



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS APILOADAS  
CONFECCIONADAS COM SOLO-CIMENTO PLÁSTICO**

**Mauro Nacano**

**Ilha Solteira - SP**

1210001241





UNESP - FEIS  
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS APILOADAS  
CONFECCIONADAS COM SOLO-CIMENTO PLÁSTICO

por  
Mauro Nacano

Orientador:  
Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini

Dissertação apresentada à  
Faculdade de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita" para a obtenção  
do título de Mestre em Engenharia  
Civil, Área de Concentração:  
Estruturas.

1210001241



ILHA SOLTEIRA  
Estado de São Paulo  
Brasil  
Setembro de 2001

*Doc. 040/2001 - NPD 120/01*

|                                              |                    |
|----------------------------------------------|--------------------|
| UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"            |                    |
| SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO |                    |
| DATA DE CHEGADA                              | DATA DE TOMBAMENTO |
| 30.10.01                                     | 30.10.01           |
| Assinatura                                   | Te. 1241           |
| Localização                                  | Classificação      |
| autar                                        |                    |
| R\$ 10,00                                    |                    |

30103010  
FUNDAÇÕES E ESCAVAÇÕES



Nacano, Mauro  
N118c      Capacidade de carga de estacas apiloadas confeccionadas com solo-cimento  
plástico / Mauro Nacano. – Ilha Solteira, 2001  
xix, 155p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia  
de Ilha Solteira, 2001

Orientador: Antonio Anderson da Silva Segantini

Bibliografia: p.94-99

1.Estacas de solo-cimento 2.Solo-cimento 3.Fundações (Engenharia)

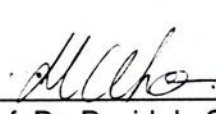
# **“Capacidade de Carga de Estacas Apiloadas Confeccionadas com Solo-Cimento Plástico”**

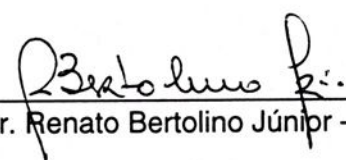
**MAURO NACANO**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL (ME).

## **COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini – orientador/FE/UNESP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. David de Carvalho - UNICAMP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior – FE/UNESP

Ilha Solteira – SP, setembro de 2001





Agradecimentos

**A DEUS, a JESUS CRISTO,**

a minha esposa

**Adelcia**

as minhas filhas

**Letícia e Larissa,**

aos meus pais,

**Antônio e Toshiko,**

aos meus irmãos,

**Roberto (in memorian) e Elisa**

e aos meus sobrinhos

**Patrícia, Priscila e Marco**

dedico este trabalho.

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador

Professor Dr. Antonio Anderson da Silva Segantini

agradeço primeiramente pela sua confiança,

pela sua orientação, amizade,

dedicação, incentivos, ensinamentos, e

auxílios recebidos;

Ao amigo e engenheiro Roberto Racanicchi,

ao casal de amigos Milton Ribeiro dos Santos e

Sandra Eli Ribeiro dos Santos

pelas inestimáveis ajuda durante a realização deste trabalho;

Ao professor

Dr. Renato Bertolino Jr., pela confiança em mim depositada;

Aos professores do departamento de Engenharia Civil

pelos ensinamentos;

Aos funcionários da Pós graduação, em especial

ao Sr. Arlindo Avanzo Ursulin,

Aos funcionários da Biblioteca da UNESP ilha Solteira, em especial

ao Sr. João Josué Barbosa

pelos serviços prestados.



Um agradecimento especial  
aos técnicos do laboratório de engenharia civil da FEIS:

Gilberto Antônio de Brito,

Ronaldo Mendes do Amaral,

Gilson Campos Corrêa,

Mário Roberto Corrêa Ferreira,

Silvio Rogério Sanitá Moreira,

José Cavassano Ribeiro

e Ozias da Silva Porto.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da CESP:

Antônio Bezerra,

Gilberto Leite da Silva,

Joanês Ferreira da Silva,

José Antônio Michelin,

Luiz Carlos Baltazar

e Milton José Rodrigues,

Ao pedreiro e seu ajudante

Wanderley da Silva e Augusto Rodrigues

pelo auxílio na execução dos ensaios laboratoriais;

Ao Departamento de Engenharia Civil da Unesp, Ilha Solteira, SP,  
pelo apoio recebido;

À FUNDUNESP pela liberação de recursos financeiros

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP

e a todos que, de alguma forma,

contribuíram para a realização deste trabalho,

meus sinceros agradecimentos.



**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

|       |                                                 |
|-------|-------------------------------------------------|
| ABCP  | Associação Brasileira de Cimento Portland       |
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| CEPED | Centro de Pesquisas e Desenvolvimento           |
| CESP  | Companhia Energética de São Paulo               |
| FEIS  | Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira        |
| LCECC | Laboratório Central de Engenharia Civil da Cesp |
| NBR   | Norma Brasileira                                |
| PCA   | Portland Cement Association                     |



## LISTA DE SIMBOLOS

| Símbolo      | Descrição                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| A            | - Área                                                            |
| a/c          | - Fator água-cimento                                              |
| CON          | - Concreto                                                        |
| CP           | - Corpo de prova                                                  |
| CPT          | - Cone penetration test                                           |
| CS           | - Coeficiente de segurança                                        |
| D            | - Diâmetro das estacas                                            |
| E            | - Módulo de elasticidade                                          |
| $E_i$        | - Módulo de elasticidade secante do SCP aos "j" dias              |
| $E_m$        | - Módulo de elasticidade secante médio                            |
| $E_{40\%}$   | - Módulo de elasticidade secante a 40% da tensão de ruptura       |
| $E_{m,40\%}$ | - Módulo de elasticidade secante médio a 40% da tensão de ruptura |
| $f_{c,j}$    | - Resistência do concreto aos "j" dias                            |
| $f_{c,k}$    | - Resistência característica do concreto                          |
| $f_{sc,j}$   | - Resistência do solo-cimento aos "j" dias                        |
| $f_{u,c}$    | - Resistência por atrito lateral do concreto                      |
| H            | - Hora trabalhada                                                 |
| IP           | - Índice de plasticidade                                          |
| L            | - Comprimento das estacas                                         |
| $L_{CON}$    | - Comprimento das estacas de concreto                             |
| $L_{SCP}$    | - Comprimento das estacas de SCP                                  |
| LL           | - Limite de liquidez                                              |
| LP           | - Limite de plasticidade                                          |
| N            | - Índice de penetração do ensaio SPT                              |
| $N_m$        | - Índice médio de penetração do ensaio SPT                        |
| P            | - Carga                                                           |
| $P_{ADM}$    | - Carga admissível                                                |





|                    |                                                                                |    |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| $P_P$              | - Parcela de carga correspondente à resistência de ponta na ruptura            |    |
| $P_{L,rupt}$       | - Capacidade de carga na ruptura                                               | 18 |
| SCC                | - Solo-cimento compactado                                                      | 18 |
| SCP                | - Solo-cimento plástico                                                        | 19 |
| SPT                | - Standard penetration test                                                    | 26 |
| T                  | - Tempo cronometrado na realização das provas de carga                         | 27 |
| W                  | - Teor de umidade natural do solo                                              | 28 |
| $W_{ot}$           | - Teor de umidade ótima do solo                                                | 28 |
| $\gamma$           | - Peso específico                                                              | 30 |
| $\gamma_{SCP}$     | - Peso específico aparente do SCP                                              | 31 |
| $\gamma_{s,máx}$   | - Peso específico aparente seco máximo do solo obtido no ensaio de compactação | 33 |
| $\rho_s$           | - Massa específica                                                             | 34 |
| $\sigma$           | - Tensão                                                                       | 35 |
| $\sigma_{ADM}$     | - Tensão admissível                                                            | 35 |
| $\sigma_{rup,SCP}$ | - Tensão média de ruptura do SCP                                               | 40 |
| $\sigma_{rup}$     | - Tensão de ruptura                                                            | 41 |
| $\sigma_{R,j}$     | - Tensão de ruptura aos "j" dias                                               | 42 |



## LISTA DE FIGURAS

| Figura | Descrição                                                               | Página |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|--------|
| 3.1    | Campo experimental da FEIS                                              | 18     |
| 3.2    | Perfis de subsolo do campo experimental da FEIS                         | 19     |
| 4.1    | Área de predominância do solo em estudo                                 | 26     |
| 4.2    | Bate estaca                                                             | 28     |
| 4.3    | Confecção dos corpos de prova                                           | 29     |
| 4.4    | Macaco hidráulico                                                       | 32     |
| 4.5    | Conjunto macaco hidráulico                                              | 32     |
| 4.6    | Célula de carga                                                         | 33     |
| 4.7    | Indicador de deformação                                                 | 34     |
| 4.8    | Sistema de referência                                                   | 34     |
| 4.9    | Viga de reação                                                          | 35     |
| 4.10   | Relógios comparadores                                                   | 36     |
| 4.11   | Prensa hidráulica                                                       | 36     |
| 4.12   | Aparelho de módulo                                                      | 37     |
| 4.13   | Slump-Test                                                              | 40     |
| 4.14   | Vista parcial do Campo Experimental da FEIS                             | 41     |
| 4.15   | Esquema de implantação das estacas apiloadas                            | 43     |
| 4.16   | Detalhe das estacas de reação e estacas de compressão                   | 44     |
| 4.17   | Instrumentação nas estacas apiloadas                                    | 45     |
| 4.18   | Extensômetro de haste (tell-talles)                                     | 46     |
| 4.19   | Sistema de transferência de carga                                       | 47     |
| 5.1    | Curva da massa específica x umidade do solo <sup>1</sup>                | 50     |
| 5.2    | Curva limite de liquidez do solo <sup>1</sup>                           | 52     |
| 5.3    | Distribuição granulométrica do solo <sup>1</sup>                        | 52     |
| 5.4    | Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 7 dias de cura  | 54     |
| 5.5    | Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 28 dias de cura | 54     |
| 5.6    | Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 56 dias de cura | 55     |

|      |                                                                          |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.7  | Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 120 dias de cura | 55 |
| 5.8  | Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 180 dias de cura | 56 |
| 5.9  | Evolução da resistência do SCP com aditivo                               | 58 |
| 5.10 | Evolução do módulo de elasticidade secante do SCP com aditivo            | 58 |
| 5.11 | Curva da massa específica x umidade do solo2                             | 59 |
| 5.12 | Curva limite de liquidez do solo2                                        | 60 |
| 5.13 | Distribuição granulométrica do solo2                                     | 61 |
| 5.14 | Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 7 dias de cura   | 62 |
| 5.15 | Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 28 dias de cura  | 63 |
| 5.16 | Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 56 dias de cura  | 63 |
| 5.17 | Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 120 dias de cura | 64 |
| 5.18 | Evolução da resistência do SCP sem aditivo                               | 66 |
| 5.19 | Evolução do módulo de elasticidade secante do SCP sem aditivo            | 66 |
| 5.20 | Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 7 dias de cura          | 67 |
| 5.21 | Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 28 dias de cura         | 68 |
| 5.22 | Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 56 dias de cura         | 68 |
| 5.23 | Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 120 dias de cura        | 69 |
| 5.24 | Evolução da resistência do concreto                                      | 71 |
| 5.25 | Evolução do módulo de elasticidade secante do concreto                   | 71 |
| 5.26 | Carga x recalque da estaca apiloada nº 1 confeccionada em SCP            | 74 |
| 5.27 | Carga x recalque da estaca apiloada nº 2 confeccionada em SCP            | 74 |
| 5.28 | Carga x recalque da estaca apiloada nº 3 confeccionada em SCP            | 75 |



|      |                                                                      |    |
|------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 5.29 | Carga × recalque da estaca apoiada nº 4<br>confeccionada em concreto | 75 |
| 5.30 | Carga × recalque da estaca apoiada nº 5<br>confeccionada em concreto | 76 |
| 5.31 | Carga × recalque da estaca apoiada nº 6<br>confeccionada em concreto | 76 |
| 5.32 | Encurtamento das barras na estaca de SCP<br>apoiada nº 1             | 77 |
| 5.33 | Encurtamento das barras na estaca de SCP<br>apoiada nº 2             | 78 |
| 5.34 | Encurtamento das barras na estaca de SCP<br>apoiada nº 3             | 78 |
| 5.35 | Encurtamento das barras na estaca de concreto<br>apoiada nº 4        | 79 |
| 5.36 | Encurtamento das barras na estaca de concreto<br>apoiada nº 5        | 79 |
| 5.37 | Encurtamento das barras na estaca de concreto<br>apoiada nº 6        | 80 |





## LISTA DE QUADROS

| Quadro | Descrição                                                            | Página |
|--------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 3.1    | Crítérios para a seleção de solos                                    | 11     |
| 3.2    | Teor de cimento indicado para o ensaio de compactação                | 13     |
| 3.3    | Parâmetro médios dos ensaios de penetração                           | 17     |
| 5.1    | Limite de plasticidade do solo1                                      | 51     |
| 5.2    | Limite de liquidez do solo1                                          | 51     |
| 5.3    | Porcentagem granulométrica do solo1                                  | 53     |
| 5.4    | Resultados dos índices físicos do solo1                              | 53     |
| 5.5    | Ruptura dos corpos de prova de SCP com aditivo                       | 57     |
| 5.6    | Módulo de elasticidade secante do corpos de prova de SCP com aditivo | 57     |
| 5.7    | Limite de plasticidade do solo2                                      | 60     |
| 5.8    | Porcentagem granulométrica do solo2                                  | 61     |
| 5.9    | Resultados dos índices físicos do solo2                              | 62     |
| 5.10   | Ruptura dos corpos de prova de SCP sem aditivo 15 cm x 30 cm         | 65     |
| 5.11   | Módulo de elasticidade secante dos CP's de SCP sem aditivo           | 65     |
| 5.12   | Ruptura dos corpos de prova de concreto 15 cm x 30 cm                | 70     |
| 5.13   | Módulo de elasticidade secante dos CP's de concreto                  | 70     |
| 5.14   | Valores obtidos na prova de carga nas estacas apiloadas de concreto  | 72     |
| 5.15   | Valores obtidos na prova de carga nas estacas apiloadas de SCP       | 73     |
| 5.16   | Quantidade de materiais consumidos                                   | 80     |
| 5.17   | Composição de custo unitário das estacas apiloadas                   | 81     |
| 6.1    | Quadro comparativo entre os índices físicos dos solo1 e solo2        | 82     |
| 6.2    | Quadro comparativo entre as granulometrias dos solo1 e solo2         | 83     |



|     |                                                                     |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------|----|
| 6.3 | Tensão e módulo de elasticidade dos corpos de prova SCP com aditivo | 84 |
| 6.4 | Tensão e módulo de elasticidade dos corpos de prova SCP sem aditivo | 84 |
| 6.5 | Carga de ruptura e recalque                                         | 88 |

|      |                                                |     |
|------|------------------------------------------------|-----|
| 1.1  | CP nº1 de SCP com aditivo aos 7 dias de cura   | 101 |
| 1.2  | CP nº2 de SCP com aditivo aos 7 dias de cura   | 102 |
| 1.3  | CP nº3 de SCP com aditivo aos 7 dias de cura   | 103 |
| 1.4  | CP nº4 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura  | 104 |
| 1.5  | CP nº5 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura  | 105 |
| 1.6  | CP nº6 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura  | 106 |
| 1.7  | CP nº7 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura  | 107 |
| 1.8  | CP nº8 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura  | 108 |
| 1.9  | CP nº9 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura  | 109 |
| 1.10 | CP nº10 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 110 |
| 1.11 | CP nº11 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 111 |
| 1.12 | CP nº12 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 112 |
| 1.13 | CP nº13 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 113 |
| 1.14 | CP nº14 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 114 |
| 1.15 | CP nº15 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 115 |
| 1.16 | CP nº16 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 116 |
| 1.17 | CP nº17 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 117 |
| 1.18 | CP nº18 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 118 |
| 1.19 | CP nº19 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 119 |
| 1.20 | CP nº20 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 120 |
| 1.21 | CP nº21 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 121 |
| 1.22 | CP nº22 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura | 122 |

## LISTA DE ANEXOS

| Anexos | Descrição                                                                           | Página |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| I      | Parâmetros dos ensaios de compressão simples nos corpos de prova de SCP com aditivo | 100    |
| I.1    | CP nº2 de SCP com aditivo aos 7 dias de cura                                        | 101    |
| I.2    | CP nº3 de SCP com aditivo aos 7 dias de cura                                        | 102    |
| I.3    | CP nº4 de SCP com aditivo aos 7 dias de cura                                        | 103    |
| I.4    | CP nº6 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura                                       | 104    |
| I.5    | CP nº7 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura                                       | 105    |
| I.6    | CP nº8 de SCP com aditivo aos 21 dias de cura                                       | 106    |
| I.7    | CP nº10 de SCP com aditivo aos 56 dias de cura                                      | 107    |
| I.8    | CP nº11 de SCP com aditivo aos 56 dias de cura                                      | 108    |
| I.9    | CP nº12 de SCP com aditivo aos 56 dias de cura                                      | 109    |
| I.10   | CP nº14 de SCP com aditivo aos 120 dias de cura                                     | 110    |
| I.11   | CP nº15 de SCP com aditivo aos 120 dias de cura                                     | 111    |
| I.12   | CP nº16 de SCP com aditivo aos 120 dias de cura                                     | 112    |
| I.13   | CP nº18 de SCP com aditivo aos 180 dias de cura                                     | 113    |
| I.14   | CP nº19 de SCP com aditivo aos 180 dias de cura                                     | 114    |
| I.15   | CP nº20 de SCP com aditivo aos 180 dias de cura                                     | 115    |
| II     | Parâmetros dos ensaios de compressão simples nos corpos de prova de concreto        |        |
| II.1   | CP nº2 de concreto aos 7 dias de cura                                               | 117    |
| II.2   | CP nº3 de concreto aos 7 dias de cura                                               | 118    |
| II.3   | CP nº4 de concreto aos 7 dias de cura                                               | 119    |
| II.4   | CP nº6 de concreto aos 28 dias de cura                                              | 120    |
| II.5   | CP nº7 de concreto aos 28 dias de cura                                              | 121    |
| II.6   | CP nº8 de concreto aos 28 dias de cura                                              | 122    |





|        |                                                                                    |     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| II.7   | CP nº10 de concreto aos 56 dias de cura                                            | 123 |
| II.8   | CP nº11 de concreto aos 56 dias de cura                                            | 124 |
| II.9   | CP nº12 de concreto aos 56 dias de cura                                            | 125 |
| II.10  | CP nº13 de concreto aos 120 dias de cura                                           | 126 |
| II.11  | CP nº14 de concreto aos 120 dias de cura                                           | 127 |
| II.12  | CP nº15 de concreto aos 120 dias de cura                                           | 128 |
| III    | Parâmetro dos ensaios de compressão simples nos corpos de prova de SCP sem aditivo |     |
| III.1  | CP nº2 de SCP sem aditivo aos 7 dias de cura                                       | 130 |
| III.2  | CP nº3 de SCP sem aditivo aos 7 dias de cura                                       | 131 |
| III.3  | CP nº4 de SCP sem aditivo aos 7 dias de cura                                       | 132 |
| III.4  | CP nº6 de SCP sem aditivo aos 28 dias de cura                                      | 133 |
| III.5  | CP nº7 de SCP sem aditivo aos 28 dias de cura                                      | 134 |
| III.6  | CP nº8 de SCP sem aditivo aos 28 dias de cura                                      | 135 |
| III.7  | CP nº10 de SCP sem aditivo aos 56 dias de cura                                     | 136 |
| III.8  | CP nº11 de SCP sem aditivo aos 56 dias de cura                                     | 137 |
| III.9  | CP nº12 de SCP sem aditivo aos 56 dias de cura                                     | 138 |
| III.10 | CP nº14 de SCP sem aditivo aos 120 dias de cura                                    | 139 |
| III.11 | CP nº15 de SCP sem aditivo aos 120 dias de cura                                    | 140 |
| III.12 | CP nº16 de SCP sem aditivo aos 120 dias de cura                                    | 141 |
| IV     | Valores das leituras obtidas nos relógios comparadores nas provas de carga         |     |
| IV.1   | Estaca apiloada de SCP nº1                                                         | 143 |
| IV.2   | Estaca apiloada de SCP nº2                                                         | 144 |
| IV.3   | Estaca apiloada de SCP nº3                                                         | 145 |
| IV.4   | Estaca apiloada de concreto nº4                                                    | 146 |
| IV.5   | Estaca apiloada de concreto nº5                                                    | 147 |
| IV.6   | Estaca apiloada de concreto nº6                                                    | 148 |
| V      | Cargas, recalques e encurtamento das estacas                                       |     |
| V.1    | Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloada de SCP nº1                     | 150 |





|     |                                                                       |     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| V.2 | Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloadada de SCP nº2      | 151 |
| V.3 | Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloadada de SCP nº3      | 152 |
| V.4 | Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloadada de concreto nº4 | 153 |
| V.5 | Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloadada de concreto nº5 | 154 |
| V.6 | Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloadada de concreto nº6 | 155 |

