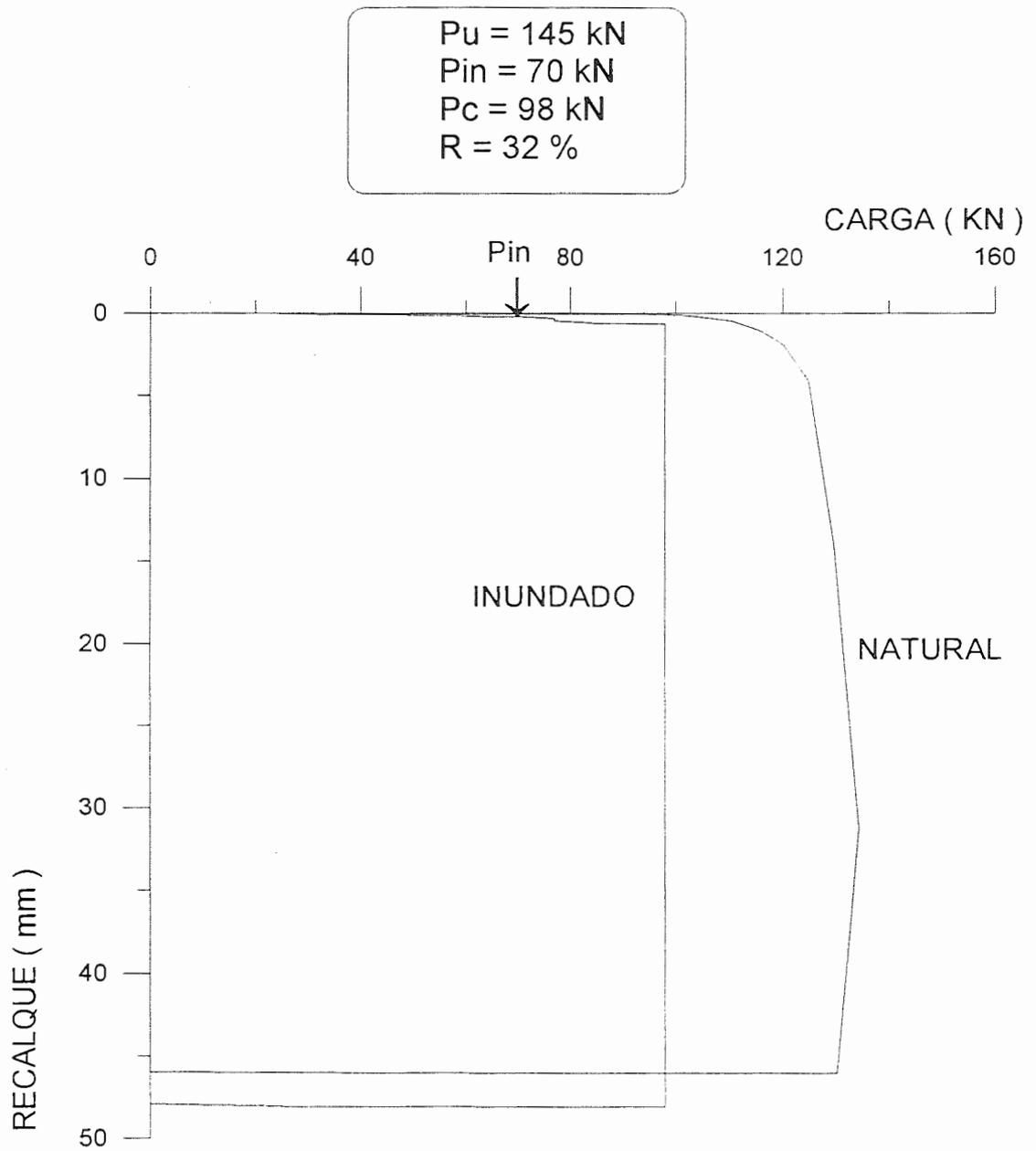
Utilizou-se a seguinte Terminologia

P_u = carga última obtida no ensaio realizado com o solo na umidade natural;

P_{in} = carga de inundação do ensaio (metade da carga última do mesmo grupo, obtida com o ensaio realizado na umidade natural);

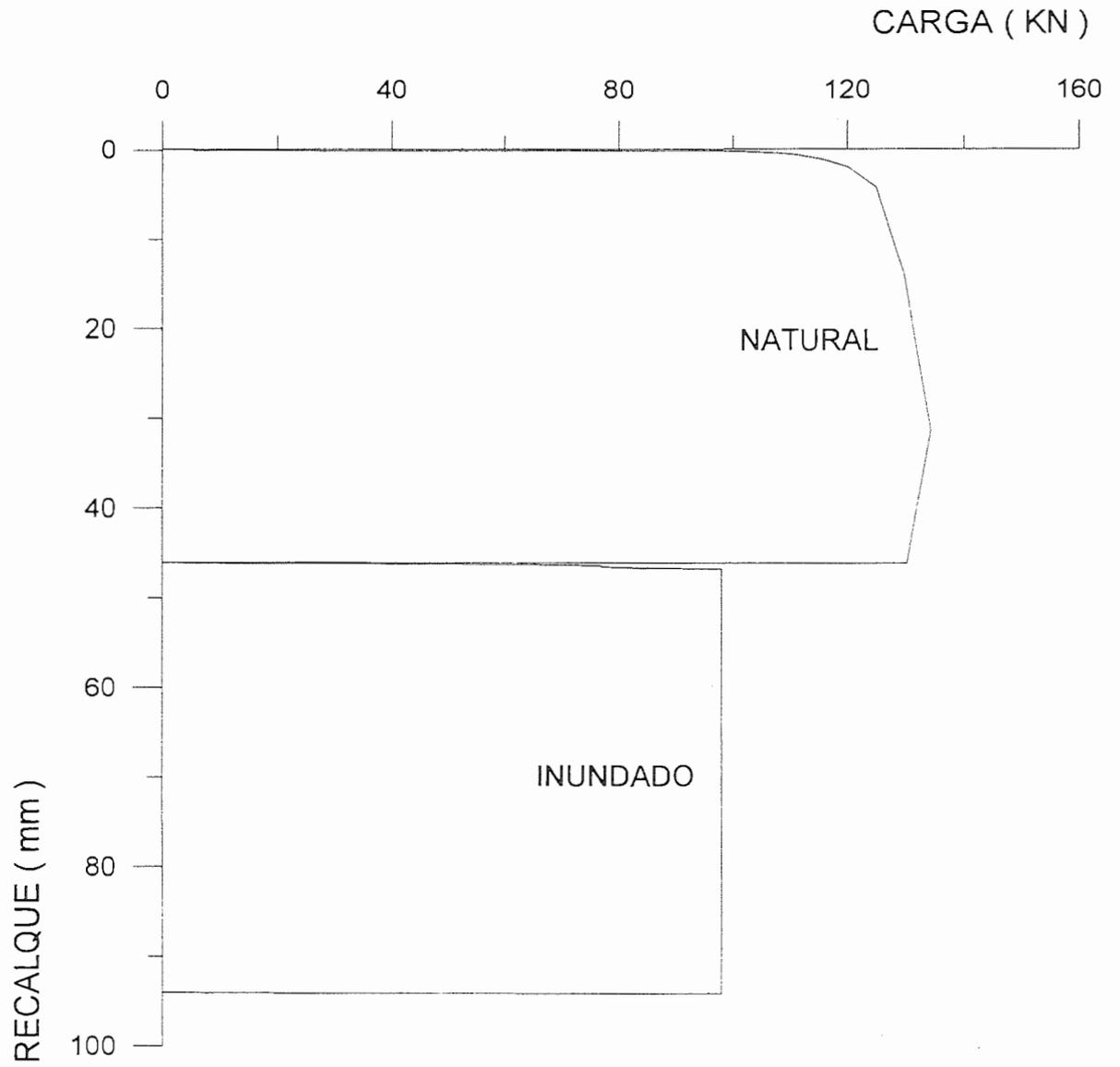
P_c = carga de colapso obtida no ensaio inundado;

R = redução na capacidade de carga devido à inundação do solo (relação entre a carga de colapso e a carga última, em %).



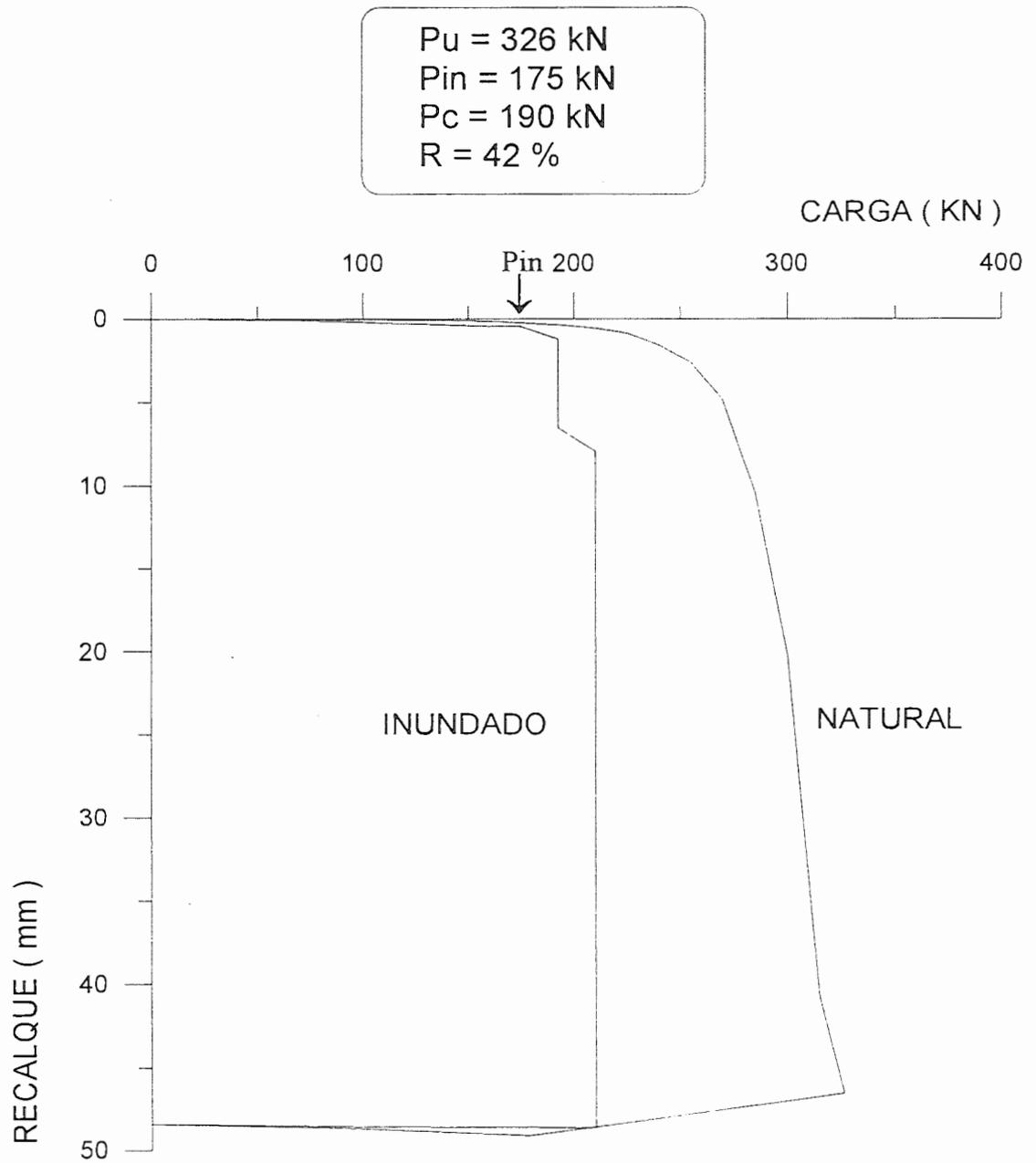
a) Gráficos Superpostos

Figura 11 - Provas de Carga na Estaca Isolada (solo natural e inundado)



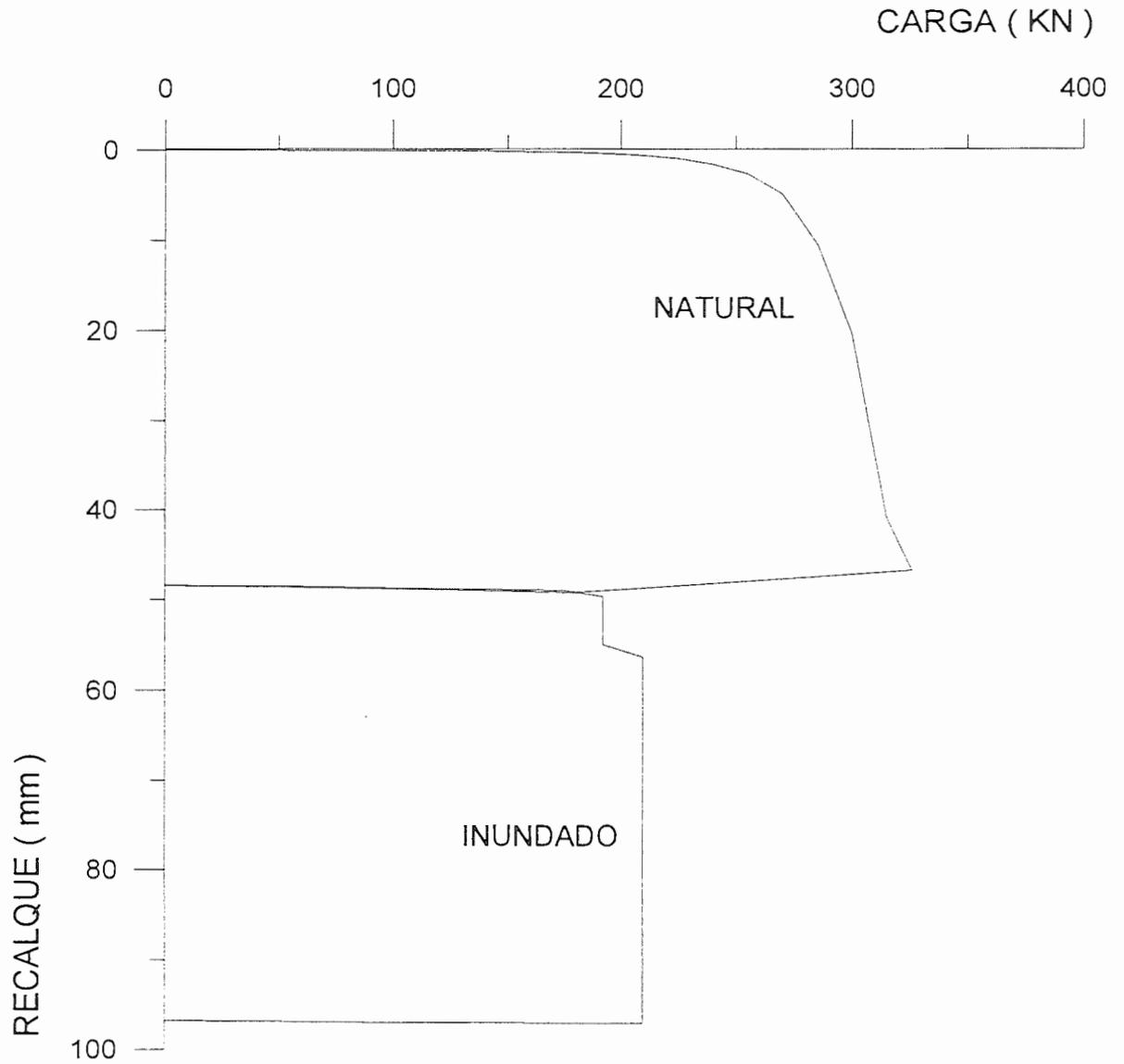
b) Gráficos não Superpostos

Figura 11 - Provas de Carga na Estaca Isolada (solo natural e inundado)



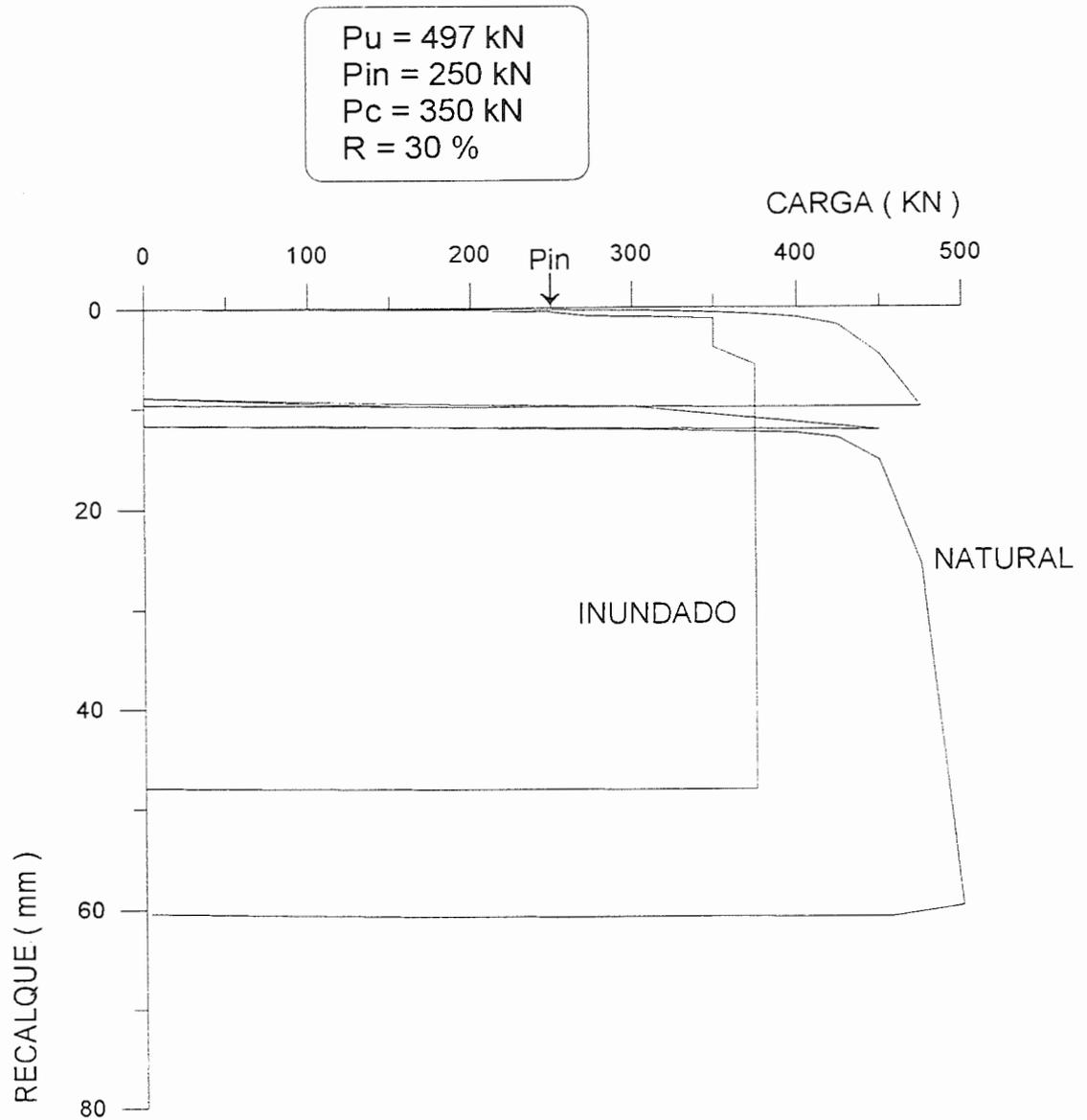
a) Gráficos Superpostos

Figura 12 - Provas de Carga no Grupo de 02 Estacas (solo natural e inundado)