#### LISTA DE FIGURAS

#### LISTA DE EQUAÇÕES

#### LISTA DE SIGLAS

#### CONTÉÚDO

#### Abstract

#### RESUMO

#### INTRODUÇÃO

#### OBJETIVOS

#### REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Solo-Cimento

#### 3.1.1 Definição e nomenclatura

#### 3.1.2 Aplicação do solo e cimento plástico em fundações

#### 3.1.3 Cálculo para a espessura do solo

#### 3.1.4 Composição do solo-cimento

#### 3.1.5 Determinação da umidade

#### 3.1.6 Durabilidade

#### 3.1.7 Resistência à compressão simples

#### 3.1.8 Carga

#### 3.1.9 Custo do solo-cimento

#### 3.1.10 Campo experimental

#### 3.2 Fundações no litoral do Estado de São Paulo

#### 3.3 Prova de carga em estacas

#### 3.3.1 Prova de carga

#### 4 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

#### 4.1 Materiais

## CONTEÚDO

|        |                                                 |       |
|--------|-------------------------------------------------|-------|
|        | Dedicatória                                     | i     |
|        | Agradecimentos                                  | ii    |
|        | LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS                  | iv    |
|        | LISTA DE SÍMBOLOS                               | v     |
|        | LISTA DE FIGURAS                                | vii   |
|        | LISTA DE QUADROS                                | x     |
|        | LISTA DE ANEXOS                                 | xii   |
|        | CONTEÚDO                                        | xv    |
|        | ABSTRACT                                        | xviii |
|        | RESUMO                                          | xix   |
| 1.     | INTRODUÇÃO                                      | 1     |
| 2.     | OBJETIVOS                                       | 5     |
| 3.     | REVISÃO DE LITERATURA                           | 6     |
| 3.1    | Solo-Cimento                                    | 6     |
| 3.1.1  | Definição e histórico                           | 6     |
| 3.1.2  | Aplicação do solo-cimento plástico em fundações | 8     |
| 3.1.3  | Critérios para a escolha do solo                | 10    |
| 3.1.4  | Dosagem do solo-cimento                         | 11    |
| 3.1.5  | Deformações e elasticidade                      | 13    |
| 3.1.6  | Durabilidade                                    | 14    |
| 3.1.7  | Resistência à compressão simples                | 14    |
| 3.1.8  | Cura                                            | 15    |
| 3.1.9  | Custo do solo-cimento                           | 16    |
| 3.1.10 | Campo experimental                              | 17    |
| 3.2    | Fundações no Interior do Estado de São Paulo    | 20    |
| 3.3    | Provas de carga em estacas                      | 23    |
| 3.3.1  | Provas de carga                                 | 23    |
| 4.     | MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS               | 25    |
| 4.1    | Materiais                                       | 25    |



|         |                                              |    |
|---------|----------------------------------------------|----|
| 4.1.1   | Solo componente do solo-cimento              | 25 |
| 4.1.2   | Execução das estacas                         | 27 |
| 4.1.2.1 | Estacas apiloada de solo-cimento             | 27 |
| 4.1.2.2 | Estacas apiloada de concreto                 | 28 |
| 4.1.2.3 | Estacas de reação                            | 29 |
| 4.1.3   | Confecção e cura dos corpos de prova         | 29 |
| 4.1.4   | Ensaio de ruptura                            | 30 |
| 4.1.5   | Cimento                                      | 30 |
| 4.1.6   | Água                                         | 30 |
| 4.1.7   | Aditivo                                      | 31 |
| 4.1.8   | Aço                                          | 31 |
| 4.2     | Equipamentos                                 | 31 |
| 4.2.1   | Macaco hidráulico                            | 31 |
| 4.2.2   | Célula de carga                              | 33 |
| 4.2.3   | Indicador de deformação                      | 33 |
| 4.2.4   | Sistema de referência                        | 34 |
| 4.2.5   | Viga de reação                               | 35 |
| 4.2.6   | Relógios comparadores                        | 35 |
| 4.2.7   | Prensa hidráulica                            | 36 |
| 4.2.8   | Aparelho de módulo                           | 37 |
| 4.2.9   | Outros equipamentos utilizados               | 37 |
| 4.3     | Métodos                                      | 38 |
| 4.3.1   | Ensaio de laboratório                        | 38 |
| 4.3.2   | Módulo de elasticidade do SCP                | 39 |
| 4.3.3   | <i>Slump-Test</i>                            | 40 |
| 4.3.4   | Prova de carga                               | 40 |
| 4.3.5   | Extensômetro de haste ( <i>tell-talles</i> ) | 46 |
| 4.3.6   | Sistema de transferência da carga            | 47 |
| 4.4     | Dosagem e confecção dos corpos de prova      | 48 |
| 4.4.1   | Corpos de prova de SCP                       | 48 |
| 4.4.2   | Corpos de prova de SCP com adição de areia   | 48 |
| 4.4.3   | Corpos de prova de concreto                  | 49 |
| 5.      | RESULTADOS                                   | 50 |
| 5.1     | Solo1                                        | 50 |





|       |                                                                      |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2   | SCP com aditivo                                                      | 53  |
| 5.2.1 | Tensão x Deformação                                                  | 53  |
| 5.2.2 | Resistência e Módulo de Elasticidade                                 | 56  |
| 5.3   | Solo2                                                                | 59  |
| 5.4   | SCP utilizado nas estacas apiloada                                   | 62  |
| 5.4.1 | Tensão x Deformação                                                  | 62  |
| 5.4.2 | Resistência e Módulo de Elasticidade                                 | 64  |
| 5.5   | Concreto                                                             | 67  |
| 5.5.1 | Tensão x Deformação                                                  | 67  |
| 5.5.2 | Resistência e módulo de elasticidade                                 | 69  |
| 5.6   | Provas de carga                                                      | 72  |
| 5.6.1 | Ensaio em estacas apiloadas de SCP e de concreto                     | 72  |
| 5.6.2 | Encurtamento do material durante a realização das<br>provas de carga | 77  |
| 5.7   | Custo unitário das estacas de SCP e de concreto                      | 80  |
| 6.    | DISCUSSÃO                                                            | 82  |
| 6.1   | Ensaio de laboratórios                                               | 82  |
| 6.2   | Tensão de ruptura e módulo de elasticidade                           | 83  |
| 6.3   | Adição de aditivo superplastificante                                 | 84  |
| 6.4   | Encurtamento                                                         | 84  |
| 6.5   | Transferência de carga para a ponta                                  | 85  |
| 6.6   | Instrumentação                                                       | 85  |
| 6.7   | Uso do isopor                                                        | 86  |
| 6.8   | Estacas de solo-cimento                                              | 87  |
| 6.9   | Capacidade de carga                                                  | 87  |
| 6.10  | Custos                                                               | 90  |
| 7.    | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES                                           | 92  |
| 8.    | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                           | 94  |
|       | ANEXO I                                                              | 100 |
|       | ANEXO II                                                             | 116 |
|       | ANEXO III                                                            | 129 |
|       | ANEXO IV                                                             | 142 |
|       | ANEXO V                                                              | 149 |



## RESUMO

## ABSTRACT

Desenvolvimento de procedimentos para ensaios no Campo Experimental

This work was developed at the Experimental Campus for Studies of Soil Mechanic and Foundations Engineering of Unesp in Ilha Solteira – S.P.. With this work, it will be provided technical subsidies for the extension of the application of soil-cement as foundation elements. Other important information concerning the use of the piles constructed in loco of little diameter, such as the load competence, the cost construction, the constructive techniques, etc. are discussed in this work. Six piles were constructed, three plastic-soil cement and three concret piles. All of them are 20,0 centimeters in diameter and 4,5 meters length. On the six piles were installed devices to check the effect of the interation soil-element of foundation and to determine the deformations along the pile to, this way, get the resistance by lateral friction and the point resistance.



## RESUMO

O trabalho proposto foi desenvolvido no Campo Experimental para Estudos de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações da Unesp em Ilha Solteira-SP. Com a sua realização, será fornecido subsídios técnicos para a ampliação do emprego do solo-cimento em elementos de fundação. Outras informações importantes relativas ao uso de estacas executadas "in loco" de pequeno diâmetro, tais como, capacidade de carga, custos de execução, técnicas construtivas, etc. são discutidas neste trabalho. Foram executadas seis estacas do tipo apiloadas, sendo três em SCP – *Solo Cimento Plástico* e três em concreto. Todas as estacas têm diâmetro de 20 cm e comprimento de 4,5 m. Nas seis estacas foram instalados instrumentos para se verificar o efeito da interação solo-elemento de fundação e determinar as deformações ao longo do fuste para, desta forma, obter-se a resistência por atrito lateral e a resistência de ponta.



## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Campo Experimental da FEIS, local onde se encontram solos com as características dos solos arenosos existentes em mais de 50% da área do Estado de São Paulo. Observa-se, nesta região, que a grande maioria das edificações existentes tem a sua fundação executada em estacas moldadas "in loco", do tipo broca, estacas do tipo "Strauss" ou estacas apiloadas, notadamente em obras de pequeno porte, como residências, comércio e pequenas indústrias.

Nas obras de pequeno e médio porte, onde as ações nas estacas geralmente são da ordem de 40kN a 100kN, salienta-se a possibilidade de se utilizar o solo cimento como material componente em vez de concreto. Trata-se de um material bastante conhecido no meio técnico e que apresenta características técnicas suficientes para o bom desempenho da fundação.





Estudos realizados por Carvalho et al. (1990) e por Segantini (1994) indicam baixo custo de produção para a confecção das estacas do solo-cimento. Contribui para esse barateamento o baixo custo do solo, que nesse caso, é o material empregado em maior quantidade, a minimização das despesas de transporte, os gastos com energia e ainda o aproveitamento de mão-de-obra não qualificada. Tudo isso faz com que o custo de estacas com as mesmas dimensões, produzidas com solo-cimento gire em torno de 30% a 40% do custo de produção das estacas de concreto. Considerando-se que na região citada predominam solos que atendem plenamente aos requisitos necessários à estabilização com cimento, tem-se que, na maioria das vezes, a produção do solo-cimento poderá ser feita com aproveitamento de solos do próprio local, podendo assim ter o custo total de produção das estacas de solo-cimento inferior aos índices mencionados.

A concretização deste trabalho consistiu das seguintes atividades:

- estudo em laboratório dos solos utilizados; solo tipo A4 e solo tipo A4 com adição de areia;
- estudo em laboratório das características de resistência e elasticidade do SCP com adição de 2% de aditivo superplastificante;



- estudo em laboratório das características de resistência e elasticidade do concreto e do SCP utilizado na confecção das estacas apiloadas;
- realização de prova de carga em estacas apiloadas confeccionadas em concreto e em SCP.

Para diferenciar os solos utilizados, chamamos de solo1 (solo A4) o solo utilizado nos CP's de SCP iniciais, e de solo2 (solo A4 misturado com areia grossa lavada na proporção de 6:2) o solo utilizado nas estacas de SCP.

Inicialmente foram realizados ensaios de laboratórios para caracterização do solo1 e ensaios de compressão simples de corpos de prova cilíndricos de SCP, com dimensões 15cm x 30cm, tendo em vista a verificação de seu comportamento, em termos de resistência e durabilidade ao longo do tempo. No total foram confeccionados 20 corpos de prova de solo-cimento empregando-se 14% de cimento, 27% de umidade em relação à massa de solo e 2% de aditivo superplastificante em relação à massa de cimento. A dosagem utilizada é igual a que Segantini (2000) utilizou em seu trabalho, diferenciando-se apenas no emprego do aditivo superplastificante. Os ensaios de compressão simples foram realizados aos 7, 28, 56, 120 e 180 dias de cura.



Durante a confecção das estacas apiloadas, foram moldados mais 32 corpos de prova cilíndricos de 15 cm x 30 cm, sendo 16 corpos de prova de SCP e 16 corpos de prova de concreto. Utilizou-se, para o SCP, o traço 1:8 (cimento, solo<sup>2</sup>), para o concreto, 1:3:3 (cimento, areia e brita). Os ensaios de compressão simples foram realizados aos 7, 28, 56 e 120 dias, sendo este último na data coincidente com a da primeira prova de carga.

Os resultados obtidos nos ensaios das estacas apiloadas de concreto e de SCP, foram analisados e comparados com outros já ensaiados, de estacas apiloadas executadas com comprimento de 6,0 m, apresentado por Segantini (2000).



## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é verificar a capacidade de carga de estacas moldadas "in loco", do tipo apiloada, confeccionadas em SCP e em concreto com comprimento de 4,5 m e diâmetro de 20 cm. A verificação da capacidade de carga foi feita através da realização de provas de carga rápida. Objetiva-se ainda analisar os resultados destes ensaios com os já obtidos para estaca apiloada de comprimento 6,0 m, ensaiadas por Segantini (2000), incluindo-se também, análise de custo de execução para todas as estacas em estudo.

Pretende-se, ainda, realizar ensaios de laboratório para verificar o comportamento do material SCP ao longo do tempo, em termos de resistência à compressão simples e deformabilidade.





### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 Solo – Cimento**

##### **3.1.1 Definição e histórico**

O solo-cimento é o produto endurecido resultante da mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo.

As especificações para execução de camadas de solo-cimento apresentam os cuidados especiais a serem obedecidos para garantia de que seja obtido um produto acabado resistente e durável. Muitos desses requisitos são genéricos e aplicam-se a qualquer caso; três deles, entretanto, dependem estreitamente das características do solo com que se está trabalhando: a quantidade de cimento, a quantidade de água, a massa



específica aparente seca a ser alcançada pós compactação (ABCP, 1986).

O solo-cimento é classificado em duas categorias: SCC – solo cimento compactado; e SCP – solo-cimento plástico. No caso do SCC a água deve ser adicionada em quantidade suficiente, de modo a possibilitar a máxima compactação e a ocorrência das reações de hidratação do cimento. Para o caso do SCP a água deve ser adicionada até que se obtenha um produto de consistência plástica, de aspecto similar ao de uma argamassa de emboço.

De acordo com Freire (1976), a utilização do solo-cimento como agente estabilizador de solos teve início nos EUA em 1916, quando foi empregado para solucionar problemas causados pelo tráfego de veículos de rodas não pneumáticas. Desde então, o solo-cimento teve grande aceitação, passando a ser utilizado na construção e pavimentação de estradas de rodagem e vias urbanas, construção de aeroportos e acostamentos, revestimento de barragens de terra e canais de irrigação, fabricação de tijolos, pavimentação de pátios industriais e de áreas destinadas ao estacionamento de veículos, construção de silos aéreos e subterrâneos, construção de casas e pavimentação de estábulos.



A ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, através de publicações de boletim técnico, apresenta algumas outras aplicações do solo-cimento:

- Aplicações de solo-cimento em pequenas áreas urbanas, 1986
- Construção de paredes monolíticas com solo-cimento compactado, 1985
- Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com a utilização de prensas hidráulicas, 1985
- Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais, 1985
- Paredes monolíticas de solo-cimento Hospital Adriano Jorge, 1984
- Quadras esportivas de solo-cimento execução manual, 1985
- Solo-cimento na habitação popular, 1987

### **3.1.2 Aplicação do solo-cimento plástico em fundações**

Carvalho et al. (1990) estudaram o comportamento do solo-cimento plástico para uso em fundações, os resultados mostraram que, quanto ao aspecto de resistência, o uso do solo-cimento plástico conduz a uma solução mais econômica para fundações de obras de pequeno porte. Necessitando-se porém





estudos complementares de durabilidade além de outros, tais como interação solo- estrutura de fundação.

De acordo com Segantini e Carvalho (1994) o solo-cimento é um material de grande potencialidade para ser aplicado em fundações para obras de pequeno porte. Em obras onde as ações são da ordem de 40 kN a 100 kN por estaca, verificou-se que em vez de concreto, existe a possibilidade de se utilizar o solo-cimento como material componente.

Segantini e Carvalho (1996) apresentam resultados de 16 provas de carga realizadas no Campo Experimental da Feis-Unesp, sendo dez realizadas em estacas de solo-cimento e seis em estacas de concreto. Em duas estacas os ensaios foram realizados com inundação da estaca, observando-se mais de 50% de redução da capacidade de carga. Foram ensaiadas estacas com comprimento de 6,0 m e diâmetros de 20 cm e 25 cm.

Em termos de trabalhabilidade, o SCC não apresenta a viabilidade requerida para ser aplicado em estacas, demonstrando haver excessivo consumo de tempo e mão-de-obra em sua aplicação. Sendo a moldagem das estacas em SCP mais rápida e econômico uma vez que ela é feita simplesmente através





do lançamento do material dentro do furo, sem qualquer tipo de compactação ou adensamento, de maneira semelhante ao lançamento do concreto, contudo, é também possível efetuar o adensamento com emprego de vibradores de imersão.

### 3.1.3 Critério para escolha do solo

As propriedades mecânicas dos solos, de maneira geral, apresentam melhorias quando esse são misturados com cimento e submetidos a processos de compactação. Existem, porém, limitações ao uso de determinados solos, geralmente vinculados à trabalhabilidade e ao consumo de cimento. Os limites de consistência, LL – limite de liquidez e LP – limite de plasticidade, são as variáveis que melhor expressam as condições de trabalhabilidade. Existe consenso de que, para ser viável tecnicamente, o solo deve apresentar LL entre 45% e 50% (CEPED, 1984). Quanto a granulometria, os solos arenosos são considerados os mais adequados. A existência de grãos de areia grossa e pedregulhos é benéfica, pois são materiais inertes e têm apenas a função de enchimentos. Os solos devem ter, um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento é devida à coesão da fração fina compactada. Apresenta-se, através do Quadro 3.1, as faixas granulométricas consideradas ideais.



**Quadro 3.1 – Critérios para a seleção de solos**

| Autores       | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Silte + argila (%) | LL (%) |
|---------------|-----------|-----------|------------|--------------------|--------|
| CINVA (1963)  | 45-80     | -         | -          | 20-25              | -      |
| ICPA (1973)   | 60-80     | 10-20     | 5-10       | -                  | -      |
| Merril (1949) | >50       | -         | -          | -                  | -      |
| MAC (1975)    | 40-70     | <30       | 20-30      | -                  | -      |
| CEPED (1984)  | 45-90     | -         | <20        | 10-55              | 45-50  |
| PCA (1969)    | 65        | -         | -          | 10-35              | -      |

Fonte: Segantini (1994)

De acordo com Silveira (1996), os solos arenosos e pedregulhosos, com cerca de 10% a 35% da fração silte e argila, são considerados os mais favoráveis para a estabilização com cimento. Os solos arenosos deficientes em finos são também considerados materiais de boa qualidade, havendo apenas maior dificuldade para a compactação e o acabamento.

#### 3. 1. 4 Dosagem do solo-cimento

Os critérios para dosagem do solo-cimento, em sua maioria, foram elaborados tendo em vista a sua aplicação como elemento de base para pavimentos rodoviários e aeroportuários. A dosagem deve ser feita em função das características do solo, do teor de umidade e da densidade a ser obtida no processo de compactação (CEPED, 1986).



Segundo ABCP (1986), a dosagem do solo-cimento é feita através de ensaios de laboratório, seguida da interpretação dos resultados por meio de critérios preestabelecidos. O resultado final consiste na fixação de três variáveis: quantidade de cimento, quantidade de água e massa específica aparente seca máxima. As duas últimas, entretanto, sofrem pequenas oscilações, dadas as variações de campo que ocorrem nas características do solo. Assim, essas variáveis passaram a ser tomadas apenas como elemento de controle e, com isso, o objetivo da dosagem passou a ser somente a fixação da quantidade adequada de cimento.

A PCA dispõe de uma norma simplificada de dosagem de solo-cimento, a qual pode ser resumida nas seguintes operações:

- ensaios preliminares do solo;
- ensaio de compactação do solo-cimento;
- determinação da resistência à compressão simples aos sete dias; e
- comparação entre a resistência média obtida aos sete dias e a resistência admissível para o solo-cimento produzido com o solo em estudo.





Apresenta-se, através do Quadro 3.2, os teores de cimento recomendados para o ensaio de compactação pela ABCP (1986).

**Quadro 3.2. Teor de cimento para o ensaio de compactação**

| Classificação<br>H.R.B. | Teor de cimento<br>(%) |
|-------------------------|------------------------|
| A1-a                    | 5                      |
| A1-b                    | 6                      |
| A2                      | 7                      |
| A3                      | 8                      |
| A4                      | 10                     |
| A5                      | 10                     |
| A6                      | 12                     |
| A7                      | 13                     |

Fonte: ABCP (1986)

### 3.1.5 Deformações e elasticidade

A deformação é um fenômeno fundamental da engenharia. Pode ocorrer em todos os materiais e é causada pela atuação de cargas de compressão, de tração ou de outras influências externas ou por seu próprio peso. As deformações variam em magnitude, dependendo das propriedades dos materiais e das cargas envolvidas.

A elasticidade é o fenômeno do aparecimento de deformações imediatas e reversíveis. As deformações imediatas são aquelas



que aparecem simultaneamente com as tensões correspondentes e permanecem constantes ao longo do tempo. As deformações reversíveis são aquelas que se anulam ao se anularem as tensões correspondentes, ou seja, aquelas que desaparecem integralmente no descarregamento (Fernandes, 1992).

### 3.1.6 Durabilidade

A durabilidade do solo-cimento é em função da ligação estabelecida entre as partículas do solo pela hidratação do cimento, tendo Arman e Saifan (1967) verificado que esse fenômeno depende ainda da forma e tamanho das partículas. Partículas de silte arredondadas e uniformes, originárias de depósitos fluviais, produzem um solo-cimento de pequena durabilidade e baixa resistência.

### 3.1.7 Resistência à compressão simples

Segantini (1994), utilizando um solo A4, realizou ensaios de compressão simples em corpos de prova de SCP, sendo confeccionados corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm, os quais foram moldados no campo, no momento da sua aplicação, seguindo-se as recomendações da NBR-5738 (Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou



prismáticos de concreto). Os ensaios de compressão simples mostraram que o material apresenta resistência suficiente para ser aplicado em elementos de fundação, principalmente em estacas moldadas "in loco" em que, a favor da segurança, conta-se ainda com o efeito do confinamento provocado pelo solo. O valor médio obtido da resistência foi de 3,95 MPa. O autor acrescenta que houve ganho de resistência em função do tempo de cura.

Silva (1994) realizou ensaios de compressão simples em corpos de prova de SCP e ensaios de abatimento no cone de Abrams. Os corpos de prova foram confeccionados em moldes cilíndricos de diâmetro igual a 15 cm e altura de 30 cm. A moldagem se deu em quatro camadas, com aplicação de 25 golpes em cada camada. Os resultados obtidos mostraram valores de resistência maiores para as misturas com abatimentos menores no cone de Abrams, o que mostra que o SCP, assim como o concreto, têm a sua resistência diminuída com o aumento do fator água/cimento.

### 3.1.8 Cura

De acordo com Levy e Helene (1996), a cura é um conjunto de operações ou procedimentos adotados para se evitar a evaporação da água de amassamento e hidratação do cimento presente nas regiões superficiais do material. A cura, em condi-



ções adequadas, tem como objetivo: impedir a perda da água de hidratação do cimento, controlar a temperatura do material, até que se alcance o nível de resistência desejado, e suprir água extra para as reações de hidratação.

### 3.1.9 Custo

Carvalho et al. (1990) avaliaram o custo de SCP para uso em estacas e tubulões, concluindo que o metro cúbico do material, produzido com solo arenoso com teor de cimento a 14%, representa 32,6% do custo do concreto feito em obra.

Através do uso do SCP, em vez de concreto, Segantini (1999) afirma ser possível reduzir o custo de execução de estacas escavadas, de diâmetro igual a 25 cm, em cerca de 35%. Para estacas com diâmetro 32 cm a redução pode ser da ordem de 40%. A análise em questão foi feita através da comparação do uso de SCP com teor de umidade a 27% e teor de cimento a 14%, e concreto com resistência característica igual a 13,5 MPa, ambos produzidos com betoneira em condições semelhantes à de um canteiro de obras.

Fonte: Segantini (2000)





### 3.1.10 Campo experimental

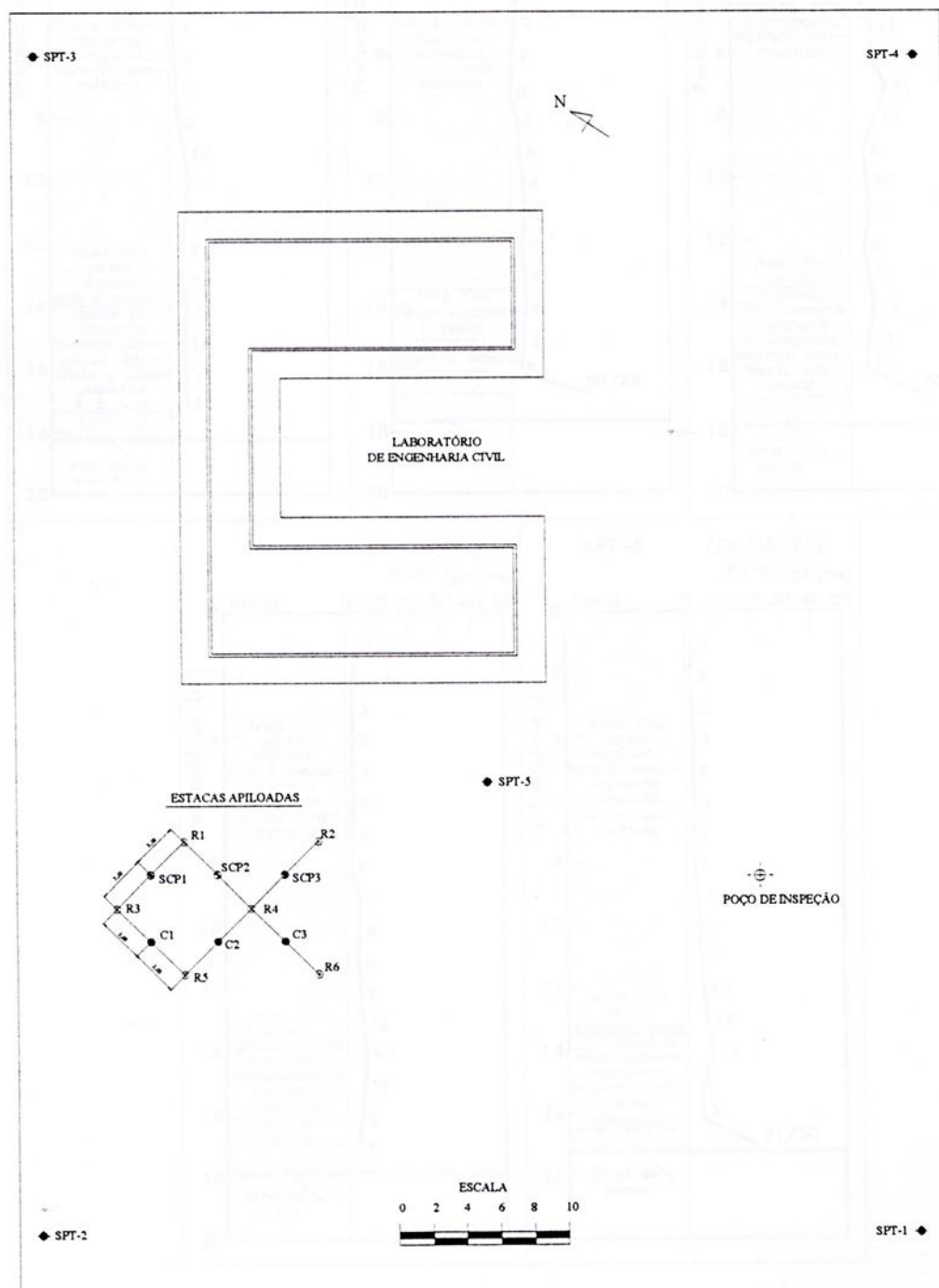
O campo experimental da FEIS foi implantado ao lado do prédio do Laboratório de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira. Local este, onde já foram realizados vários ensaios de provas de carga em estacas profundas, incluindo os do trabalho de Segantini (2000). Segantini em seu trabalho realizou ensaios de SPT no campo experimental. Apresenta-se, através do Quadro 3.3, os valores médios obtidos nos ensaios SPT.

**Quadro 3.3 Parâmetros médios dos ensaios de penetração**

| Profundidade<br>(m) | N  | T<br>(N.m) | T/N<br>(N.m) | $q_c$<br>(MPa) | $f_c$<br>(kPa) | $f_{st}$<br>(kPa) |
|---------------------|----|------------|--------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1                   | 6  | 32         | 5            | 4,7            | 60,7           | 17,6              |
| 2                   | 2  | 22         | 11           | 1,7            | 40,1           | 12,2              |
| 3                   | 2  | 13         | 7            | 1,9            | 40,6           | 6,8               |
| 4                   | 3  | 19         | 6            | 2,9            | 47,7           | 10,2              |
| 5                   | 4  | 31         | 8            | 3,4            | 66,3           | 16,8              |
| 6                   | 5  | 29         | 6            | 3,5            | 85,7           | 16,0              |
| 7                   | 6  | 31         | 5            | 4,5            | 99,6           | 16,8              |
| 8                   | 6  | 32         | 5            | 4,8            | 119,4          | 17,6              |
| 9                   | 7  | 45         | 6            | 4,8            | 114,0          | 24,6              |
| 10                  | 9  | 67         | 7            | 6,0            | 165,2          | 36,3              |
| 11                  | 9  | 78         | 9            | 6,8            | 228,4          | 42,6              |
| 12                  | 9  | 67         | 7            | 6,9            | 285,1          | 36,3              |
| 13                  | 10 | 82         | 8            | 6,7            | 314,5          | 44,5              |
| 14                  | 12 | 90         | 8            | 6,7            | 291,9          | 49,0              |
| 15                  | 10 | 54         | 5            | 6,9            | 269,1          | 29,2              |
| 16                  | 10 | 63         | 6            | 7,0            | 261,4          | 34,2              |

Fonte: Segantini (2000)

Mostra-se através da Figura 3.1, a posição ocupada pelas sondagens executadas, e através da Figura 3.2, os perfis do subsolo obtidos nos ensaios de SPT.



**Figura 3.1 – Campo experimental da FEIS**

Fig. 3.2 Perfis de subsolo do campo experimental da FEIS.  
(Fonte: Segantini, 2000)

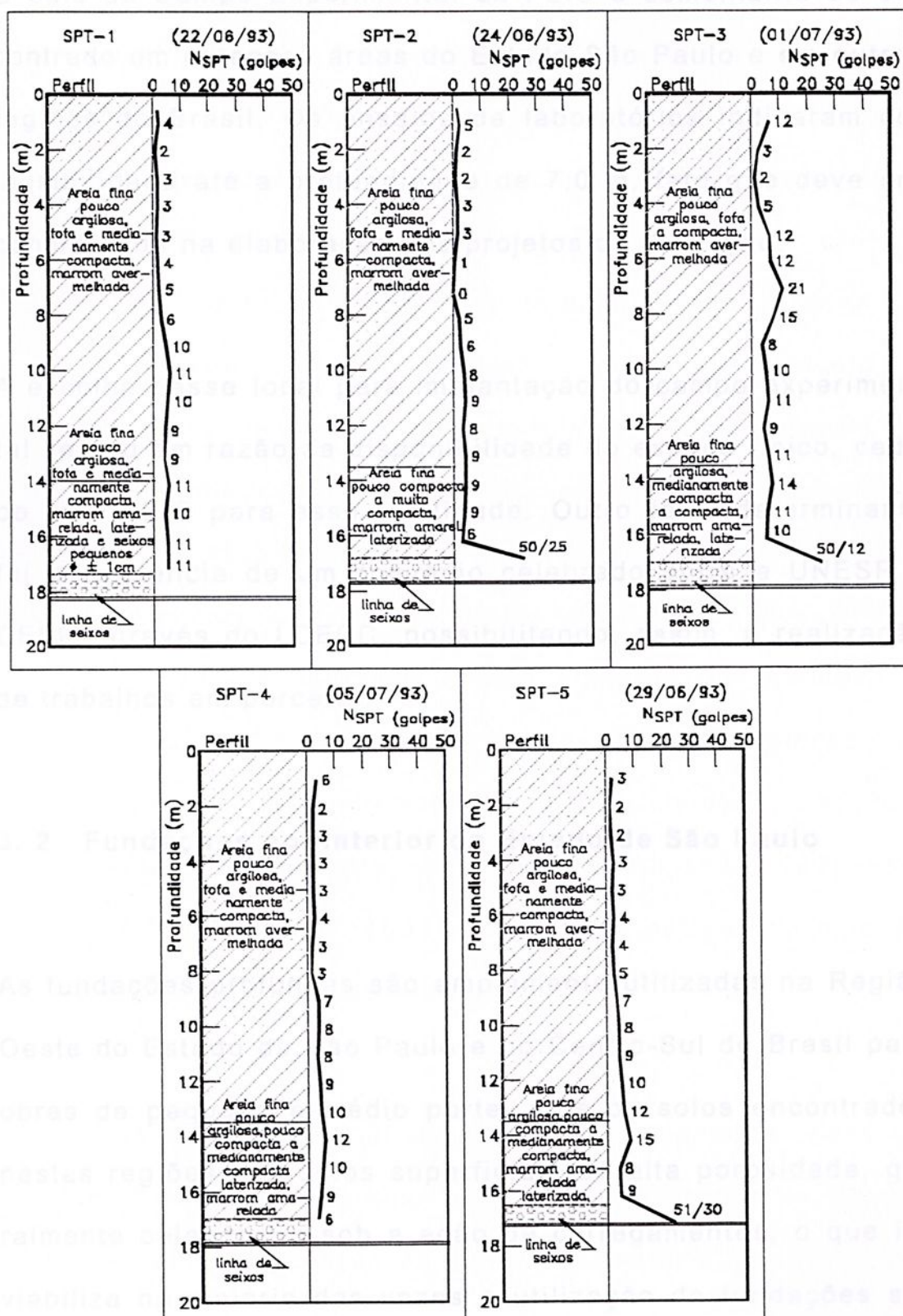


Fig. 3.2 Perfis de subsolo do campo experimental da FEIS-  
Fonte : Segantini (2000)



O solo do Campo Experimental da FEIS é semelhante ao encontrado em extensas áreas do Estado São Paulo e em outras regiões do Brasil. Os ensaios de laboratórios indicaram colapsibilidade até a profundidade de 7,0 m, fato que deve ser considerado na elaboração dos projetos de fundação.

A escolha desse local para implantação do campo experimental se deu em razão da disponibilidade do espaço físico, cedido pela FEIS para essa finalidade. Outro fator determinante foi a existência de um convênio celebrado entre a UNESP e CESP, através do LCECC, possibilitando, assim, a realização de trabalhos em parceria.

### **3. 2 Fundações no Interior do Estado de São Paulo**

As fundações profundas são amplamente utilizadas na Região Oeste do Estado de São Paulo e no Centro-Sul do Brasil para obras de pequeno e médio porte, pois os solos encontrados nestas regiões são solos superficiais de alta porosidade, geralmente colapsíveis sob a ação de carregamentos, o que inviabiliza na maioria das vezes a utilização de fundações superficiais. As fundações em estacas moldadas "in loco" são utilizadas com bastante frequência, sendo as estacas do tipo broca, "Strauss" e apiloadas as mais utilizadas.