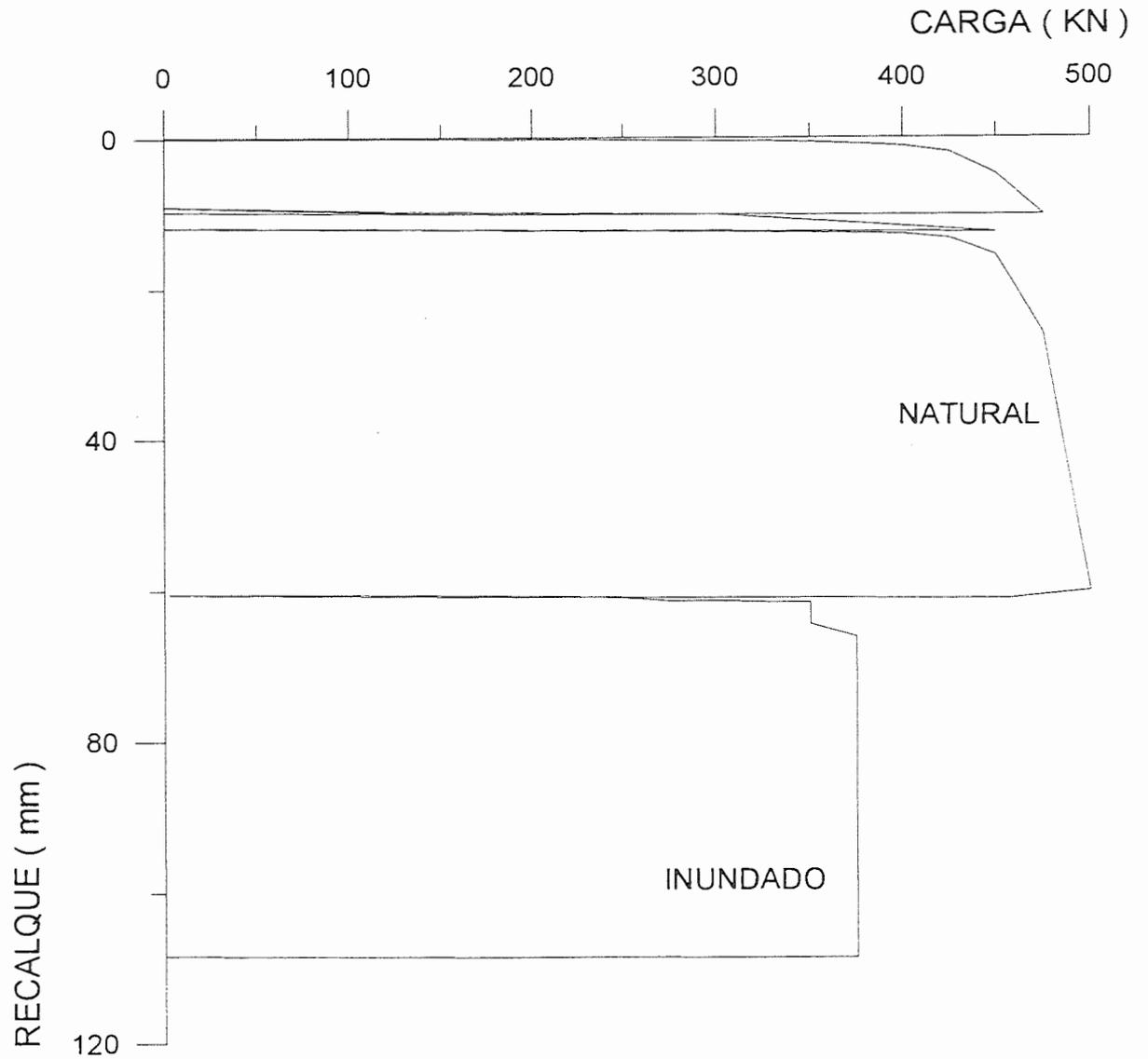
b) Gráficos não Superpostos

Figura 12 - Provas de Carga no Grupo de 02 Estacas (solo natural e inundado)



a) gráficos superpostos

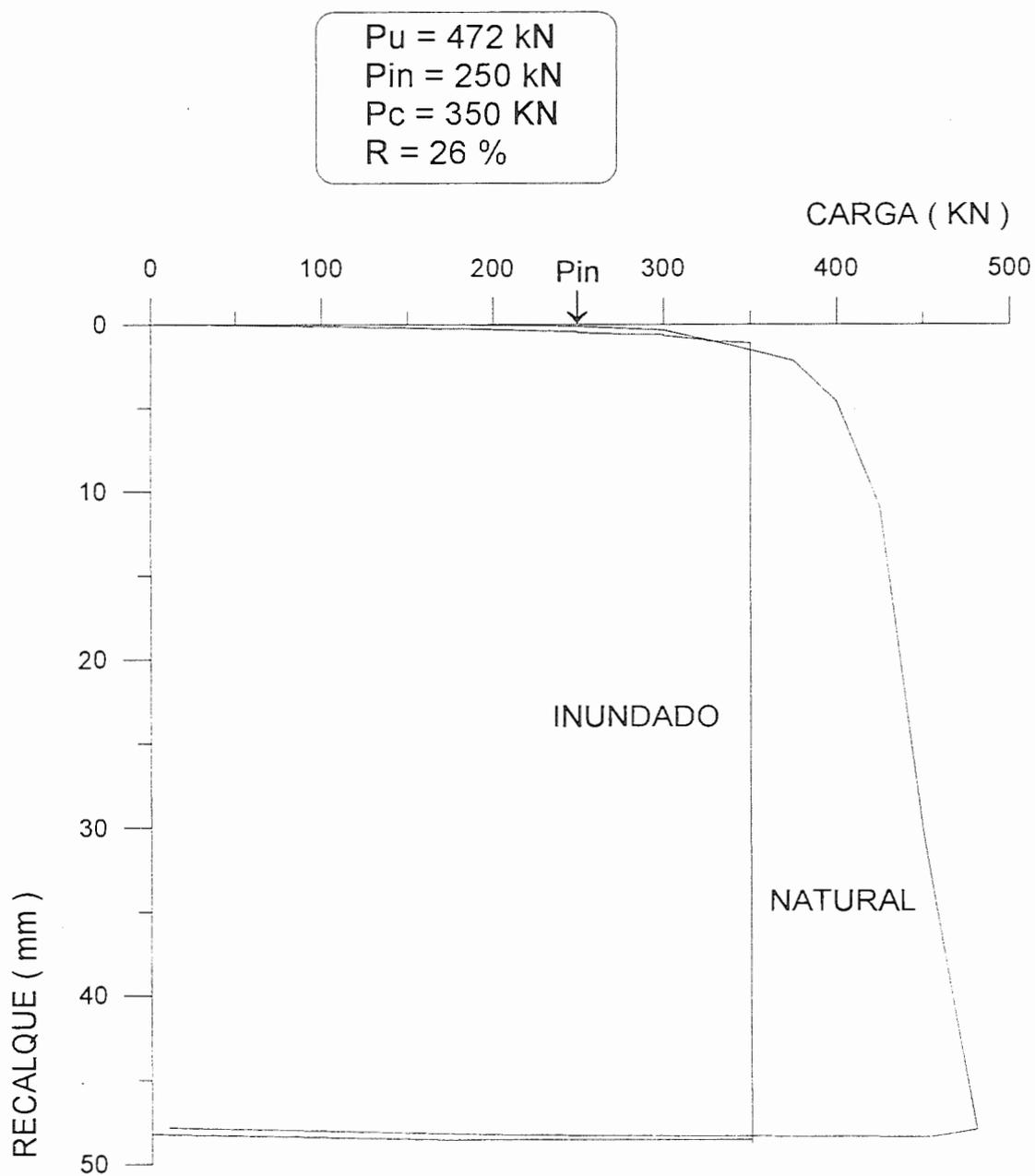
Figura 13 - Provas de Cargas no Grupo de 03 Estacas em Linha (solo natural e inundado)