O solo existente no local de estudo, é semelhante ao solo de aproximadamente 50% da área do Estado de São Paulo. Trata-se de solo arenoso, de baixa resistência, alta porosidade e baixo grau de saturação. O nível do lençol freático encontra-se geralmente abaixo de 10,0 metros. Até 6,0 metros, profundidade geralmente utilizada para estacas do tipo brocas de pequeno diâmetro, escavadas manual ou mecanicamente, o valor do índice de resistência à penetração da sondagem de simples reconhecimento (SPT) apresenta valores médios de  $N=3$ , umidade com valores médios de  $w=15\%$  e massa específica do solo com valores médios de  $\gamma=1,6 \text{ g/cm}^3$ . A partir de 6,0 metros de profundidade ocorre aumento da resistência, sendo que de 6,0 metros a 12,0 metros é comum valores médios de resistência à penetração com  $N=7$ , umidade,  $w=17\%$  e massa específica dos solos,  $\gamma=1,8 \text{ g/cm}^3$ . Menezes (1990), Ferreira (1991) e Giacheti (1993) apresentam outras informações e características relativas a desse solos.

De acordo com Albiero et al. (1993), praticamente todos os tipos de fundações tem sido utilizadas no interior do Estado de São Paulo. Para obras de maior porte são utilizados tubulão a céu aberto, estacas do tipo Franki, estacas pré-moldadas de concreto e estacas metálicas. Há casos de obras em que se rebaixam o lençol freático para possibilitar o uso



de tubulões a céu aberto. Para obras de pequeno e médio porte tem-se utilizado tubulão a céu aberto, estacas pré-moldadas, estacas escavadas e estacas apiloadas. O autor afirma que as estacas mais utilizadas para obras de pequeno porte são as do tipo "strauss", apiloadas e as brocas manuais ou mecânicas, de pequeno diâmetro e pequena profundidade.

Carvalho et al. (1997) apresentam resultados de 30 provas de carga realizadas em estacas de pequeno e médio porte implantadas em solos arenosos de alta porosidade, colapsíveis, comuns ao Estado de São Paulo, Centro Sul do Brasil e Sul da América Latina. Quatro das estacas analisadas foram instrumentadas em profundidade objetivando-se a verificação de seu mecanismo de transferência de carga ao subsolo. São apresentadas definições e características de estacas escavadas, como cargas admissíveis, emprego de fórmulas empíricas para a determinação da capacidade de carga. São também propostos valores a se utilizar em estacas curtas.

Encontra-se na literatura diversas fórmulas teóricas e empíricas para se determinar o valor da carga de ruptura dessas estacas. No Brasil são bastante utilizadas as fórmulas de Aoki e Veloso (1975) e Decourt e Quaresma (1978).





### 3.3 Provas de carga em estacas

#### 3.3.1 Provas de carga

A NBR – 12131 (Estaca – Prova de carga) prescreve o método de prova de carga em estacas, que fornece elementos para avaliar seu comportamento carga x deslocamento e estimar suas características de capacidade de carga.

A prova de carga consiste basicamente, em aplicar esforços estáticos crescentes à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais de tração ou compressão, ou transversais.

Esta norma se aplica a todos os tipos de estacas, verticais ou inclinadas, independente do processo de execução e de instalação no terreno, inclusive a tubulões, que a elas se assemelham.

Na execução da prova de carga, a estaca é carregada até a ruptura ou, ao menos até duas vezes o valor previsto para sua carga de trabalho. O ensaio pode ser realizado:

- com carregamento lento;



- com carregamento rápido.

As deformações correspondentes a estes dois tipos de ensaios podem ser diferentes e sua interpretação deve considerar o tipo de carregamento empregado.

## MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizou-se o ensaio com carregamento rápido, seguindo as seguintes prescrições:

- a) o carregamento é feito em estágio iguais e sucessivos, observando-se que:
  - a carga aplicada em cada estágio não deve ser superior a 10% da carga de trabalho prevista para a estaca ensaiada;
  - em cada estágio a carga deve ser mantida durante 5 min., independente da estabilização dos deslocamento;
- b) em cada estágio os deslocamento são lidos obrigatoriamente no início e no final do estágio;
- c) atingida a carga máxima do ensaio, o descarregamento deve ser feito em quatro estágios, cada um mantido por 5 min., com leitura dos respectivos deslocamentos;
- d) após 10 min. do descarregamento total, deve ser feita uma leitura final.



## 4. MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÉTODOS

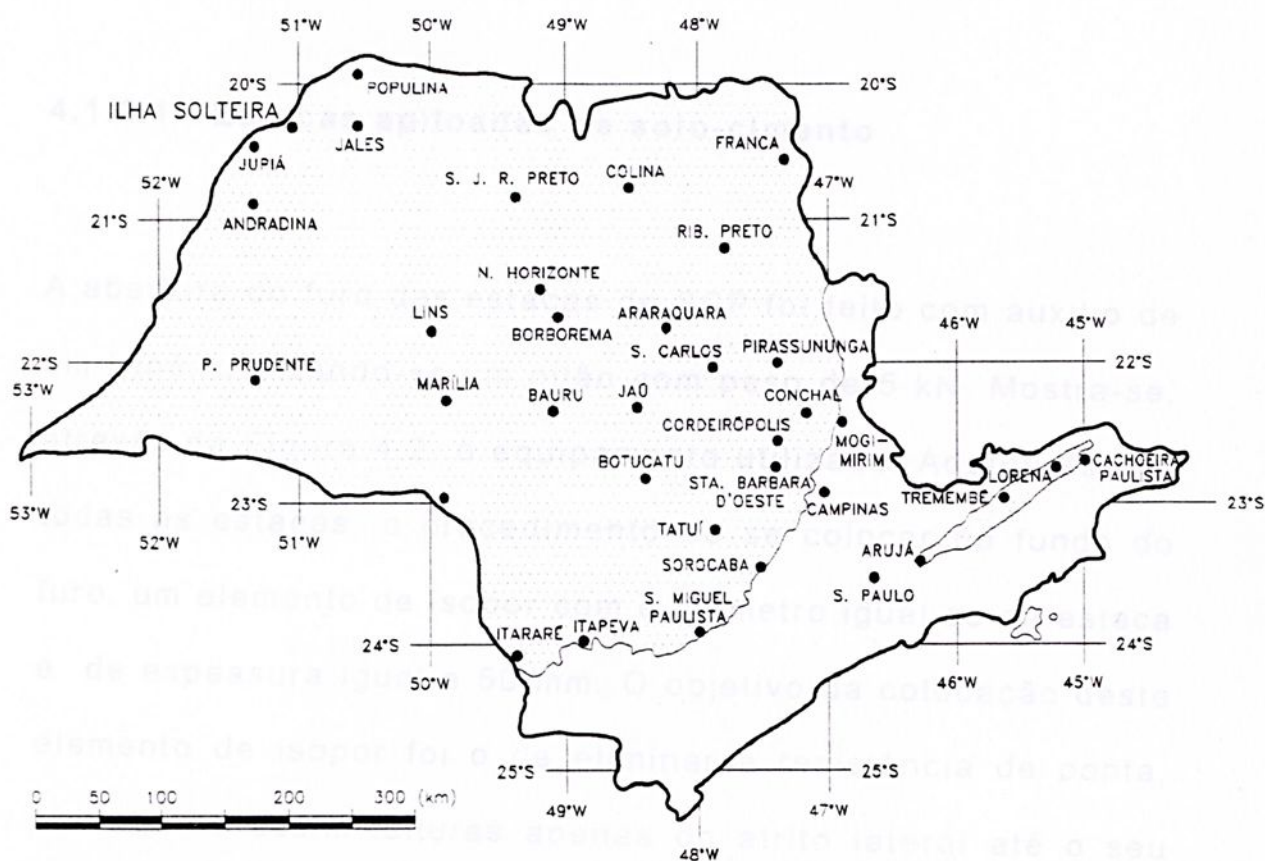
Para a realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais, equipamentos e métodos:

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Solo componente do solo-cimento

O solo utilizado como material componente do SCP, foi coletado no km 48 da rodovia dos Barrageiros, Ilha Solteira. Trata-se de um solo A-4, facilmente encontrado na região Oeste do Estado de São Paulo, sendo também representativo de diversas outras regiões do Centro Sul do Brasil. Mostra-se, através da Figura 4.1, a área onde se tem ocorrência predominante desse tipo de solo no Estado de São Paulo.





**Figura 4.1 – Área de predominância do solo em estudo.**

Fonte Giacchetti et al. (1993)

No solo utilizado como componente para a confecção das estacas de solo-cimento, foi adicionada areia grossa lavada, na proporção, 6 de solo para 2 de areia (solo2). Esta adição de areia teve como objetivo tentar melhorar o material em termos de deformabilidade e ao mesmo tempo aumentar o módulo de elasticidade e a resistência à compressão.

## 4.1.2 Execução das estacas

### 4.1.2.3 Estacas apiloadas de concreto

#### 4.1.2.1 Estacas apiloadas de solo-cimento

##### Utilização para a abertura dos furos para as estacas de SCP

A abertura do furo das estacas de SCP foi feito com auxílio de um tripé, utilizando-se um pilão com peso de 5 kN. Mostra-se, através da Figura 4.2, o equipamento utilizado. Adotou-se, em todas as estacas, o procedimento de se colocar no fundo do furo, um elemento de isopor com o diâmetro igual as da estaca e de espessura igual a 50 mm. O objetivo da colocação deste elemento de isopor foi o de eliminar a resistência de ponta, obtendo-se assim leituras apenas do atrito lateral até o seu esmagamento total.

Na execução das três estacas de SCP, utilizou-se o traço 1:8 em volume. Foram utilizados nas estacas de SCP, cimento e o solo2.



Figure 4.2 - Equipamento utilizado

#### 4.1.2.2 Estacas de reação

##### 4.1.2.2 Estacas apiloadas de concreto

Para montar o sistema de reação, utilizou-se estacas de con-

Utilizou-se para a abertura dos furos para as estacas de concreto o mesmo tripé com pilão de 5 kN de peso, para a confecção destas estacas. O concreto foi batido em betoneira no traço 1:3:3. Foram utilizados no concreto, cimento, areia grossa lavada e cascalho 01.



**Figura 4.2 - Bate estaca**

**Figura 4.3 - Confecção dos corpos de prova**



#### 4.1.2.3 Estacas de reação

Para compor o sistema de reação, utilizou-se estacas de concreto com diâmetro de 25,0 cm e comprimento de 6,0 m. Estas estacas foram executadas em 1996, quando da realização de outras pesquisas no Campo Experimental da FEIS.

#### 4.1.3 Confeção e cura dos corpos de prova

Os corpos de prova, foram moldados com dimensões de 15 cm x 30 cm . Mostra-se, através da Figura 4.3, a confecção de alguns corpos de prova. A mistura dos materiais componentes se deu em betoneira e a cura dos corpos de prova foi feita na câmara úmida do Laboratório de Engenharia Civil da FEIS, permanecendo neste local até a realização da ruptura.



**Figura 4.3 - Confeção dos corpos de prova**

#### 4.1.4. Ensaios de ruptura

A ruptura dos corpos de prova com aditivo foi realizada no laboratório da CESP – Ilha Solteira aos 7, 28, 56, 120 e 180 dias, para verificar o comportamento do material do SCP ao longo do tempo, em termos de resistência à compressão simples e deformabilidade. A ruptura dos corpos de prova coletados durante a execução das estacas, foi realizada aos 7, 28, 56 e 120 dias.

#### 4.1.5 Cimento

O cimento utilizado foi o CP11 – F 32, da marca Itaú.

#### 4.1.6 Água

A água para confecção do solo-cimento e do concreto foi coletada da rede pública de abastecimento da cidade de Ilha Solteira - S.P.



#### 4.1.7 Aditivo

O aditivo utilizado foi o aditivo superplastificante redutor de água para concreto, "Rheobuild" 1203 da marca "Master Builders Technologies".

#### 4.1.8 Aço

Figura 4.4 – Macaco hidráulico

As estacas de reação e as armaduras de espera foram preparadas com aço CA-50B. Utilizou-se tirantes "Dywidag" de rosca contínua e diâmetro de 32 mm, porcas, placas e luvas, todos fabricados com aço especial ST-85/105.

### 4.2 Equipamentos

#### 4.2.1 Macaco hidráulico

Os carregamentos, durante as provas de cargas, foram feitos através de um macaco hidráulico, de êmbolo vazado, com capacidade de 1000 kN. Mostra-se, através da Figura 4.4, o macaco hidráulico utilizado.

Figura 4.5 – Conjunto macaco hidráulico, célula de carga e rótula





**Figura 4.4 – Macaco hidráulico**

Mostra-se, através da Figura 4.5, o conjunto macaco hidráulico, célula de carga e rótula.



**Figura 4.5 – Conjunto macaco hidráulico, célula de carga e rótula**

#### 4.2.2 Célula de carga

Foram utilizadas células de carga com capacidade de 500 kN previamente calibradas, para o monitoramento dos carregamentos, tanto nos ensaios das estacas de concreto, como para os de solo-cimento. O controle da aplicação do carregamento foi efetuado por intermédio de um indicador digital de deformação, conectado à célula de carga. Mostra-se, através da Figura 4.6, a célula de carga.



**Figura 4.6 – Célula de carga**

#### 4.2.3 Indicador de deformação

O indicador de deformação, do tipo analógico para o controle da aplicação dos carregamentos é da marca Sensortec. Com a sua utilização, foi possível controlar e manter constante a pressão exercida pelo macaco hidráulico no decorrer dos estágios de carregamento. Mostra-se, através da Figura 4.7, o indicador de deformação.



**Figura 4.7 – Indicador de deformação**

#### **4.2.4 Sistema de referência**

Para compor o sistema de referência para apoio dos extensômetros, foram utilizados perfis metálicos em “I”, apoiadas sobre blocos de concreto. Mostra-se, através da Fig. 4.8, o sistema de referência.



**Figura 4.8 – Sistema de referência**



#### 4.2.5 Viga de reação

A viga de reação utilizada constitui-se de perfil em "I" duplo, de 6 m de comprimento e peso de 15 kN, com capacidade de carga de 500 kN. Mostra-se, através da Figura 4.9, a viga de reação.



**Figura 4.9 – Viga de reação**

#### 4.2.6 Relógios comparadores

Foram utilizados relógios comparadores analógicos com cursos de 50 mm e 100 mm ambos com precisão de 0,01 mm da marca Mitutoyo. Mostra-se, através da Fig. 4.10, estes relógios comparadores.



**Figura 4.10 – Relógios comparadores**

#### **4.2.7 Prensa hidráulica**

O rompimento dos corpos de prova cilíndricos de SCP e de concreto foram realizados na prensa hidráulica de marca AMSLER, com capacidade de 1000 kN e sensibilidade de 1 kN, dotada de outras duas escalas de menor capacidade, uma de 200 kN e sensibilidade de 200 N e outra de 500 kN e sensibilidade de 500 kN, pertencente ao laboratório da CESP – Ilha Solteira. Mostra-se através da Figura 4.11, a prensa hidráulica



**Figura 4.11 – Prensa hidráulica**

#### 4.2.8 Aparelho de módulo

O aparelho de módulo utilizado é de fabricação da LCECC, dotado de dois relógios comparadores com sensibilidade de 0,001 mm, para leituras das deformações radiais e axiais dos corpos de prova quando da aplicação dos carregamentos. Mostra-se, através da Figura 4.12, o aparelho de módulo.



**Figura 4.12 – Aparelho de módulo**

#### 4.2.9 Outros equipamentos utilizados

- ♦ equipamentos utilizados nos ensaios de laboratórios:
- “proctor”, para os ensaios de compactação e moldagem dos corpos de prova;
- aparelho de cinzel de Casa Grande, para os ensaios de consistência;



- peneirador automático, dispersador e densímetro nos ensaios de granulometria;
- equipamentos auxiliares: balanças analíticas e digitais, estufas, moldes para a confecção de corpos de prova cilíndricos, cápsulas de alumínio, cápsulas de porcelana, termômetros, talhador, picnômetros, provetas graduadas, cronômetros, etc..

### 4.3 Métodos

#### 4.3.1 Ensaios de laboratórios

Os ensaios de laboratórios, para a identificação e caracterização dos solos, foram realizados de acordo com as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A seguir os ensaios e as normas utilizadas.

- determinação da massa específica dos grãos de solo (NBR 6508);
- determinação do limite de liquidez dos solos (NBR 6459);
- determinação do limite de plasticidade dos solos (NBR 7180);
- análise granulométrica dos solos (NBR 7181);
- compactação dos solos (NBR 7182).



#### 4.3.2 Módulo de elasticidade do SCP

De acordo com Santos (1983), existem três possibilidades para a definição do módulo de elasticidade: *módulo tangente*, obtido através da derivada à curva tensão x deformação; *módulo secante*, obtido através de uma reta, passando pela origem, secante à curva tensão x deformação; e *módulo tangente na origem*, obtido através de uma reta, passando pela origem, tangente à curva tensão x deformação. Será utilizado neste trabalho o módulo secante a 40% da tensão de ruptura.

A determinação do módulo de elasticidade é obtido através da ruptura por compressão simples dos corpos de prova cilíndricos. O módulo de elasticidade longitudinal é determinado através das leituras efetuadas com auxílio do aparelho de módulo, após a aplicação de cada carregamento. Foram realizados ensaios aos 7 dias, 28 dias, 56 dias, 120 dias e 180 dias para os corpos de prova de SCP com adição do aditivo e aos 7 dias, 28 dias, 56 dias e 120 dias para os corpos de prova de concreto e SCP, material das estacas apiloadas. No ensaio de compressão simples, antes de se atingir a carga de ruptura, foram realizados dois ciclos de carregamento e descarregamento. Em cada um desses ciclos, foi aplicado carregamento máximo equivalente a 40% da carga prevista de ruptura. A realização desses ensaios possibilitou o monitoramento da





evolução do módulo de elasticidade e da resistência à compressão simples ao longo do tempo.

#### 4.3.3 “Slump – Test”

Foram realizados ensaios para se determinar a variação do “slump” em função do teor de umidade e suas implicações na resistência do SCP. Mostra-se, através da Figura 4.13, o ensaio do “Slump-Test”.



Figura 4.13 – “Slump-Test”

#### 4.3.4 Provas de carga

As provas de carga foram realizadas no Campo Experimental da FEIS - UNESP em Ilha Solteira - SP. Mostra-se, através da



Figura 4.14, uma vista parcial do Campo Experimental da FEIS.



**Figura 4.14 – Vista parcial do Campo Experimental da FEIS**

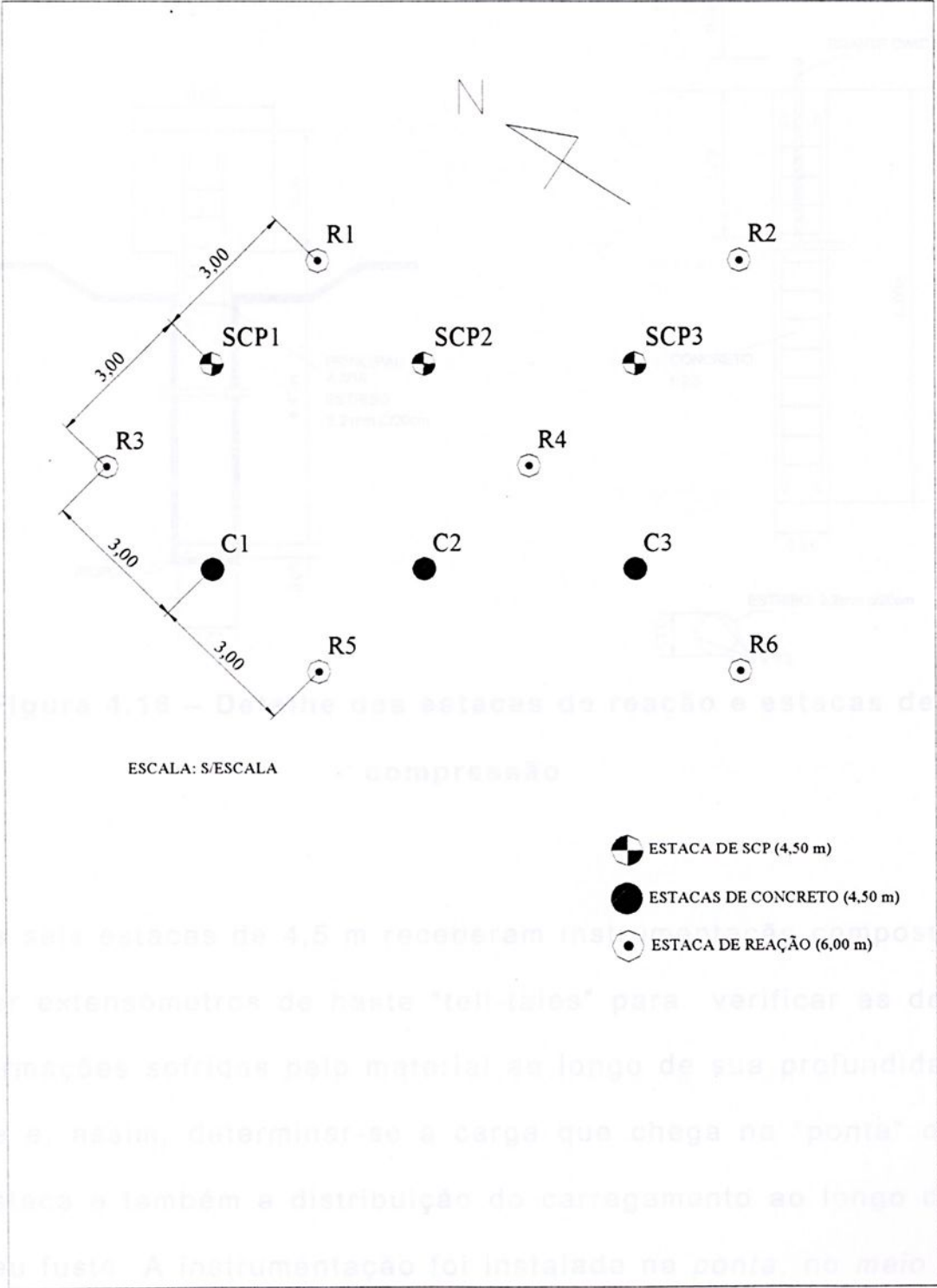
Foram realizadas provas de carga, através de ensaio rápido, seguindo-se as recomendações da NBR 6122 – “Estaca - Provas de Carga: Método de ensaio”.

Os traços utilizados neste trabalho são o mesmo utilizado por Segantini (2000), sendo o traço 1:8 na execução das estacas apiloadas de solo-cimento, com 27% de umidade. As estacas de concreto foram executadas com concreto no traço 1:3:3, o qual é empregado em elementos de fundação. Tanto o concreto como o SCP foram homogeneizados em betoneira. Foram confeccionados 16 corpos de prova de SCP e 16 corpos de prova de concreto na data da confecção das estacas, os mes-

mos ficaram na câmara úmida e posteriormente ensaiadas para se determinar a resistência à compressão simples aos 7, 28, 56 e 120 dias de cura. Esses ensaios foram realizados com objetivo apenas de se efetuar o controle tecnológico.

As provas de carga foram realizadas através da aplicação de cargas correspondentes a  $1/20$  da carga prevista para a ruptura das estacas, em estágio de carregamento com duração de 5 minutos. Os ensaios foram realizados em conformidade com a NBR 6122, da ABNT, que trata dos métodos de ensaio para a realização de provas de carga em estacas.

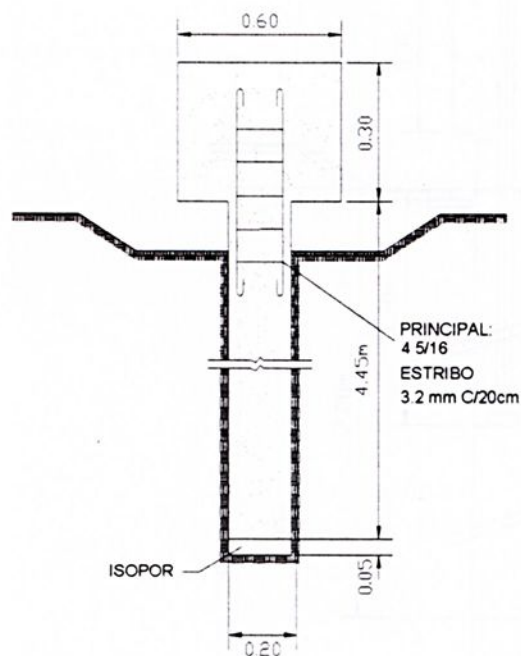
Ao todo foram confeccionadas 6 estacas do tipo apiloada para teste, sendo, três em SCP e três em concreto, todas com 4,5 m de comprimento e 20 cm de diâmetro. Foram utilizadas estacas de reação existentes no campo experimental da FEIS - UNESP Ilha Solteira, sendo as estacas de reação utilizadas, todas com 6,0 m de comprimento, com armadura composta por 4 ferros de 10 mm, com estribos de 4,2 mm a cada 20 cm, além de 01 tirante "Dywidag" de 32 mm. Mostra-se, através da Figura 4.15, o esquema de implantação das estacas utilizado no Campo Experimental. E através da Figura 4.16, mostra-se o detalhe das estacas de reação e das estacas de compressão.



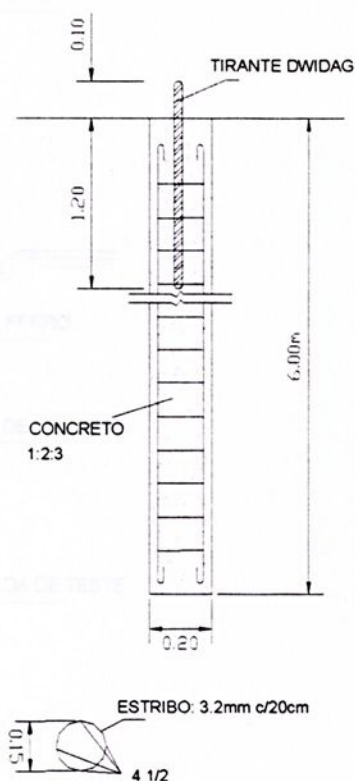
**Figura 4.15 – Esquema de implantação das estacas apiloadas**



DETALHE DAS ESTACAS DE COMPRESSÃO

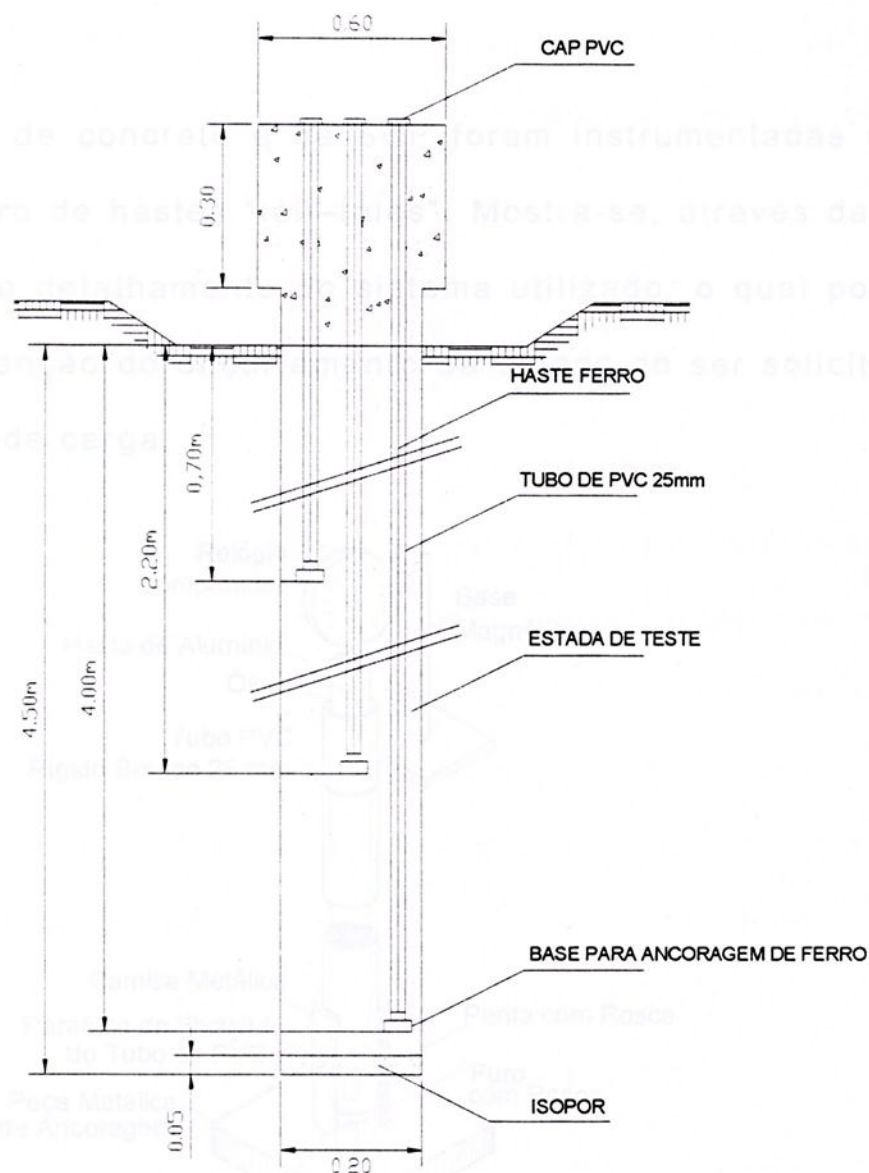


DETALHE DAS ESTACAS DE REAÇÃO



**Figura 4.16 – Detalhe das estacas de reação e estacas de compressão**

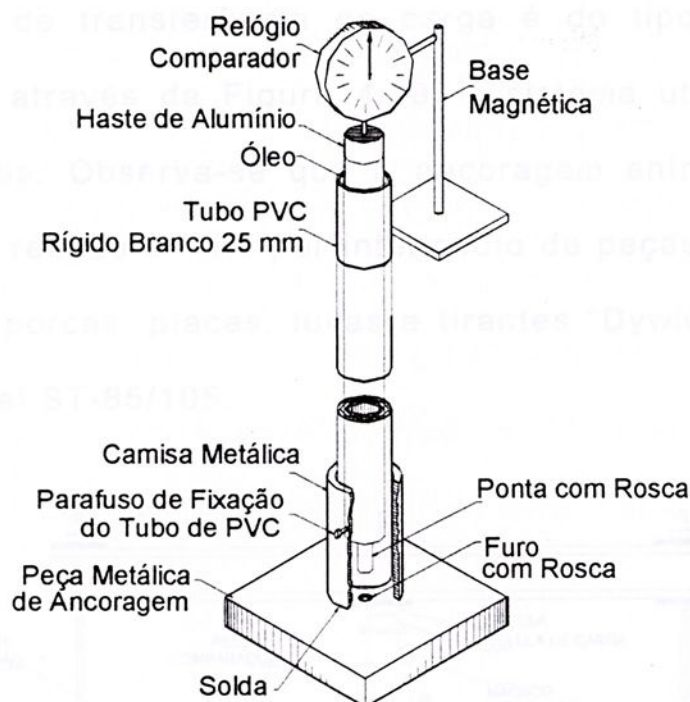
As seis estacas de 4,5 m receberam instrumentação composta por extensômetros de haste "tell-tales" para verificar as deformações sofridas pelo material ao longo de sua profundidade e, assim, determinar-se a carga que chega na "ponta" da estaca e também a distribuição do carregamento ao longo do seu fuste. A instrumentação foi instalada na *ponta*, no *meio* e na *cabeça* das estacas. Mostra-se, através da Figura 4.17, a instrumentação nas estacas apiloadas.



**Figura 4.17 - Instrumentação nas estacas apiloadas**

#### 4.3.5 Extensômetro de haste ("tell-tales")

As estacas de concreto e de SCP foram instrumentadas com extensômetro de hastes "tell-tales". Mostra-se, através da Figura 4.18, o detalhamento do sistema utilizado, o qual possibilita a obtenção do encurtamento da estaca ao ser solicitada nas provas de carga.



**Figura 4.18 – Extensômetro de haste "tell-tales"**

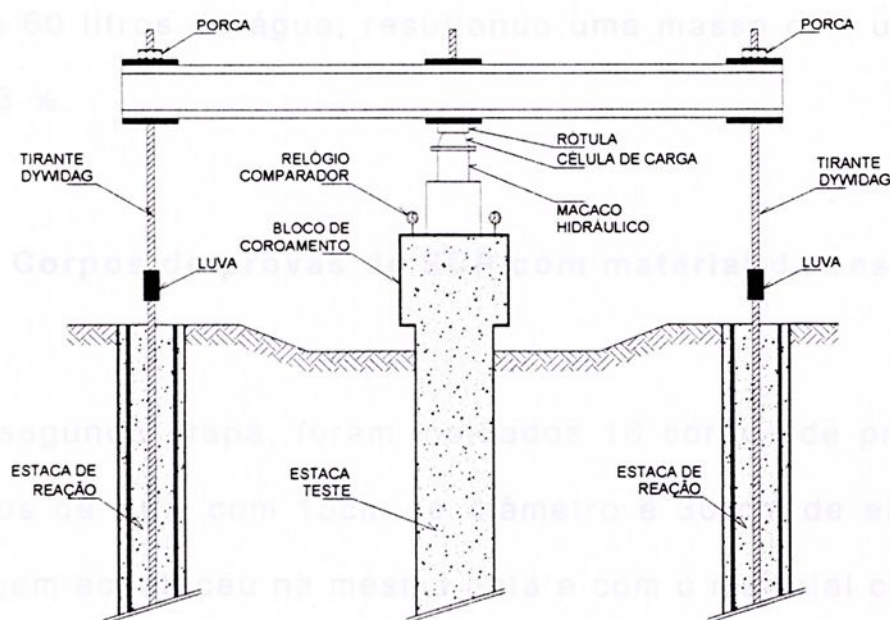
O sistema utilizado emprega uma haste metálica ancorada em profundidade, através de sua fixação em uma base inserida na massa do elemento de fundação. A proteção física da haste é feita com auxílio de um tubo de PVC rígido. O encurtamento do elemento estrutural, durante as provas de carga, foi obtido



através de relógios comparadores instalados na ponta das hastes. Utilizou-se como referência para as leituras o próprio bloco de transição, onde as bases magnéticas ficaram apoiadas.

#### 4.3.6 Sistema de transferência da carga

O sistema de transferência de carga é do tipo ação-reação. Mostra-se, através da Figura 4.19, o sistema utilizado e seus componentes. Observa-se que a ancoragem entre a viga e as estacas de reação é feita por intermédio de peças especiais, incluindo-se porcas, placas, luvas e tirantes "Dywidag", todos em aço especial ST-85/105.



4.19 - Sistema de transferência de carga

#### **4.4 Dosagem e confecção dos corpos de prova**

##### **4.4.1 Corpos de prova de SCP com aditivo superplastificante**

Numa primeira etapa, visando verificar a influência da adição de aditivo superplastificante, foram moldadas 20 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm de SCP, seguindo-se as recomendações da NBR-5738 (moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos). Foram utilizados, 210 kg de solo, classificação A-4, com umidade natural próximo de 5 %, 29,5 kg (14 % em relação ao peso do solo) de cimento CP II – F 32 da marca Itaú, 590 g (2% em relação ao peso do cimento) de aditivo superplastificante da marca “Masterbuilding” e 60 litros de água, resultando uma massa com umidade de 28,3 %.

##### **4.4.2 Corpos de provas de SCP com material das estacas**

Numa segunda etapa, foram moldados 16 corpos de prova cilíndricos de SCP com 15cm de diâmetro e 30 cm de altura. A moldagem aconteceu na mesma data e com o material coletado durante a confecção das estacas de SCP, no Campo Experimental da FEIS – UNESP de Ilha Solteira, seguindo-se as re-



comendações da NBR-5738 (Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos). Foram utilizados, solo2 e cimento CP11-F32 da marca Itaú. O traço utilizado para o SCP foi 1:8

#### 4.4.3 Corpos de prova de concreto

Os 16 corpos de prova cilíndricos de concreto com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura foram moldadas na data da confecção das estacas de concreto, no Campo Experimental de Engenharia Civil da FEIS – Ilha Solteira, seguindo-se as recomendações da NBR-5738, foi utilizado o traço 1:3:3. Seguiu-se a dosagem utilizada por Segantini (2000).



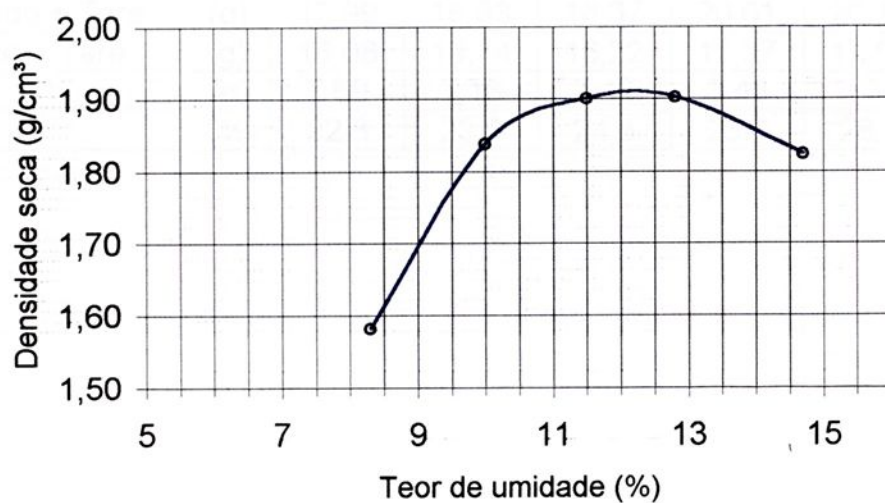
Figura 5.1 - Curva de massa específica x umidade do solo



## 5. Resultados

### 5.1 Solo1

Os resultados apresentados neste item são a do solo1, utilizado para a confecção dos 20 corpos de prova de SCP com a adição de aditivo. Mostra-se, através da Figura 5.1 a curva da variação da massa específica seca em função da umidade, onde se obtém  $\gamma_{s,m\acute{a}x}=1,92 \text{ g/cm}^3$  e  $w_{ot}=12,3 \%$ .