b) Gráficos não Superpostos

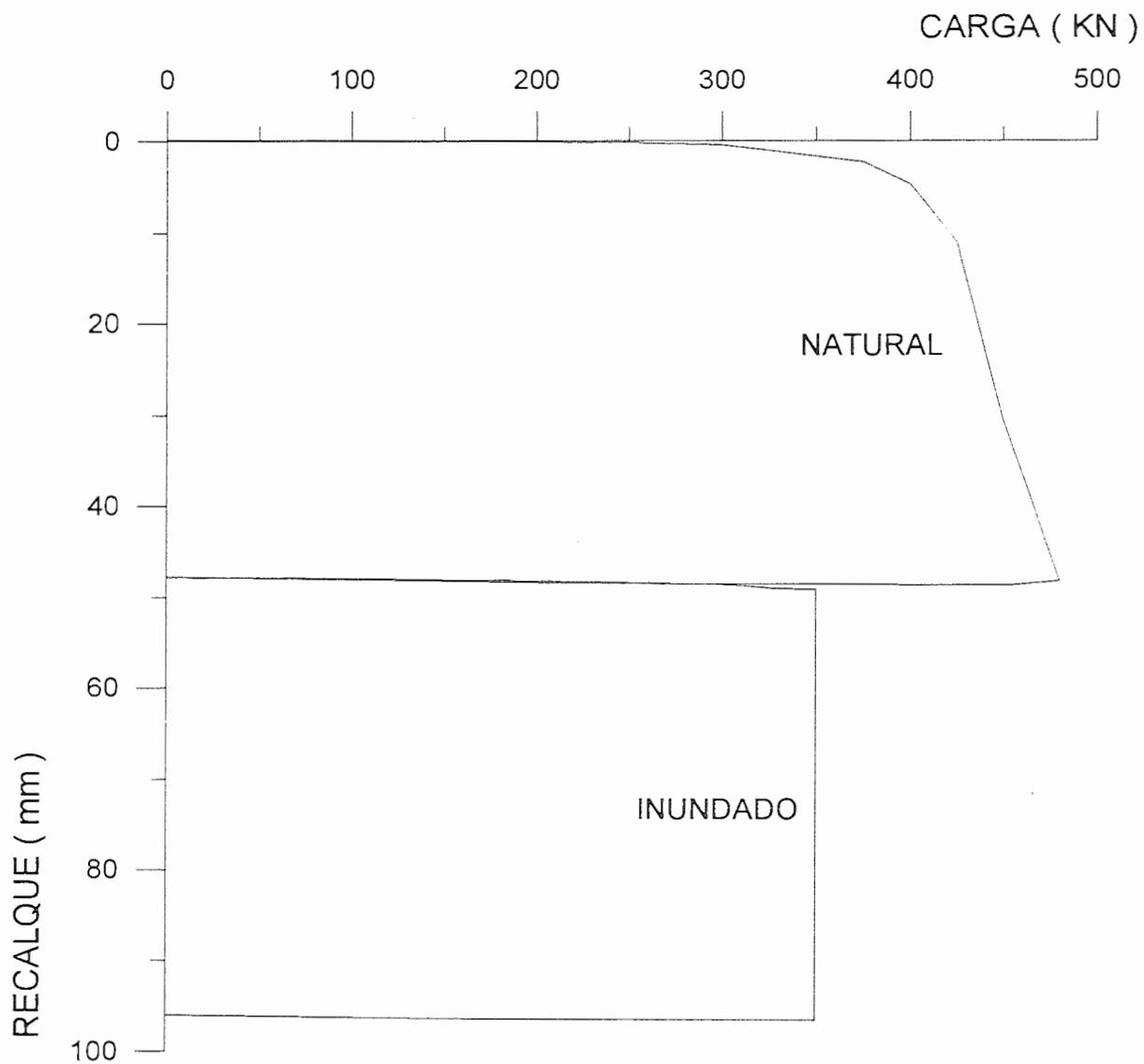
Figura 13 - Provas de Cargas no Grupo de 03 Estacas em Linha (solo natural e inundado)





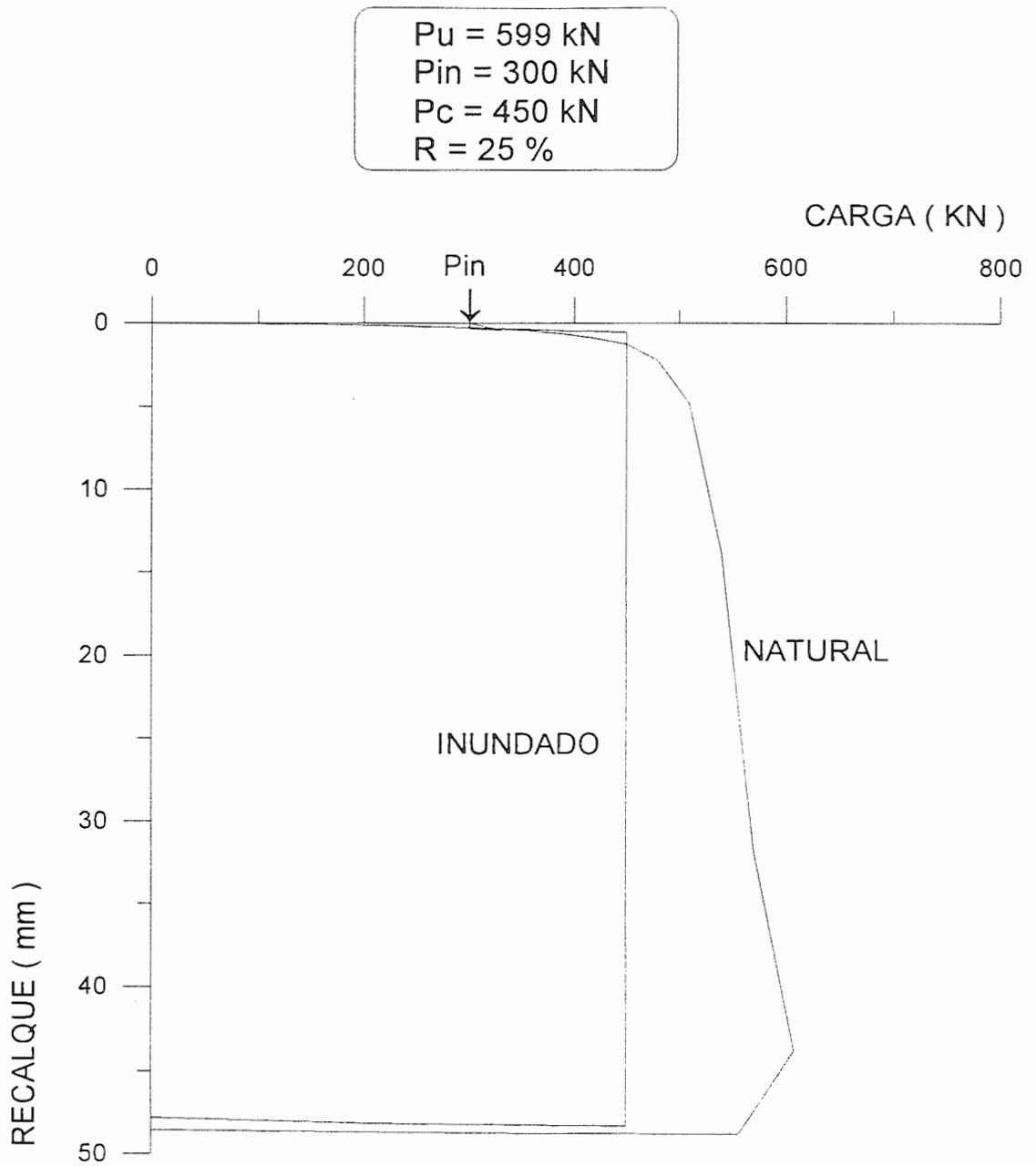
a) Gráficos Superpostos

Figura 14 - Provas de Carga no Grupo de 03 Estacas em Triângulo (solo natural e inundado)



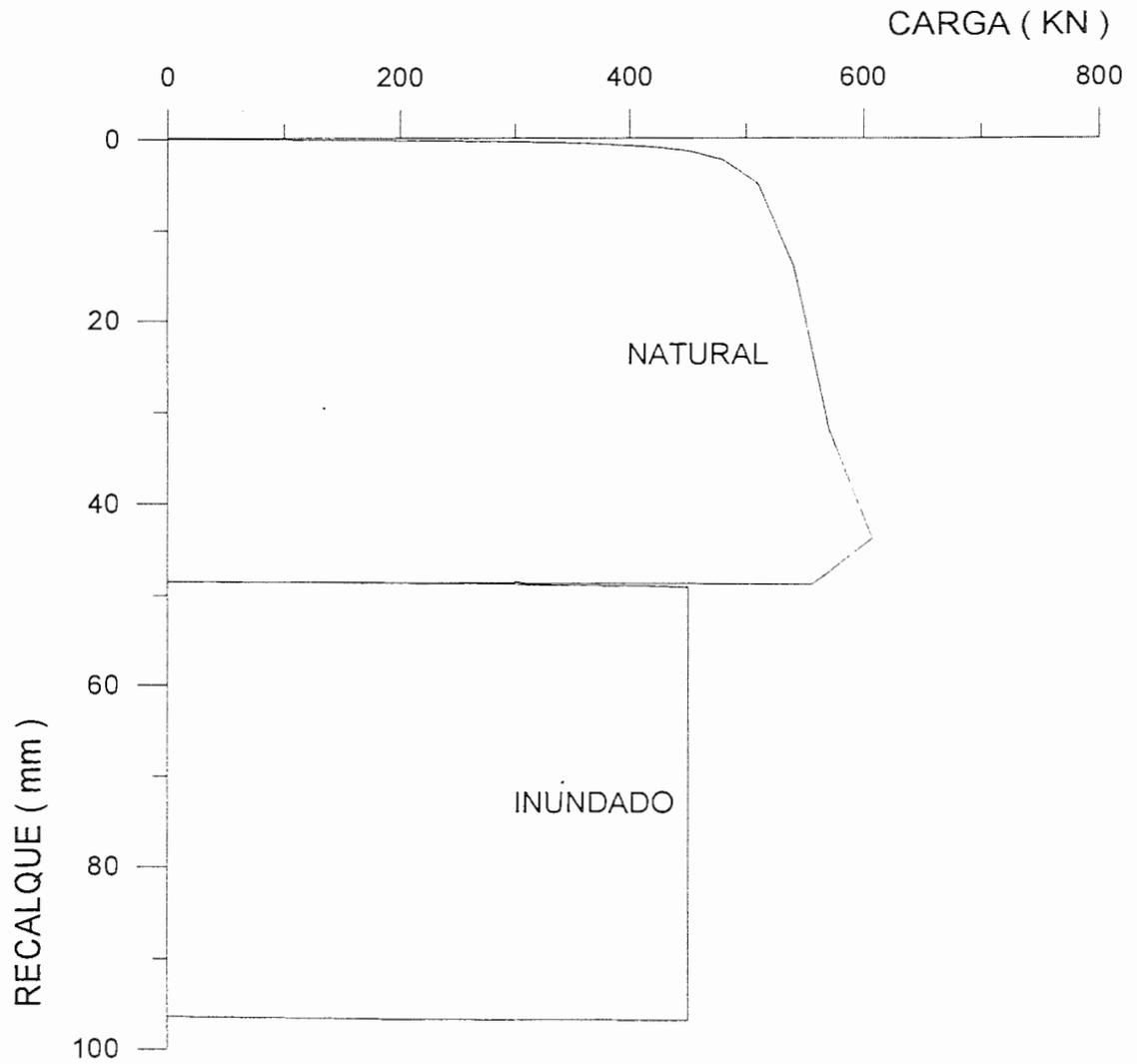
b) Gráficos não Superpostos

Figura 14 - Provas de Carga no Grupo de 03 Estacas em Triângulo (solo natural e inundado)



a) Gráficos Superpostos

Figura 15 - Provas de Carga no grupo de 04 estacas quadrado (solo natural e inundado)



b) Gráficos não Superpostos

Figura 15 - Provas de Carga no grupo de 04 estacas quadrado (solo natural e inundado)

VI - ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 - INTRODUÇÃO

Em nenhuma das provas de carga realizadas com inundação do solo durante 48 horas, ocorreu colapso na carga de trabalho (metade da carga última obtida com o solo na umidade natural). Mas, em todos os casos, com a retomada do carregamento, constatou-se o colapso antes de se atingir a carga última do ensaio realizado na condição de umidade natural do terreno. Isto caracteriza uma redução da capacidade de carga devido à colapsibilidade do solo.

A tabela 08 apresenta para cada caso, os valores da carga última (P_u) para o solo no teor de umidade natural, a carga de inundação (P_{in}), a carga de colapso (P_c) e a correspondente redução da capacidade de carga por causa da inundação do solo.

TABELA 08 - REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA

	P_u (kN)	P_{in} (kN)	P_c (kN)	Redução (%)
ESTACA ISOLADA	145	70	98	32
GRUPO 02 ESTACAS	326	175	190	42
GRUPO 03 ESTACAS (TRIÂNGULO)	472	250	350	26
GRUPO 03 ESTACAS (LINHA)	497	250	350	30
GRUPO 04 ESTACAS (QUADRADO)	599	300	450	25

6.2 - ESTACA ISOLADA

A redução na capacidade de carga obtida para a estaca isolada (32%) é em geral inferior à redução obtida por outros autores (tabela 09), que realizaram ensaios em estacas de pequenas dimensões em locais do interior do Estado de São Paulo que apresentam um perfil geotécnico semelhante ao de São Carlos.

Infelizmente uma segunda estaca isolada foi danificada, impossibilitando o reensaio na condição inundada e impedindo, portanto, a confirmação desse valor mais baixo da redução na capacidade de carga.

Entretanto, pode-se supor que a redução da capacidade de carga é fortemente influenciada pela relação entre o comprimento da estaca e a espessura da camada colapsível. Quanto menor essa relação maior a redução da capacidade de carga. Realmente os autores citados realizaram ensaios em estacas flutuantes, isto é, estavam com o fuste e a ponta imersos na camada colapsível que não é o caso desta pesquisa, onde as estacas atravessam a camada colapsível e tem a ponta apoiada na camada de solo residual, o que pode justificar o valor mais baixo obtido na redução da capacidade de carga.

A tabela 09, apresenta a redução na capacidade de carga obtida por outros autores, sendo que MONTEIRO (1985), MELLIOS (1985) e CARVALHO & SOUZA (1990) realizaram a inundação em estacas virgens, enquanto que LOBO (1991) realizou os ensaios inundados após as estacas terem sido submetidas ao ensaio na umidade natural para obtenção da carga última.

TABELA 09 - REDUÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS
ESCAVADAS

AUTORES	D (m)	L (m)	Redução (%)
MONTEIRO (1985) e MELLIOS (1985)	0.30	5.0	≥50
CARVALHO & SOUZA (1990)	0.25	6.0	≥66
LOBO (1991)	0.25	4.0	43
	0.25	4.0	35
	0.25	6.0	39
	0.25	6.0	41

6.3 - GRUPOS DE ESTACAS

6.3.1 - Carga de Colapso

O conhecimento da carga de colapso é um fator determinante para projeto de fundações em solos colapsíveis. Nos grupos de estacas ensaiados nesta pesquisa, a carga de colapso resultou em valores maiores com o aumento da área de contorno das estacas (polígono “circunscrito” às estacas), da carga última do solo na umidade natural e do número de estacas, de acordo com as figuras 16, 17 e 18.

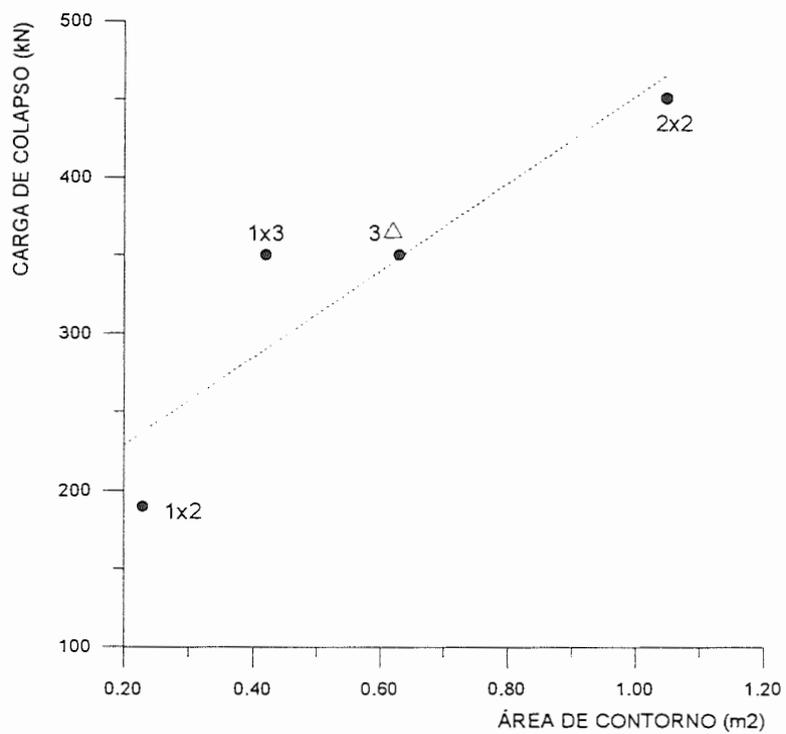


Figura 16 - Carga de Colapso x Área de Contorno

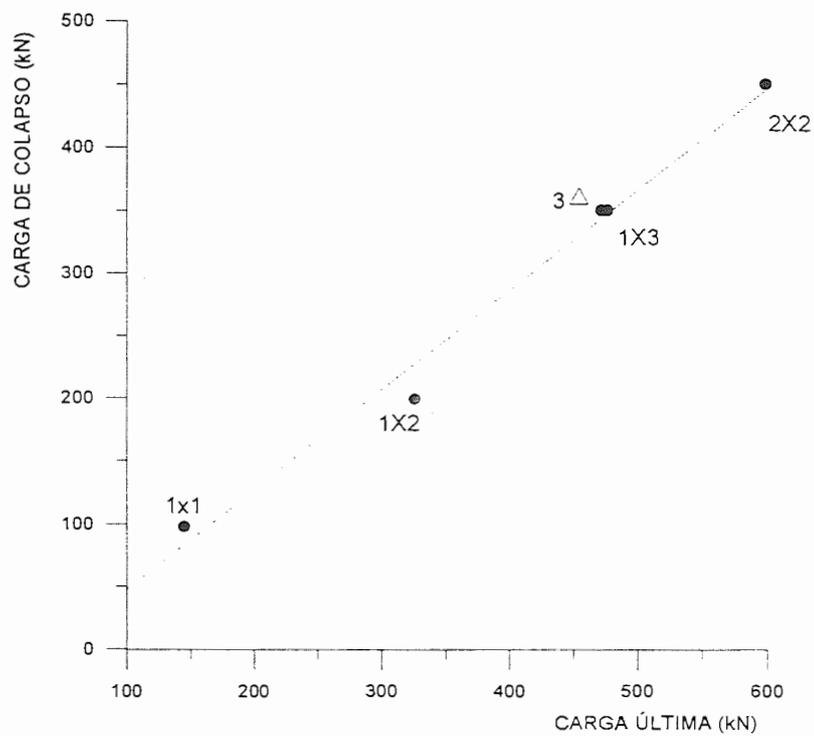


Figura 17 - Gráfico Carga de Colapso x Carga de Última

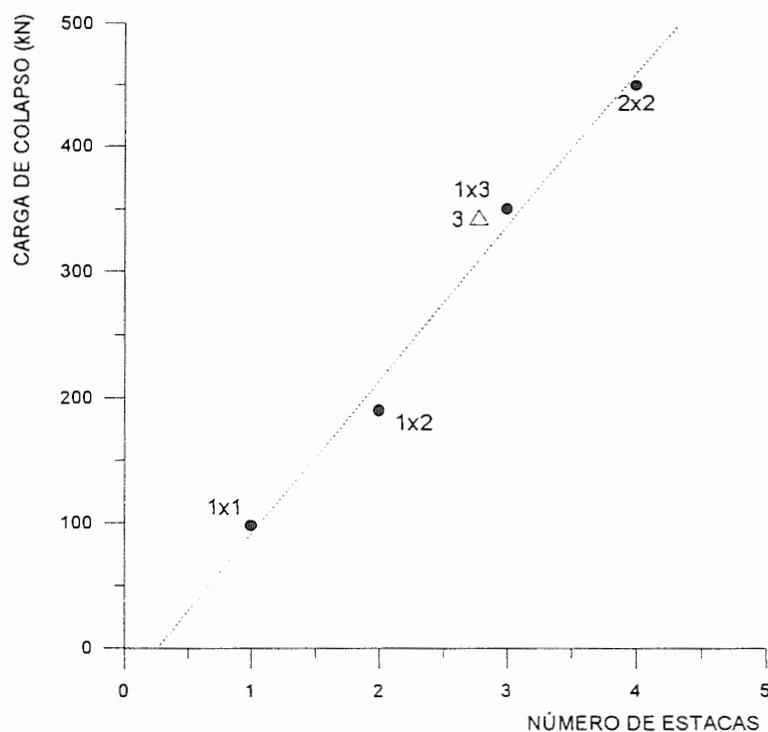


Figura 18 - Carga de Colapso x Número de Estacas

6.3.2 - Redução da Capacidade de Carga

Há indícios de que a redução na capacidade de carga observada para os grupos de estacas parece ser dependente da área de contorno das estacas, do número de estacas, da carga de ruptura e da carga de colapso.