**Figura 5.1 - Curva da massa específica x umidade do solo1**

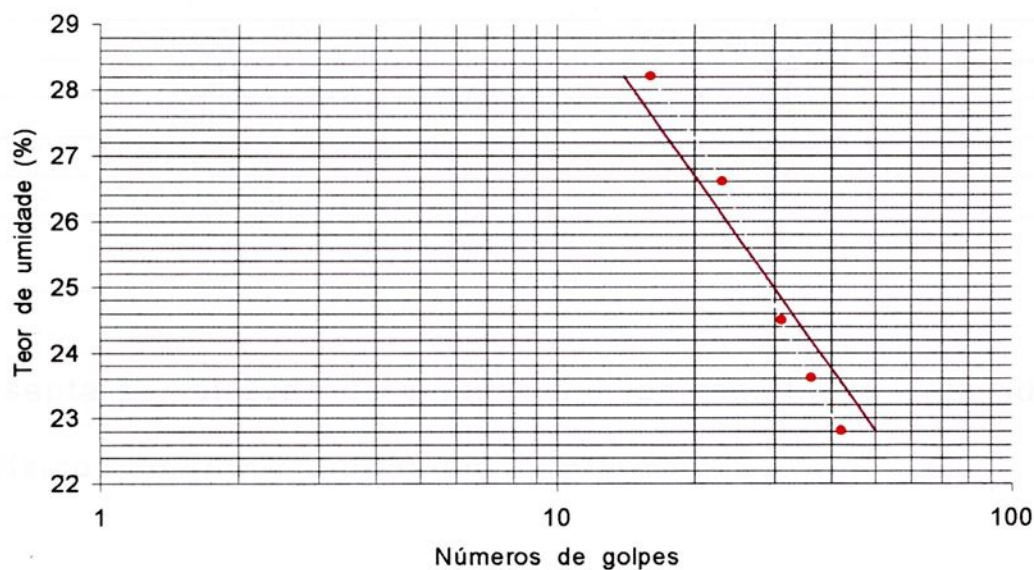
Apresenta-se, através dos Quadro 5.1 e Quadro 5.2, os valores obtidos para o cálculo do limite de plasticidade e os dados para a obtenção da curva do limite de liquidez respectivamente. Mostra-se, através da Figura 5.2, a curva do limite de liquidez.

**Quadro 5.1 - Limite de plasticidade do solo1**

|                            |  |      |      |      |      |      |
|----------------------------|--|------|------|------|------|------|
| Capsula                    |  | 411  | 412  | 415  | 417  | 405  |
| Peso úmido + Tara (g)      |  | 8,52 | 9,19 | 8,47 | 8,60 | 9,28 |
| Peso seco + Tara (g)       |  | 8,28 | 8,95 | 8,28 | 8,42 | 9,00 |
| Tara (g)                   |  | 6,94 | 7,55 | 7,22 | 7,37 | 7,43 |
| Umidade (%)                |  | 17,9 | 17,1 | 17,9 | 17,1 | 17,8 |
| Limite de plasticidade (%) |  | 17,5 |      |      |      |      |

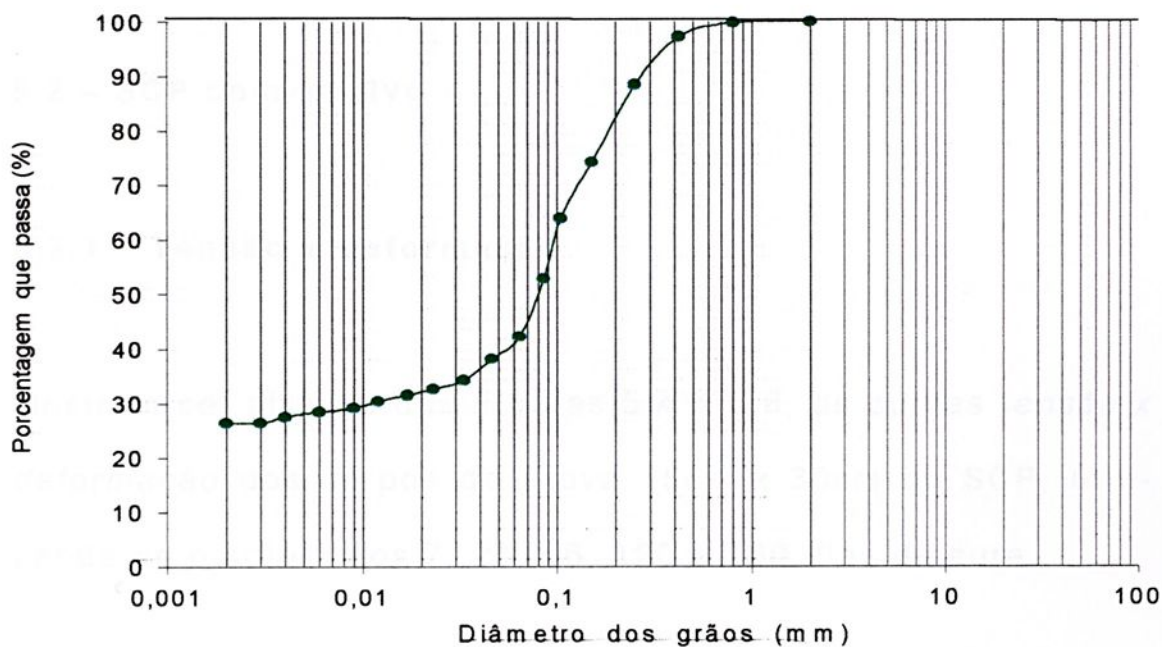
**Quadro 5.2 - Limite de liquidez do solo1**

|                       |  |       |       |       |       |       |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| Capsula               |  | 409   | 420   | 427   | 428   | 430   |
| Golpes                |  | 42    | 36    | 31    | 23    | 15    |
| Peso úmido + Tara (g) |  | 17,99 | 16,53 | 18,37 | 20,01 | 20,38 |
| Peso seco + Tara (g)  |  | 16,08 | 14,74 | 16,22 | 17,37 | 17,50 |
| Tara (g)              |  | 7,69  | 7,16  | 7,46  | 7,43  | 7,30  |
| Umidade (%)           |  | 22,8  | 23,6  | 24,5  | 26,6  | 28,2  |



**Figura 5.2 - Curva limite de liquidez do solo1**

Através da Figura 5.3, mostra-se o gráfico da distribuição granulométrica e através do Quadro 5.3, as porcentagens de distribuição granulométricas obtidas.



**Figura 5.3 - Distribuição granulométrica do solo1**



**Quadro 5.3 - Porcentagem de distribuição granulométrica do solo1**

| Fração       | Porcentagem (%) |
|--------------|-----------------|
| Argila       | 27              |
| Silte        | 11              |
| Areia fina   | 61,9            |
| Areia grossa | 0,1             |

Apresenta-se, através do Quadro 5.4, os resultados dos índices físicos do solo1 obtidos em laboratório.

**Quadro 5.4 - Resultados dos Índices físicos do solo1**

| Índices físicos   |                        |
|-------------------|------------------------|
| $\gamma_{s,máx.}$ | 19,3 kN/m <sup>3</sup> |
| $\rho_s$          | 2,75 g/cm <sup>3</sup> |
| LL                | 25,9 %                 |
| LP                | 17,5 %                 |
| IP                | 8,4 %                  |
| $W_{ot}$          | 12,3 %                 |

## 5.2 – SCP com aditivo

### 5.2.1 – Tensão x Deformação

Mostram-se, através das Figuras 5.4 a 5.8, as curvas *tensão x deformação* dos corpos de prova 15cm x 30cm de SCP, utilizando-se o solo1 aos 7, 21, 56, 120 e 180 dias de cura.

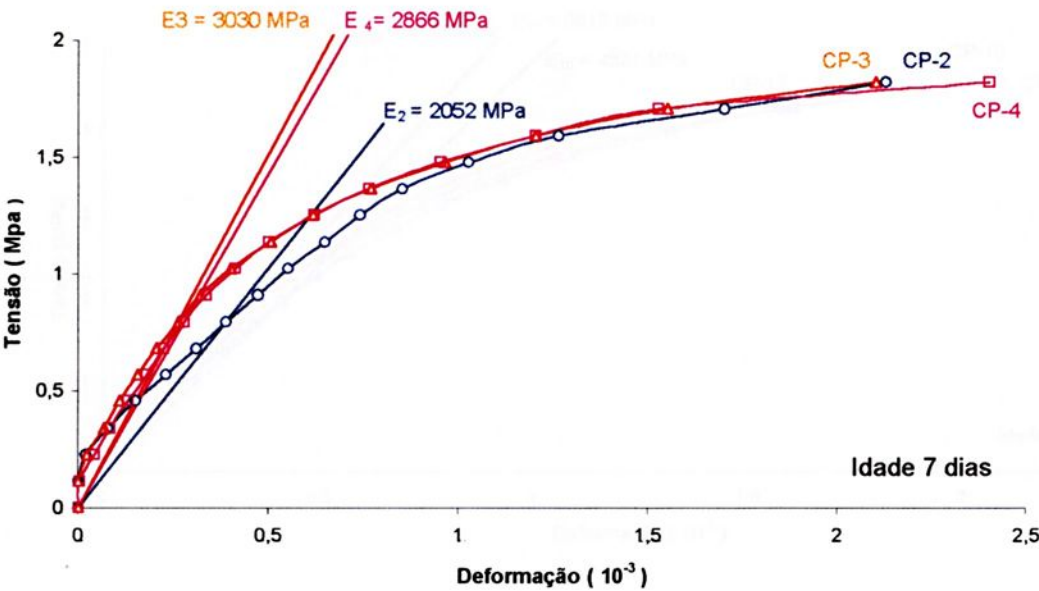


Figura 5.4 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 7 dias de cura

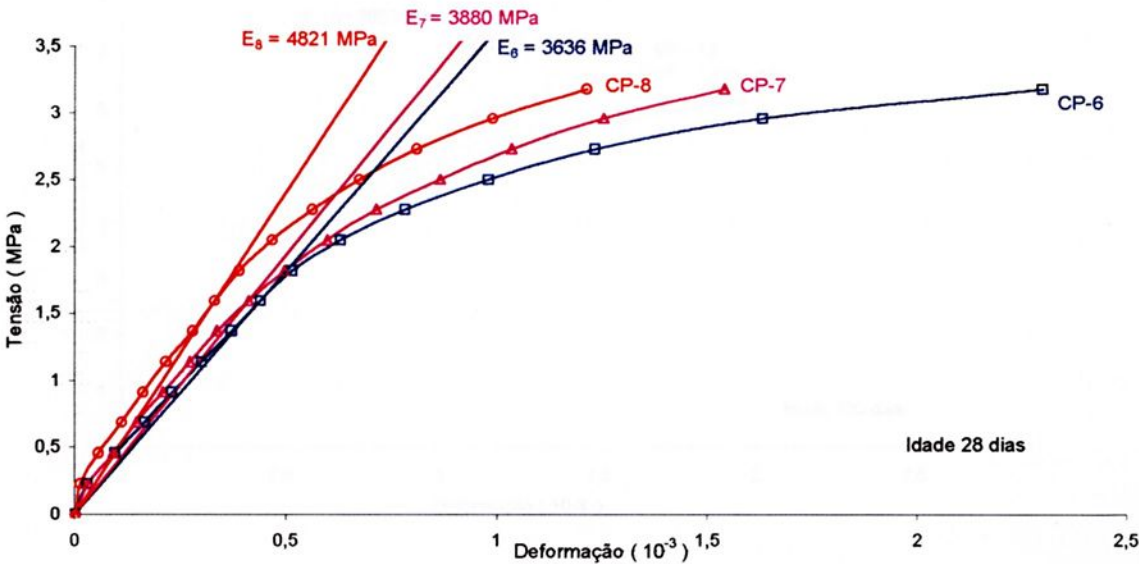
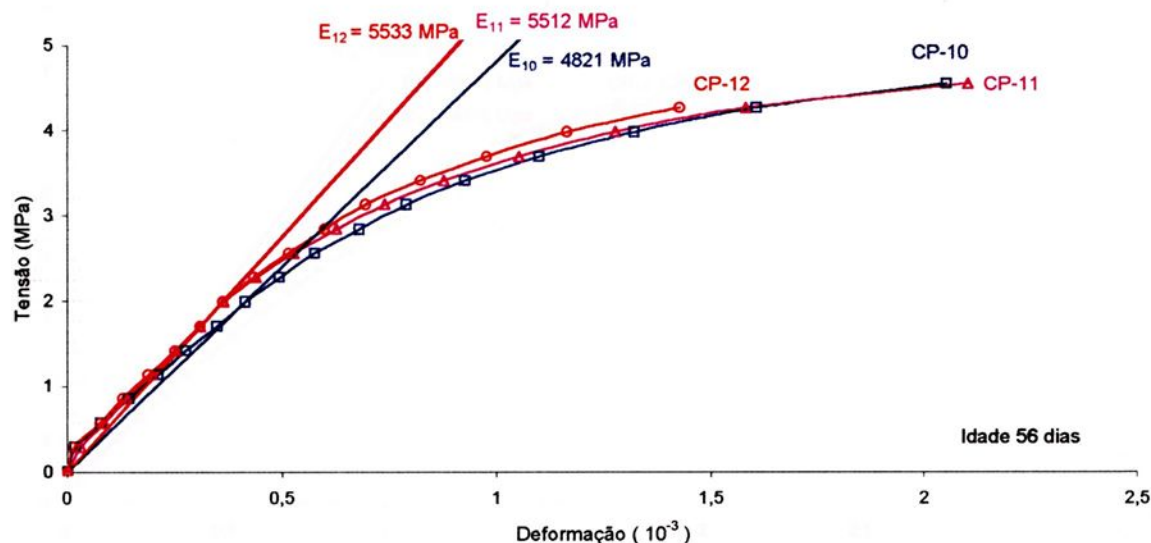
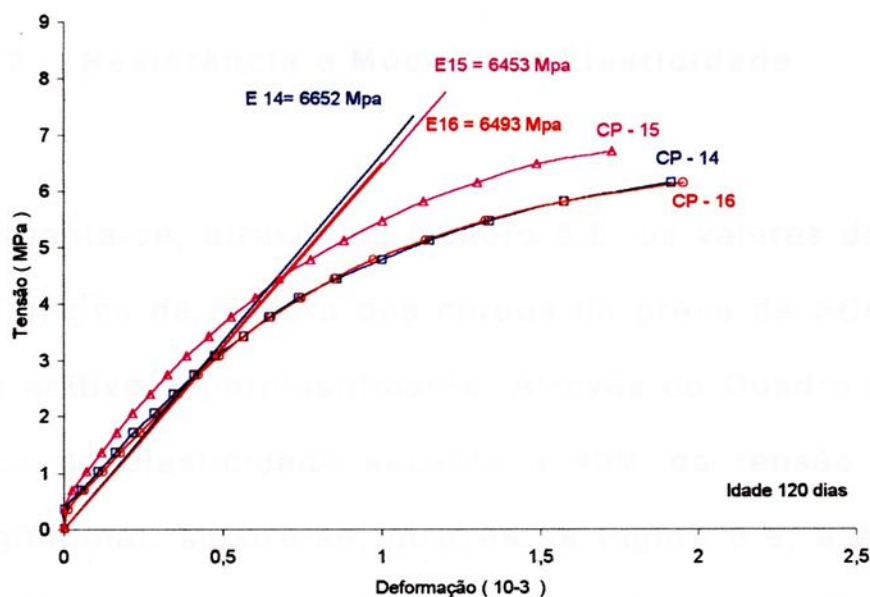


Figura 5.5 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 28 dias de cura

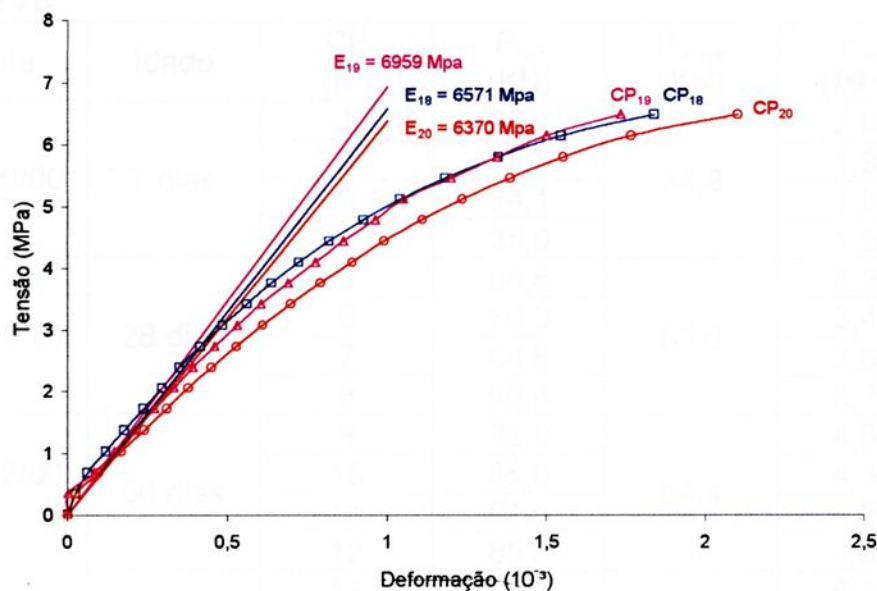


**Figura 5.6 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 56 dias de cura**



**Figura 5.7 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 120 dias de cura**





**Figura 5.8 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP com aditivo aos 180 dias de cura**

### 5.2.2 Resistência e Módulo de Elasticidade

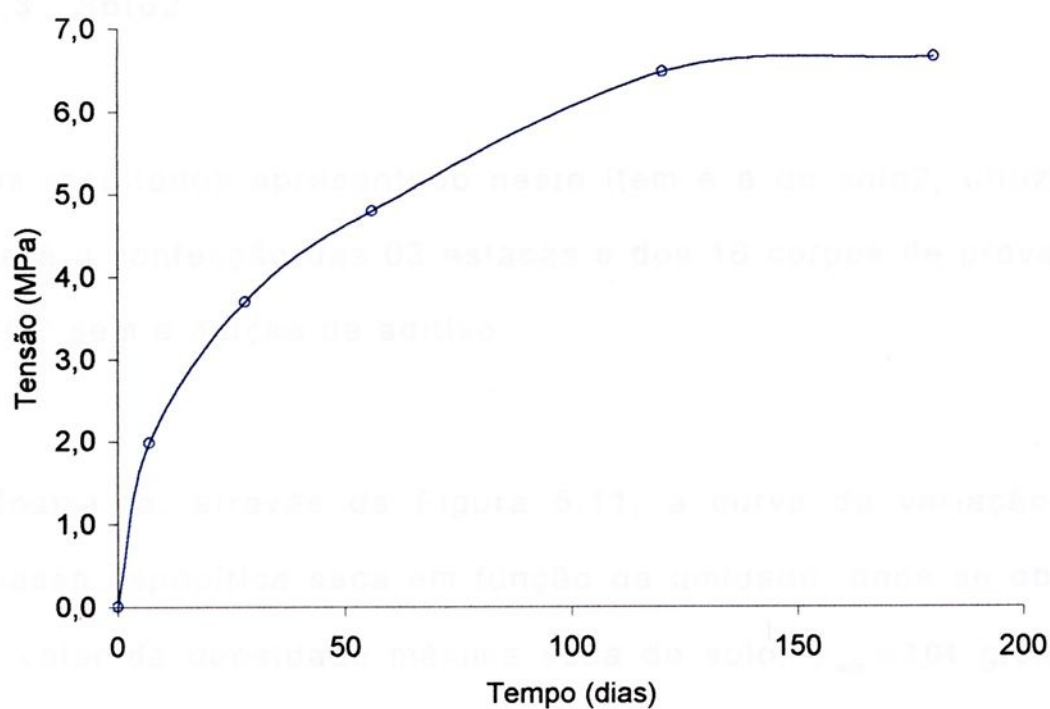
Apresenta-se, através do Quadro 5.5, os valores das cargas e as tensões de ruptura dos corpos de prova de SCP moldadas com aditivo superplastificante. Através do Quadro 5.6, os módulos de elasticidade secante a 40% da tensão de ruptura longitudinal. Mostra-se, através da Figura 5.9, a evolução da resistência à compressão simples e através da Figura 5.10 a evolução do módulo de elasticidade secante do SCP com aditivo ao longo do tempo.