A figura 19 mostra que a redução na capacidade de carga diminui com o aumento da área de contorno das estacas. Provavelmente para uma área de contorno maior, o solo que se encontra no centro do bloco não sofre colapso com a mesma magnitude do solo das bordas, devido a não uniformidade da distribuição horizontal da umidade no solo. Este fato fica mais evidenciado no caso dos dois grupos de 03 estacas, em que se observa que o grupo triangular (que tem uma área de contorno maior) teve uma redução menor na capacidade de carga. Além disso, esses dois grupos têm quase a mesma carga última, resultando menores tensões aplicadas ao solo no grupo triangular. Como a magnitude do colapso também depende do nível de tensões, isso parece

justificar a menor redução da capacidade de carga do grupo triangular em relação ao grupo em linha.

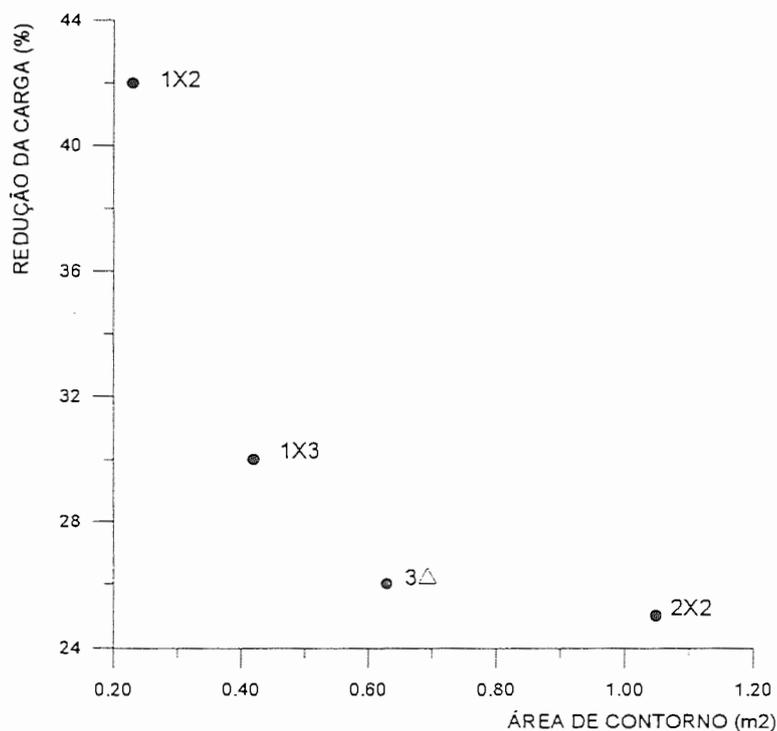


Figura 19 - Redução na Capacidade de Carga X Área de Contorno

As figuras 20, 21 e 22 mostram que a redução da capacidade de carga também diminui com o aumento do número de estacas, com o aumento da carga última do grupo e com o aumento da carga de colapso, respectivamente.

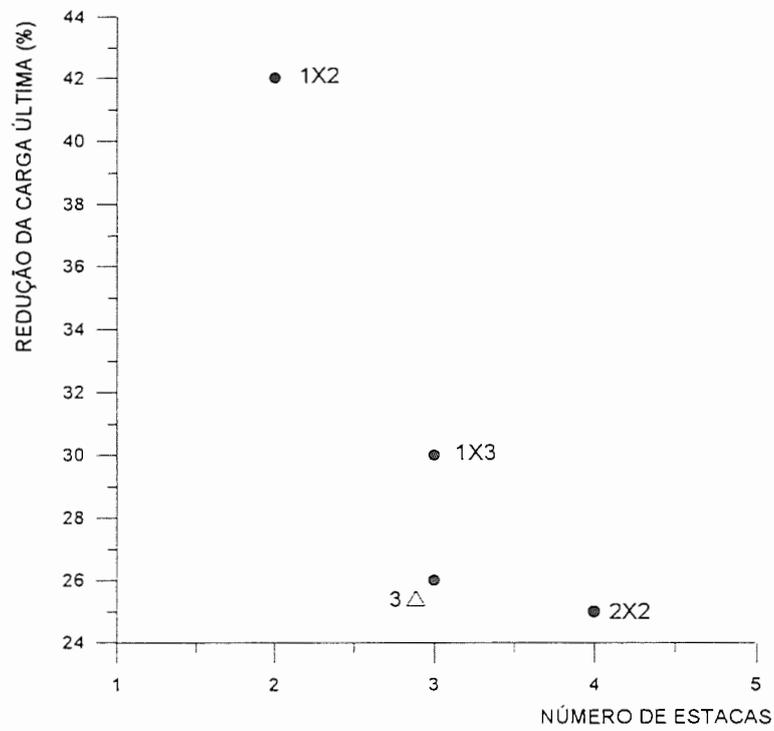


Figura 20 - Redução na Capacidade de Carga X Número de Estacas

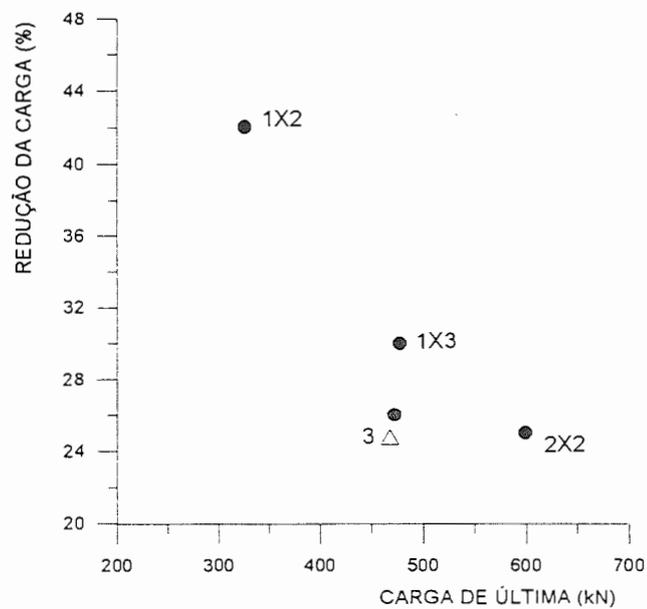


Figura 21 - Redução na capacidade de Carga X Carga Última

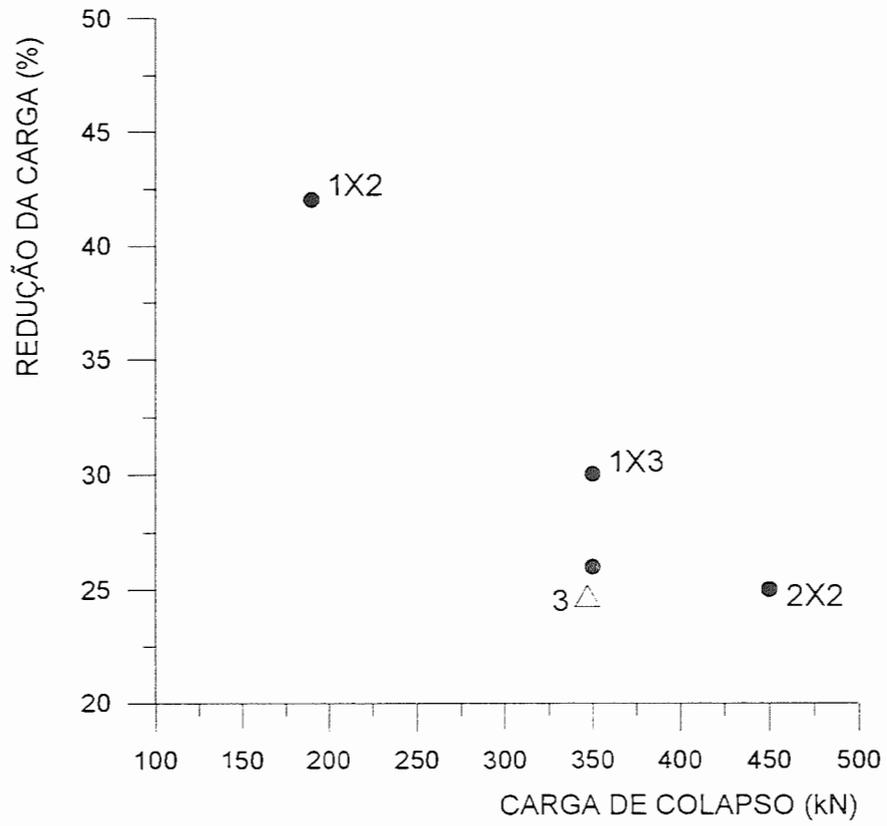


Figura 22 - Redução da Capacidade de Carga X Carga de Colapso

VII - CONCLUSÕES

- Os grupos de estacas e a estaca isolada demonstraram um bom desempenho quando submetidos à inundação na carga de trabalho, pois os recalques observados foram menores que 1 % do diâmetro das estacas;

- Entretanto a inundação do solo provoca uma redução na capacidade de carga de grupos de estacas escavadas de pequeno diâmetro, em solos colapsíveis, variando de 25 a 42 %;

- Essa redução da capacidade de carga diminui com o aumento da área de contorno das estacas, do número de estacas e da própria carga de ruptura;

- A comprovação de que grupos de estacas também são afetados pela colapsibilidade do solo, implica a necessidade de se estudar fatores de segurança apropriados para fundações em solos colapsíveis;

- A pesquisa realizada é pioneira em termos mundiais, por isso, os resultados apresentados devem ser interpretados como preliminares. Espera-se, entretanto que novos grupos de estacas venham a ser ensaiados;

- É provável que o reensaio na condição saturada apresente uma redução na capacidade de carga inferior a um hipotético ensaio de um grupo virgem. Isto se deve ao fato de que no segundo ensaio provavelmente exista uma pequena mobilização da resistência de ponta das estacas. Portanto em casos reais, talvez ocorra uma redução da capacidade de carga superior aos valores encontrados.

VIII - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Em vista do pioneirismo desta pesquisa, sugere-se:

1 - Realização de mais ensaios em grupos de estacas em solos colapsíveis;

2 - Tentar obter a umidade crítica de colapso;

3 - Realizar ensaios em grupos com pré-inundação;

4 - Realizar ensaios em grupos virgens

IX - BIBLIOGRAFIA

AFLITOS, A. O. et al. (1990) : "Projeto Formoso - Implantação de Obras Localizadas com Fundação em Solo Colapsíveis", IN : CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, Salvador, Anais..., Volume 2, pp. 101 - 108.

AGNELLI, N. (1992) : "Estudo da Colapsibilidade do Solo de Bauru através de Prova de Carga Direta", (Dissertação de Mestrado, EESC - USP).

ALBIERO, J. H. ; VILLAR, O. M. e ROSSETE, S.N. (1986): "Comportamento de Reservatórios Metálicos Assentes sobre Solos Porosos", IN: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Porto Alegre (RS), 1986, pp 95 - 101.

AOKI, N. (1982) : "Considerações Sobre o Comportamento de Grupos de Estacas", IN: ANAIS DO SIMPÓSIO DE SOBRE O COMPORTAMENTO DE FUNDAÇÕES, PUC-RJ, pp.151-177.

ARAGÃO, C. J. G. e MELO, A. C. (1982) : "Fundações Rasas em Solos Colapsível um Caso do Semi - Árido de Pernambuco", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E

ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7, Olinda - Recife, Anais..., volume 2, pp 19 - 40.

ARMAN, A. and THORNTON, S. I. (1973) : "Indentification of Colapsible Soil in Louisiana", **Highway Research Record**, nº 426, pp.14 - 22.

ARUTYUNOV, I. S. et al. (1983): "Cast-in-Place in Compacted Type II Colapsible Loess Soil", **Soil Mechanics and Foundation Engineering**, jan / fev, 20 (1), pp 13 - 19

BALLY, R. J. et al. (1965): "Loess as Foundation Soil For Irrigation Systems", IN: INTERNATIONAL SOIL MECHANIC AND FOUNDATION, 6, Montreal, Vol. 2, pp 8 - 12.

BANERJEE, P. K. (1976) : "Analysis of Vertical Piles Groups Embedded in non Homogeneous Soil", Proc. 6 th EUROPEAN CONFERENCE SOIL MECHANIC, Viena, Austria, pp.345 - 350.

BANERJEE, P. K. ; DAVIES, T. G. (1977) : "Analysis of Pile Groups Embedded in Gibson Soil", Proc. IX ICSMEFE, Tokyo, Japão, Julho 1977, vol. 1, pp. 381 - 386.

BARATA, F. E. (1984) : "Propriedades Mecânicas dos Solos - Uma Introdução ao Projeto de Fundações", Rio de Janeiro, **Livros Técnicos e Científicos**, Editora S. A., 1984, 152 p.

BARDEN, L. et al. (1969): "Volume Change Characteristic of Unsaturated Clay", **Journal of the Soil Mechanics and Foundation division** , USA (95), pp 33 - 51, SM 1

- BARROS, C. L. A. (1970) : "Ensaio Especial de Adensamento para o Terreno de São Carlos", Trabalho de Formatura, Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- BENVENUTO, C. et al. (1981) : "Estudo da Colapsividade do Solo das Fundações dos canais do Projeto de Irrigação de Jaíba", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, anais..., vol. 1, pp. 417 - 430.
- BENVENUTO, C. (1982) : "Uma Avaliação Teórico - Experimental do Comportamento de Alguns Solos Colapsíveis", São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 149 p. , (Tese de Doutorado).
- BRANDL, H. (1988) : "The Interaction Between Soil and Groups of Small Diameter Bored Pile", Proc. I INTERNATIONAL GEOTECHNICAL ON DEEP FOUNDATION BORED AND AUGER PILES, Junho 1988, Ghent, Belgium, Rotterdam, A. A. Balkema, 1988, pp. 3 - 16.
- BUTTERFIELD, R. ; BANERJEE, P. K. (1971) : "The Problem of Pillar Group Cap. Interaction", 1971, volume 21, nº 2, pp. 135 - 142.
- CAMPELO, N. S. & CINTRA, J. C. A. (1994): "Análise Comparativa do Carga de Ruptura à Tração em Estacas", In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Foz do Iguaçu , Pr, v. 4, p.11 - 18.

- CARNEIRO, B. J. I. (1994): "Comportamento de Estacas Apiloadas em Solo Colapsível", Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 108 p.
- CARVALHO, D. & ALBUQUERQUE, P. J. R. (1994): "Comportamento de Estacas de pequeno porte a Tração em Solos Coalpsíveis", II Simpósio de Solos nãs Saturados, Recife , Pe, p. 237 - 242.
- CARVALHO, D. e SOUZA, A. (1990) : "Análise do Efeito de Umidecimento do Solo de Fundações Rasas e Profundas em Solos Poros", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9 , Salvador - Ba, Anais ..., Volume 2, pp.109 - 114.
- CHOW, Y. K. (1986) : "Analysis of Vertical Loaded Pile Group", IN: **International Journal Numerical Analytic Geomechanic**, 1986, volume 10, nº 1, pp. 59 - 72.
- CINTRA, J. C. A. (1986) : "Shallow foundation on colapsible Soils", Proceedings : FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, OCTO, Buenos Aires, pp.673 - 675.
- CINTRA, J. C. A. ; ALBIERO, J. H. (1987) : "Distribuição de Cargas em Modelos de Grupos de Estacas Cravadas em Areias", **Revistas Solos e Rochas**, Rio de Janeiro, 1987, vol. 10, nº 3, pp. 3 - 9.
- CINTRA, J.C.A.; CARVALHO, D.; GIACHETI, H.L.; BORTOLUCCI, A. A. & ALBIERO, J. H. (1991): "Campo experimental de Fundações de São Carlos", SEFE II, v.1, p. 96 - 105.

- CLEMENCE, S. P. & FINBARR, A. O. (1981) : "Design Consideration for Collapsible Soil", **Journal ASCE**, march.
- COSTA, M. E. R. (1986) : "Estudo da Colapsividade dos Solos Superficiais de Uberlandia", (Dissertação de Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 90 p.
- DECOURT, L. (1968): "Compressibilidade de Ombreiras ; Algumas Considerações Aplicáveis a Barragem de Promissão", IN: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 5 , Rio de Janeiro, vol. 1.
- DÉCOURT, L. (1973): "Comparação entre Recalques Previstos e Observados do Terreno de Fundação da Barragem de Promissão", VII SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, vol. II.
- DUDLEY, J. H. (1970) : "Review of Collapsing Soil", **Journal of the Soil Mechanic and Foundation Div**, vol. 96, pp. 925 - 947.
- ELLSTEIN, A. R. (1981) : "Stresses and settlements Due to Pile Groups", Proc. x ICSMFE, Stockholm, 1981, vol. 2 pp. 699 - 702.
- FELLENIUS, B. H. (1988) : "Unified Design of Piles and Piles Group", **Trans. Res.** 1988, nº 1988, pp. 75 - 82.
- FERRREIRA, R. C. e MONTEIRO, L. B. (1985) : "Indentification and Evolution of Collapsibility of Coluvial Soil That Occur in the São Paulo State", IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANIC

IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOIL, 1, Brasilia, Anais., vol. 1, pp. 269 - 280.

FERREIRA, R. C. ; PERES, J. E. E. & BENVENUTO, C. (1990) : "Uma análise de Modelos Geotécnicos para a previsão de Recalques em Solos Colapsíveis", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, Salvador, 1990, anais., São Paulo, ABMS, 1990, vol. 2, p 73 - 79.

GEHLING, W. Y. Y. et al. (1992) : "Compressibilidade e Colapsividade de solos Porosos do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7, Olinda / Recife, anais., vol. 4, pp. 192 - 205.

GIBBS, H. J. and BARA, J. P. (1967) : "Stability Problems of Collapsing Soil" **Journal of the Soil Mechanics and Foundation** , vol. 93, nº SM 4, pp. 577 - 594.