**Quadro 5.5 - Ruptura dos CP's de 15cm x 30cm de SCP com aditivo**

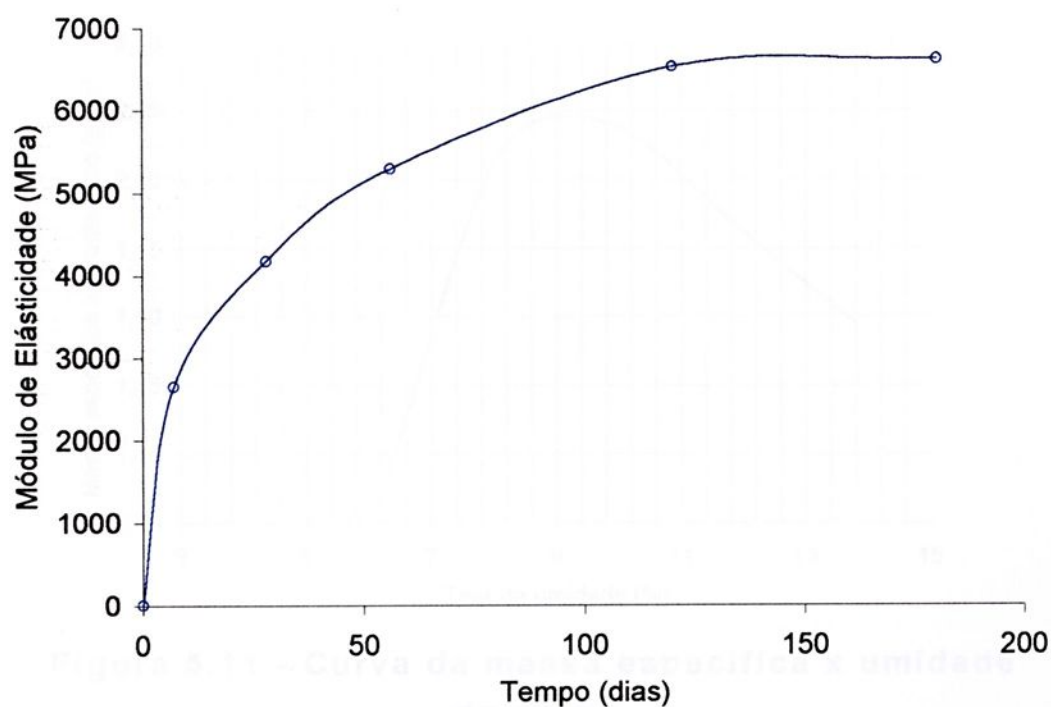
| Data     | Idade    | CP (n°) | P <sub>rup</sub> (KN) | P <sub>m,rup</sub> (KN) | σ <sub>rup</sub> (MPa) | σ <sub>m,rup</sub> (MPa) |
|----------|----------|---------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| 22/10/00 | 7 dias   | 1       | 36,4                  | 34,9                    | 2,07                   | 1,98                     |
|          |          | 2       | 34,3                  |                         | 1,95                   |                          |
|          |          | 3       | 34,1                  |                         | 1,94                   |                          |
|          |          | 4       | 35,0                  |                         | 1,98                   |                          |
| 14/11/00 | 28 dias  | 5       | 68,8                  | 65,0                    | 3,91                   | 3,69                     |
|          |          | 6       | 60,0                  |                         | 3,41                   |                          |
|          |          | 7       | 64,8                  |                         | 3,68                   |                          |
|          |          | 8       | 66,4                  |                         | 3,77                   |                          |
| 12/12/00 | 56 dias  | 9       | 86,0                  | 84,4                    | 4,88                   | 4,79                     |
|          |          | 10      | 85,0                  |                         | 4,83                   |                          |
|          |          | 11      | 81,8                  |                         | 4,65                   |                          |
|          |          | 12      | 85,0                  |                         | 4,83                   |                          |
| 19/02/01 | 120 dias | 13      | 115,0                 | 115,6                   | 6,53                   | 6,47                     |
|          |          | 14      | 117,0                 |                         | 6,65                   |                          |
|          |          | 15      | 118,0                 |                         | 6,98                   |                          |
|          |          | 16      | 112,0                 |                         | 6,36                   |                          |
| 21/05/01 | 180 dias | 17      | 115,0                 | 117,0                   | 6,53                   | 6,65                     |
|          |          | 18      | 114,0                 |                         | 6,47                   |                          |
|          |          | 19      | 117,0                 |                         | 6,65                   |                          |
|          |          | 20      | 122,0                 |                         | 6,93                   |                          |

**Quadro 5.6 - Módulo de elasticidade secante dos CP's 15cm x 30cm de SCP com aditivo**

| Data     | Idade    | CP (n°) | E <sub>40%long</sub> (MPa) | E <sub>m,40%long</sub> (MPa) |
|----------|----------|---------|----------------------------|------------------------------|
| 22/10/00 | 7 dias   | 2       | 2052                       | 2649                         |
|          |          | 3       | 3030                       |                              |
|          |          | 4       | 2866                       |                              |
| 14/11/00 | 28 dias  | 6       | 3685                       | 4172                         |
|          |          | 7       | 3966                       |                              |
|          |          | 8       | 4864                       |                              |
| 12/12/00 | 56 dias  | 10      | 4821                       | 5286                         |
|          |          | 11      | 5512                       |                              |
|          |          | 12      | 5524                       |                              |
| 19/02/00 | 120 dias | 14      | 6652                       | 6532                         |
|          |          | 15      | 6453                       |                              |
|          |          | 16      | 6493                       |                              |
| 21/05/00 | 180 dias | 18      | 6571                       | 6623                         |
|          |          | 19      | 6929                       |                              |
|          |          | 20      | 6370                       |                              |



**Figura 5.9 - Evolução da resistência do SCP com aditivo**



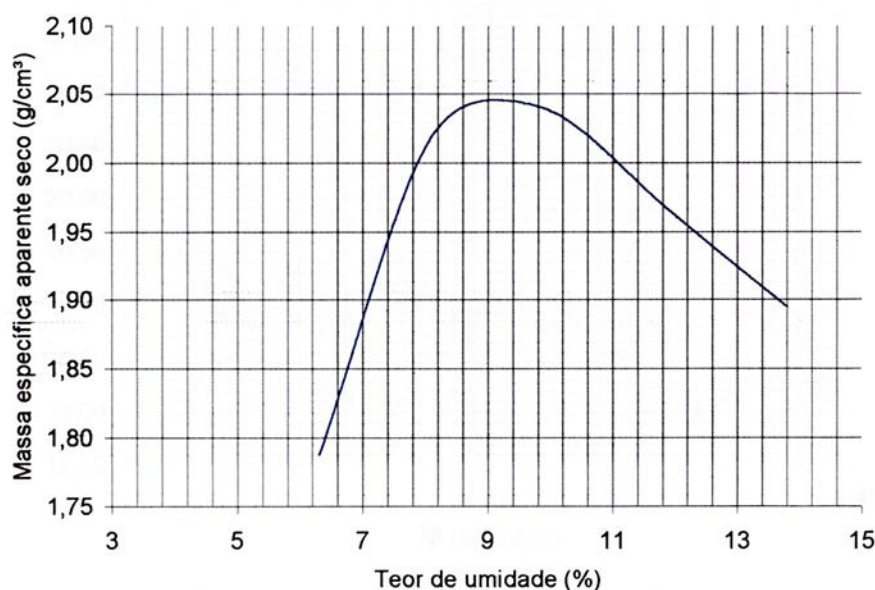
**Figura 5.10 - Evolução do módulo de elasticidade secante do SCP com aditivo**



### 5.3 Solo2

Os resultados apresentados neste item é a do solo2, utilizado para a confecção das 03 estacas e dos 16 corpos de prova de SCP sem a adição de aditivo.

Mostra-se, através da Figura 5.11, a curva da variação da massa específica seca em função da umidade, onde se obtém o valor da densidade máxima seca do solo,  $\gamma_{m\acute{a}x} = 2,04 \text{ g/cm}^3$  e umidade ótima,  $W_{ot} = 9,0 \%$ .



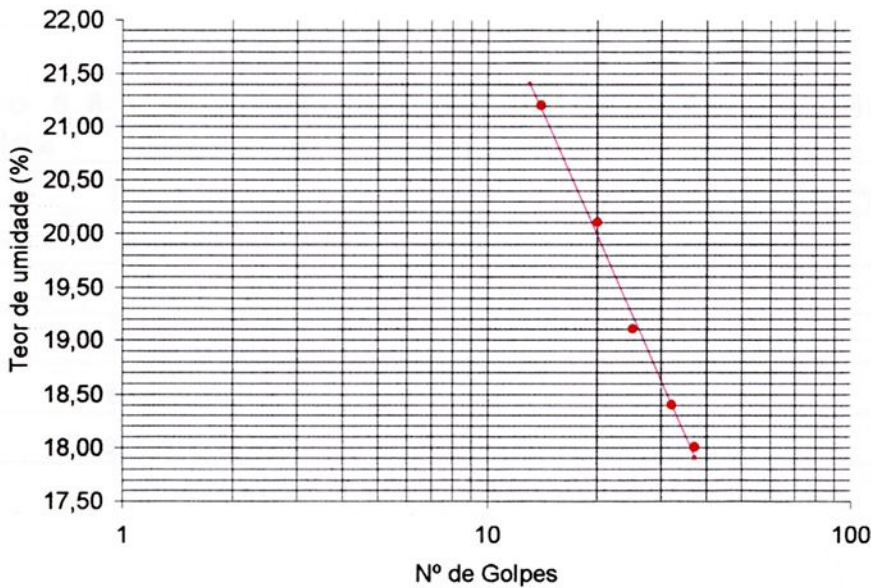
**Figura 5.11 - Curva da massa específica x umidade do solo2**

Apresenta-se, através do Quadro 5.7, os valores obtidos para o cálculo do limite de plasticidade, cujo valor é  $LP = 13 \%$ .

**Quadro 5.7 - Limite de plasticidade do solo2**

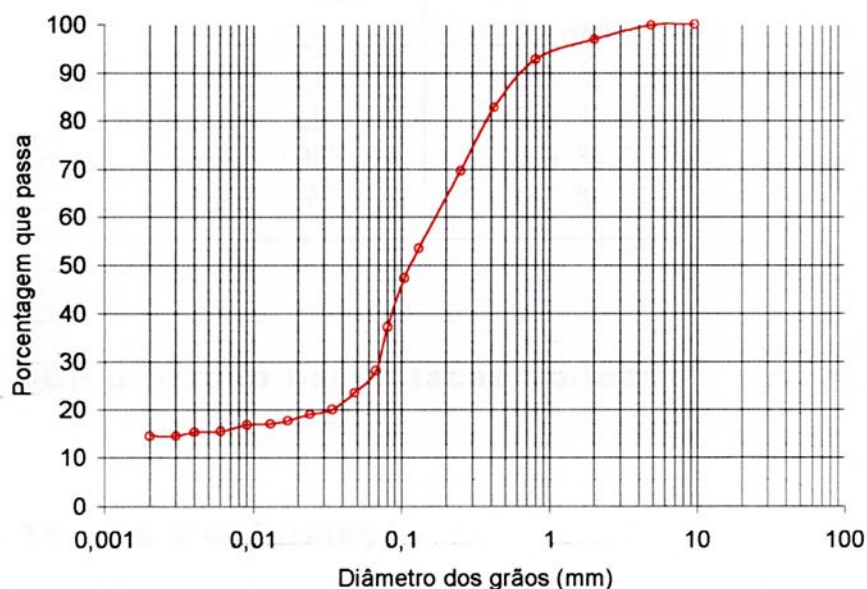
|                            |  |      |      |      |
|----------------------------|--|------|------|------|
| Capsula                    |  | 409  | 411  | 414  |
| Peso úmido + Tara (g)      |  | 9,43 | 8,44 | 8,82 |
| Peso seco + Tara (g)       |  | 9,24 | 8,27 | 8,64 |
| Tara (g)                   |  | 7,69 | 6,94 | 7,34 |
| Umidade (%)                |  | 12,3 | 12,8 | 13,8 |
| Limite de plasticidade (%) |  | 13,0 |      |      |

Mostra-se, através da Figura 5.12, a curva do limite de liquidez, onde obteve-se o valor  $LL = 19,3 \%$ .



**Figura 5.12 - Curva limite de liquidez do solo2**

Mostra-se, através da Figura 5.13, o gráfico da distribuição granulométrica e através do Quadro 5.8, as porcentagens de distribuição granulométrica obtidas



**Figura 5.13 - Distribuição granulométrica do solo2**

**Quadro 5.8 - Porcentagem de distribuição granulométrica do solo2**

| Fração       | Percentages (%) |
|--------------|-----------------|
| Argila       | 16              |
| Silte        | 7               |
| Areia fina   | 60              |
| Areia média  | 14              |
| Areia grossa | 3               |

Apresenta-se, através do Quadro 5.9, os resultados dos índices físicos do solo2 obtidos em laboratórios.



Quadro 5.9 - Resultados dos Índices físicos do solo2

| Índices físicos   |                        |
|-------------------|------------------------|
| $\gamma_{s,máx.}$ | 20,6 kN/m <sup>3</sup> |
| $\rho_s$          | 2,72 g/cm <sup>3</sup> |
| LL                | 19,3 %                 |
| LP                | 13,0 %                 |
| IP                | 6,3 %                  |
| $W_{ot}$          | 9,0 %                  |

5.4 - SCP utilizado nas estacas apiloada

5.4.1 – Tensão x deformação

Mostram-se, através das Figura 5.14 a 5.17, as curvas de *tensão x deformação* longitudinal dos corpos de prova de SCP utilizando-se solo2 sem aditivo nas estacas apiloadas aos 7, 21, 56 e 120 dias de cura.

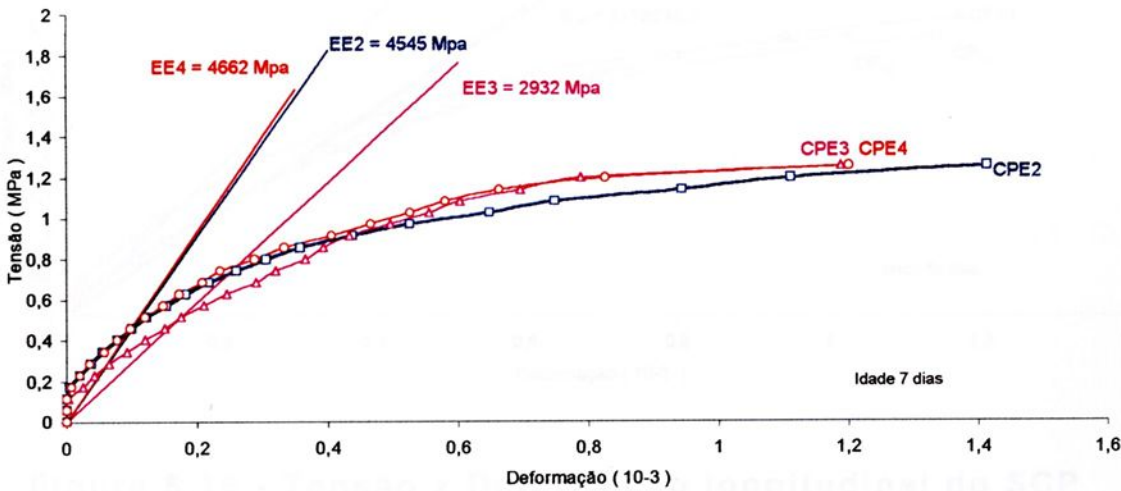


Figura 5.14 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 7 dia de cura

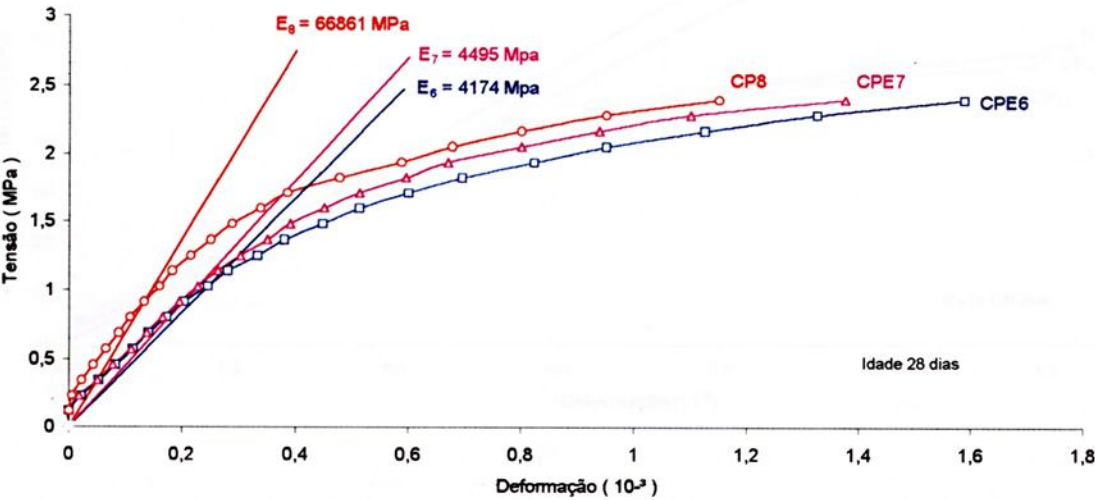


Figura 5.15 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 28 dias de cura