HANNA, T. H. (1963) : "Model Studies of Foundations Group in Sand", **Geotechnique**, vol. 13, nº 4, 1963, pp. 334 - 351.

HOLTZ, W. G. & GIBBS, H. J. (1953): " Field Tests to Determine the Behaviour of Piles in Loess", IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUADATION ENGIENEERING, 5 , Paris, Vol. 1, pp 673 - 679.

- JARDIM, W. (1980) : "Estudo de Pressão Admissível de Fundação Direta em Solo Residual de Gnaisse através de Prova de Carga em Placa", (Dissertação de Mestrado), COPPE, UFRJ, 1980.
- KANE, H. (1973) : "Confined Compression of Loess", IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 8, Moscow, anais..., vol. 2.2, pp 115 - 122.
- KNODEL, P. C. (1981) : "Construction of Large Canal on Collapsing Soil", IN: **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, USA, 107, pp. 79 - 94, GT 1.
- KRUTOV, V. I. (1975) : "Deformations of Structures on Collapsible Soil", IN: ISTAMBUL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, Istambul, 1975, pp. 165-170.
- LIMA FILHO, S. C. (1978): "Solução de Aproveitamento de Terreno de Fundação", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, vol 2, pp. 98 - 107.
- LIMA SOBRINHO, O. O. (1983): "Estudo das Características da Compressibilidade do Solo Superficial de São Carlos, Através de Provas de Carga em Modelos" São carlos - SP, EESC - USP, 145 p. , (Dissertação de Mestrado).
- LOBO, A. S. (1991): "Colapsividade do Solo de Bauru e sua Influência em Estacas de Pequeno Porte", (Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos - USP), 211 p.

- LOPES, J. A. O. (1987): "Terra Rocha - Paraná: Um Caso Notável de Problemas em Fundações Rasas Provocadas por Fenômenos Associados a Colapso de solos", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, anais..., vol. 2, pp. 359 - 375.
- MANTILLA, J. N. (1992): "Comportamento de Estacas Escavadas, Instrumentadas à Compressão", Tese de Doutorado, EESC - USP.
- MENDONÇA, M. B. & MAHLER, C. F. (1994): "Aspectos Microestruturais de Solos Colapsíveis da Bahia", In: X CBMSEF, Foz do iguaçu, Pr, volume 4, pp1149 - 1156.
- MASSAD, F. (1991): "Análise da Transferencia de Carga em duas Estacas Instrumentadas Quando submetidas Compressão Axial", In :Sefe II, volume I, p.255
- MELLIOS, G. A. (1985): "Provas de Carga em solos Porosos", IN: SEFE I, São Paulo, volume 2, pp 73 - 102.
- MELLO, L. G. F. S. et al. (1985): "Use of surcharges as Treatment of Residual Soil Foundation", IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANIC IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOIL, 1, Brasilia, anais..., vol. 2, pp. 87 - 100.
- MOLL, L. L. (1975) : "Analisis del Problema de Los Suelos Colapsibles", IN: CONGRESSO PANAMERICANO DE MECÂNICA DOS SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES, 5, Buenos Aires, 1975, Proceedings..., Buenos Aires (Argentina), vol. 5, pp. 359 - 368.

- MOLL, L. L. ; RUSCULLEDA, A. E. ; REDOLFI, E. & QUIROGA, R. (1979): "Experiencias de Compactation de Estrados en Suelos Colapsibles", IN: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 6, Lima-Peru, vol. 2, pp. 433 - 448.
- MONTEIRO, L. B. (1985): "Alguns Aspectos da Capacidade de Carga de Solos Colapsíveis", IN: SEFE I , São Paulo, Vol. 2 pp. 193 - 213.
- NADEO, J. R. & VILELA, E. P. (1975): "Comportamiento de Pilotes en Suelos Colapsibles", IN: V CONGRESO PAN AMERICANO DE MECÂNICA DE SUELOS E INGINERIA DE FUNDACIONES", Buenos Aires , Vol. 5 , pp 313 - 319.
- NAIR, K. ; GRAY, H. ; DONOVAN, N. C. (1969): "Analysis of Pile Group Behaviour", **ASTM Spec. Techn. Publ. n^o 444**, 1969, pp. 118 - 159.
- NEVES, M. (1987): "Estudo da Permeabilidade do Solo Colapsível da Região de São Carlos (SP)", EESC - USP, 125 p. , (Dissertação de Mestrado).
- NORTHEY, R. D. (1969): "Engineering Properties of Loess and Other Collapsible Soils", IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 7, México, 1969, Proceedings..., ICSMFE, México, 1969, v. 3, Speciality Session, n^o 5, pp. 445 - 452.
- NUÑES, E. (1975): "Suelos Especiales: Colapsibles, Expansivos, Preconsolidado por Deseccacion", IN: CONGRESO PAN AMERICANO

DE MECÂNICA DE SUELO E INGINIERIADE FUNDACIONES, 5, Buenos Aires, anais..., vol. 4, pp.43 - 73.

O'NEILL, M. W. ; HEYDINGER, A. G. (1982): "Observation of Full - Scalle Pile Group Performance", **Public Roads** 46 (1982), nº 3, pp. 1605 - 1623.

POLLA, C. M. (1981): "Solos Colapsíveis", IN: SEMINÁRIO PARA PÓS - GRADUANDOS, São Paulo, Escola Politécnica dea Universidade de São Paulo.

POULOS, H. G. & MATTES, N. S. (1971): "settlement and Load Distribution Analysis of Pile Groups", **Australian Geomech. J.** 1 (1), pp. 18 - 28 (apud Polo e Clemente, 1988).

POULOS, H. G. & RANDOLPH, M. F. (1983): "Pile Group Analysis: A Study of two Methods", **Journal of Geotechn. Eng. Div., Proc.ASCE**, vol. 109, nº 2 GT 3, pp.355-372.

QUEIRÓS, L. A. (1960): "Compressible Foundation at Três Marias Earth Dam", IN: I PAN. AM. CONFERENCE ON SOIL MECH. AND FOUNDATION ENGINEERIA, vol. 2, pp - 763 - 776, Mexico.

REZNIK, Y. M. (1993): "Plate - Load Tests of Collapsible Soil", **Journal of Geotechnical Engineering**, vol. 119. Nº 3, March.

- RANDLPH, M. P. ; WROTH, C. P. (1973): "An Analysis of the Vertical Deformation of Pile - Groups", **Geotechnique**, vol. 29, nº 4, 1973, pp. 423 - 439.
- SCHENER, H. V. (1965): "Dan Foundation Settlement Due to Saturation", IN: VI INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUND. ENGINEERING, vol. II, pp.542 - 545.
- SRIVASTAVA, S. P. (1973): "Elastic Analysis of Pile Group in Granular Soil", PROC. VIII ICSMFE, Moscow, 1973, vol. 2.1, pp. 223 - 226.
- SILVA, J. C. B. (1990): "Análise dos Resultados de Prova de Carga em Estacas de Pequeno Diâmetro", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLO E ENGENHARIA DE FUNDACIONES,9, Salvador, anais..., vol. 2, pp. 125 - 131.
- SOUTO SILVEIRA, E. B. & SILVEIRA, A. (1958): "Investigação do Arenito Decomposto de São Carlos para Fundação de Pequenas Construções", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 2, Campina Grande - Recife, anais..., vol. 1 , pp.77-110.
- SOUZA, A. (1993): "Utilização de Fundações rasas no solo colapsível de Ilha Solteira (SP)", (Tese de Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 126 p.
- SULTAN, H. A. (1971): "Some Engineering Aspect of Collapsing Soil", The Universite of Arisona, Tucson, 35p.

- TEIXEIRA, C. Z. (1993): "Comportamento de Estacas Escavadas em Solos Colapsíveis", (Tese de Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, 157 p.
- TOKAR, R. A. (1973): "Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays and Structurally Unstable Soil (Collapsible, Expansive and Others). IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 8, Moscow, vol. 3, pp.174-177.
- URIEL, S, & SERRANO, A. A. (1973): "Geotechnical Properties of two Collapsible Soil of Low Bulk Density at the Site of two Dams in Canary Island (Spain), IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUND. ENGINEERING, Moscow, vol. 2.2.
- VARGAS, M. (1974): "Engineering Properties of Residual Soil From South Central of Brazil", IN: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY, SP, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.
- VARGAS, M. (1977): "Fundações de Barragem de Terra Sobre Solos Porosos", **Revista Construção Pesada**, março, pp. 286 - 289.
- VILAR, O. M. ; RODRIGUES, J. B. (1981): "Solos Colapsíveis: Um Problema Para Engenharia de Solos Tropicais", IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA, Rio de Janeiro, anais..., vol. 1, pp. 209 - 224.

- VILAR, O. M. & GAIOTO, N. (1994): "Deformação por Colapso em um Solo Laterítico Compacto", In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, Foz do Iguaçu, Pr, vol.04, p. 1221 - 1228.
- VIOTTI, C. B. (1975): "Instrumentação das Fundações em São Simão", IN: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS, 10, Curitiba, 1975.
- WOLLE, C. M. et al. (1978): "Estudos Preliminares da Colapsividade dos Solos no Projeto Jaíba (MG)", IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, São Paulo, anais..., vol. 1, Temal, pp. 179 - 193.
- WOLLE, C. M. et al. (1981): "Colapsible Soil Foundation of Canals in Central Brazil", IN: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANIC AND FOUNDATION ENGINEERING, 10, Stockholm, volume 1, pp. 277 - 280.
- ZARETSKII, T. ; KARABAEV, M. I. (1977), " A New approach to Pile Testing ", V INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, vol. 2, p. 171.