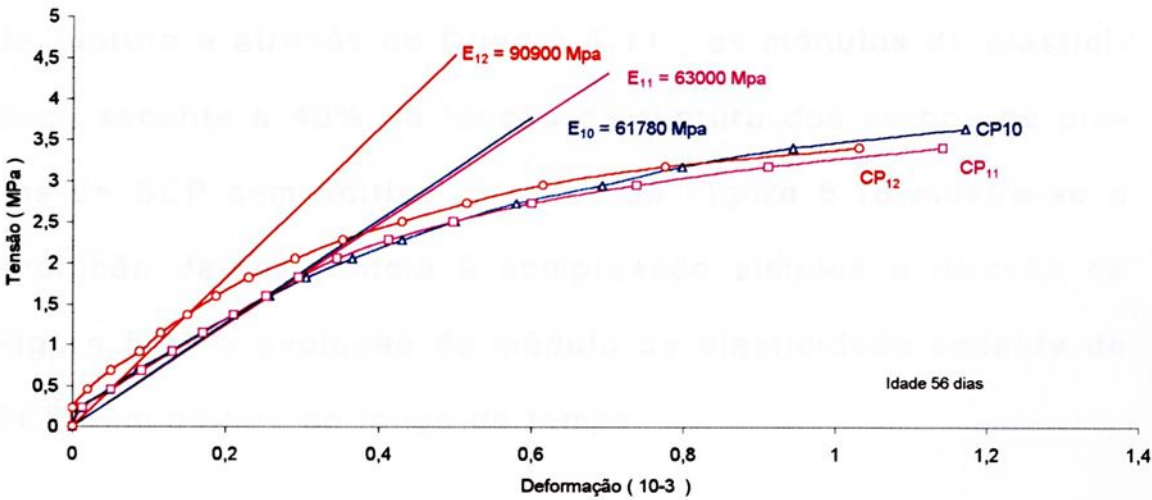
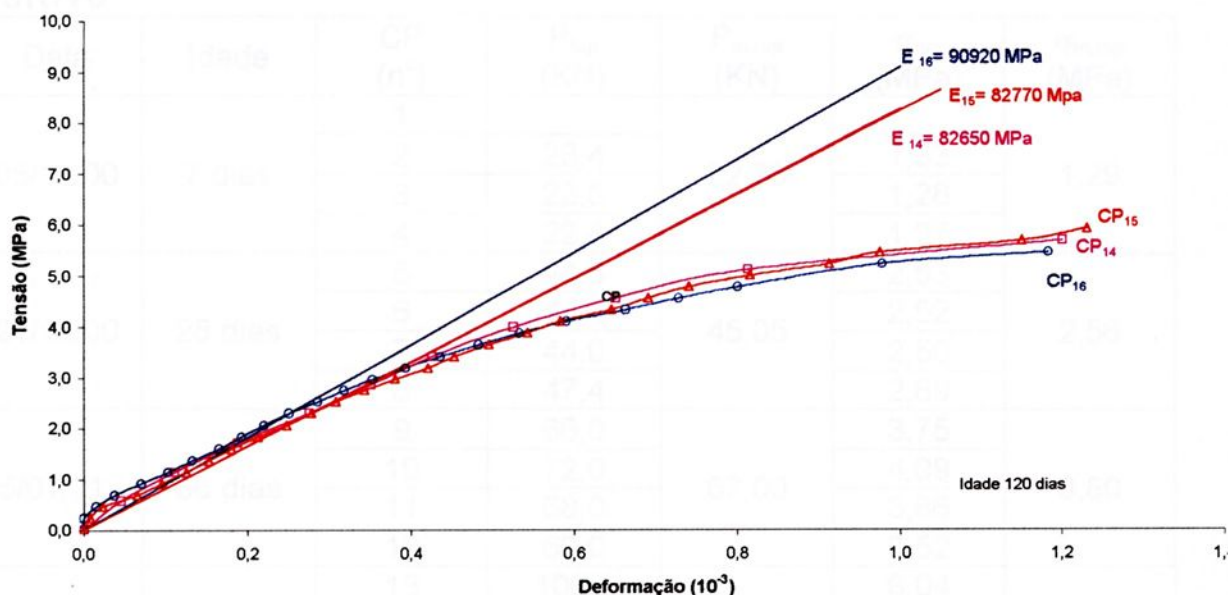


Figura 5.16 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 56 dias de cura



**Figura 5.17 - Tensão x Deformação longitudinal do SCP sem aditivo aos 120 dias de cura**

#### 5.4.2 – Resistência e Módulo de Elasticidade

Apresenta-se, através do Quadro 5.10, as cargas e as tensões de ruptura e através do Quadro 5.11, os módulos de elasticidade secante a 40% da tensão de ruptura dos corpos de provas de SCP sem aditivo. Através da Figura 5.18 mostra-se a evolução da resistência à compressão simples e através da Figura 5.19 a evolução do módulo de elasticidade secante do SCP sem aditivo ao longo do tempo.



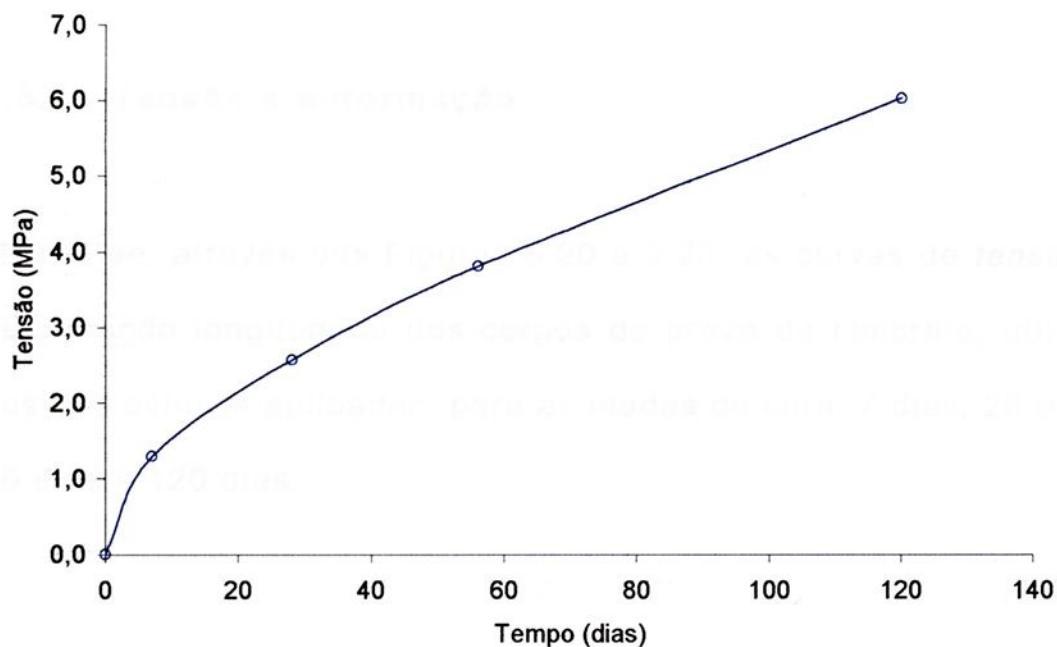
**Quadro 5.10 - Ruptura dos corpos de prova de SCP sem aditivo**

| Data     | Idade    | CP (n°) | P <sub>rup</sub> (KN) | P <sub>m,rup</sub> (KN) | $\sigma_{rup}$ (MPa) | $\sigma_{m,rup}$ (MPa) |
|----------|----------|---------|-----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| 05/12/00 | 7 dias   | 1       |                       | 22,76                   |                      | 1,29                   |
|          |          | 2       | 23,4                  |                         | 1,33                 |                        |
|          |          | 3       | 22,5                  |                         | 1,28                 |                        |
|          |          | 4       | 22,4                  |                         | 1,27                 |                        |
| 21/12/00 | 28 dias  | 5       | 44,6                  | 45,05                   | 2,53                 | 2,56                   |
|          |          | 6       | 44,4                  |                         | 2,52                 |                        |
|          |          | 7       | 44,0                  |                         | 2,50                 |                        |
|          |          | 8       | 47,4                  |                         | 2,69                 |                        |
| 25/01/01 | 56 dias  | 9       | 66,0                  | 67,00                   | 3,75                 | 3,80                   |
|          |          | 10      | 72,0                  |                         | 4,09                 |                        |
|          |          | 11      | 68,0                  |                         | 3,86                 |                        |
|          |          | 12      | 62,0                  |                         | 3,52                 |                        |
| 26/03/01 | 120 dias | 13      | 106,4                 | 106,15                  | 6,04                 | 6,03                   |
|          |          | 14      | 96,0                  |                         | 5,45                 |                        |
|          |          | 15      | 106,0                 |                         | 6,02                 |                        |
|          |          | 16      | 116,2                 |                         | 6,60                 |                        |

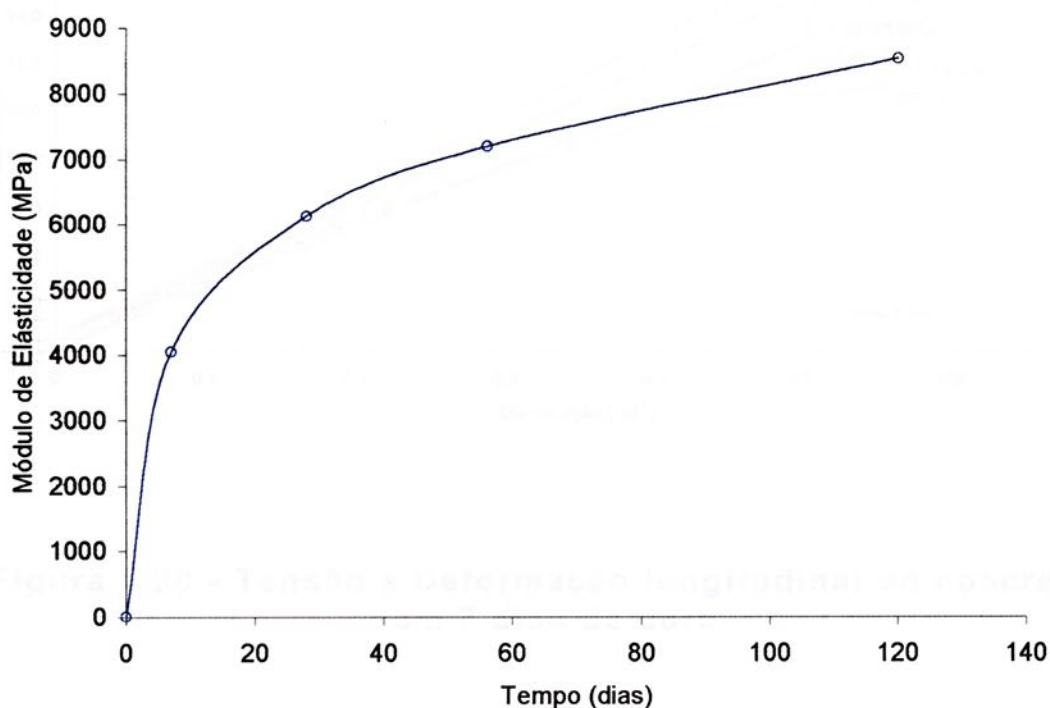
**Quadro 5.11 Módulo de elasticidade secante dos corpos de prova do SCP sem aditivo**

| Data     | Idade    | CP (n°) | E <sub>40%long</sub> (MPa) | E <sub>m,40%long</sub> (Mpa) |
|----------|----------|---------|----------------------------|------------------------------|
| 05/12/00 | 7 dias   | 2       | 4545                       | 4046                         |
|          |          | 3       | 2932                       |                              |
|          |          | 4       | 4662                       |                              |
| 21/12/00 | 28 dias  | 6       | 6686                       | 5118                         |
|          |          | 7       | 4174                       |                              |
|          |          | 8       | 4495                       |                              |
| 25/01/01 | 56 dias  | 10      | 6178                       | 7189                         |
|          |          | 11      | 6300                       |                              |
|          |          | 12      | 9090                       |                              |
| 26/03/01 | 120 dias | 14      | 8265                       | 8544                         |
|          |          | 15      | 8277                       |                              |
|          |          | 16      | 9092                       |                              |

**Figura 5.13 - Evolução do módulo de elasticidade secante do SCP sem aditivo**



**Figura 5.18 - Evolução da resistência do SCP sem aditivo**



**Figura 5.19 - Evolução do módulo de elasticidade secante do SCP sem aditivo**

## 5.5 Concreto

### 5.5.1 Tensão x deformação

Mostra-se, através das Figuras 5.20 a 5.23, as curvas de *tensão x deformação* longitudinal dos corpos de prova de concreto, utilizados nas estacas apiloadas, para as idades de cura, 7 dias, 28 dias, 56 dias e 120 dias.

Figura 5.20 - Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 7 dias de cura

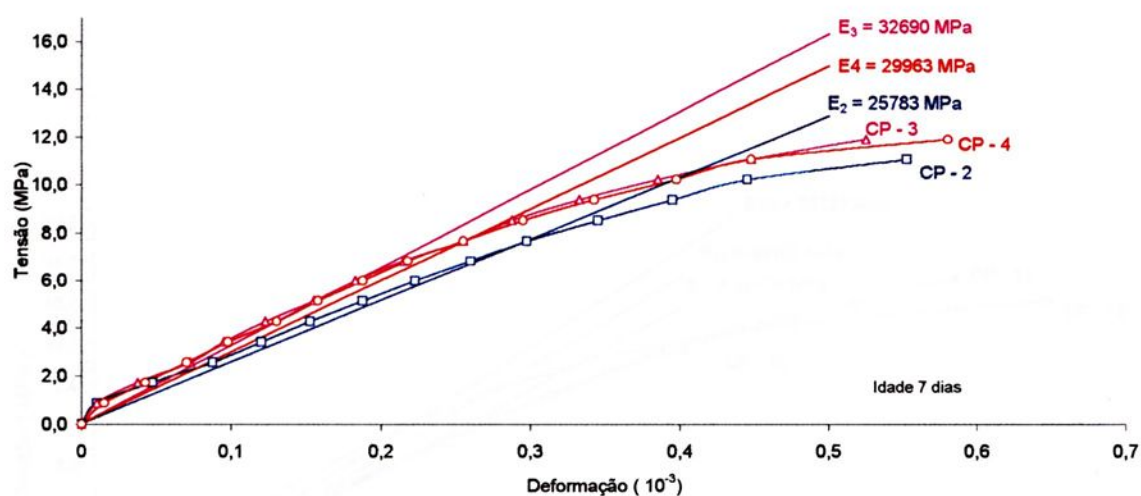
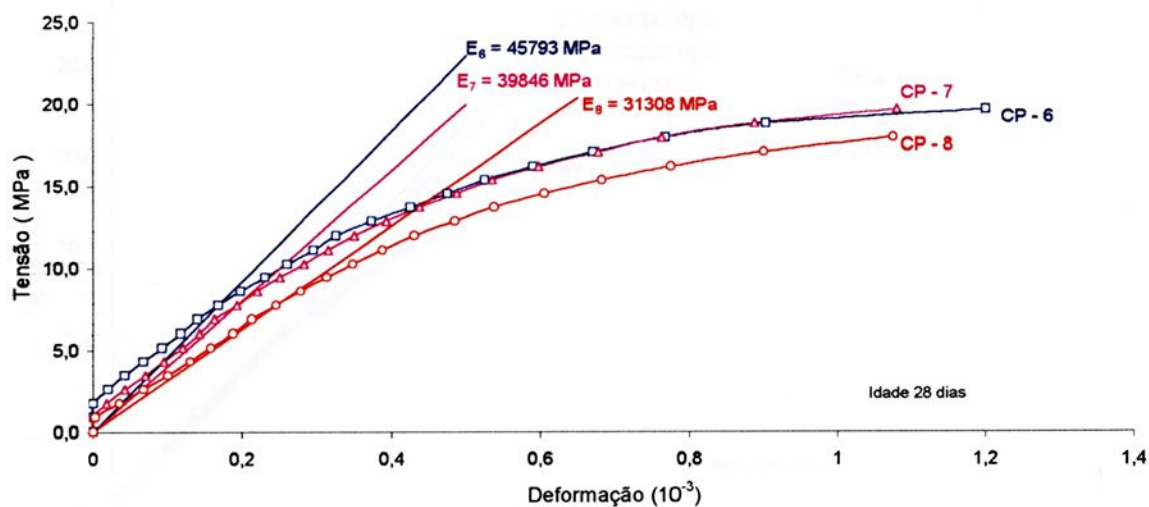


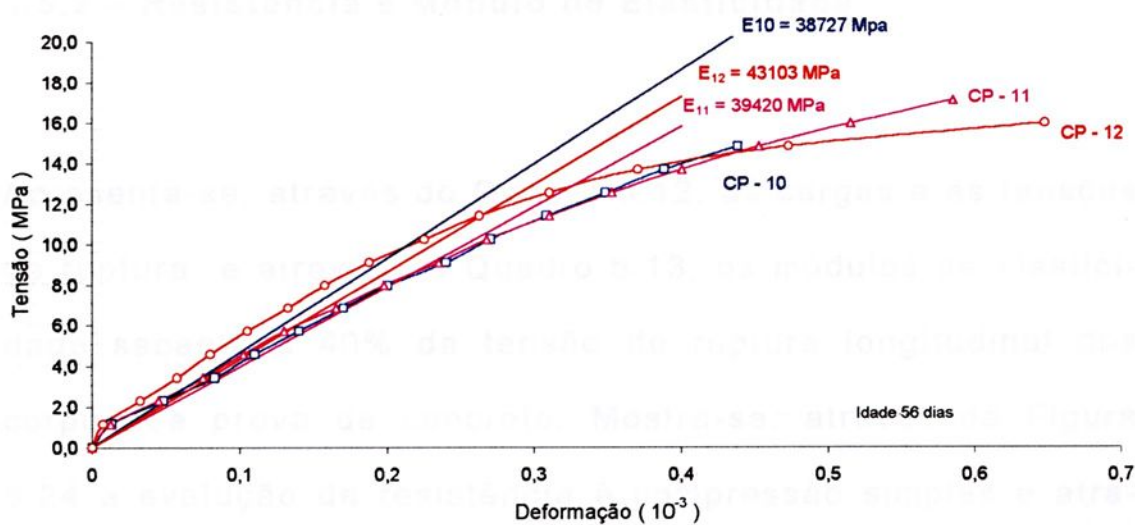
Figura 5.20 - Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 7 dias de cura

Figura 5.21 - Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 28 dias

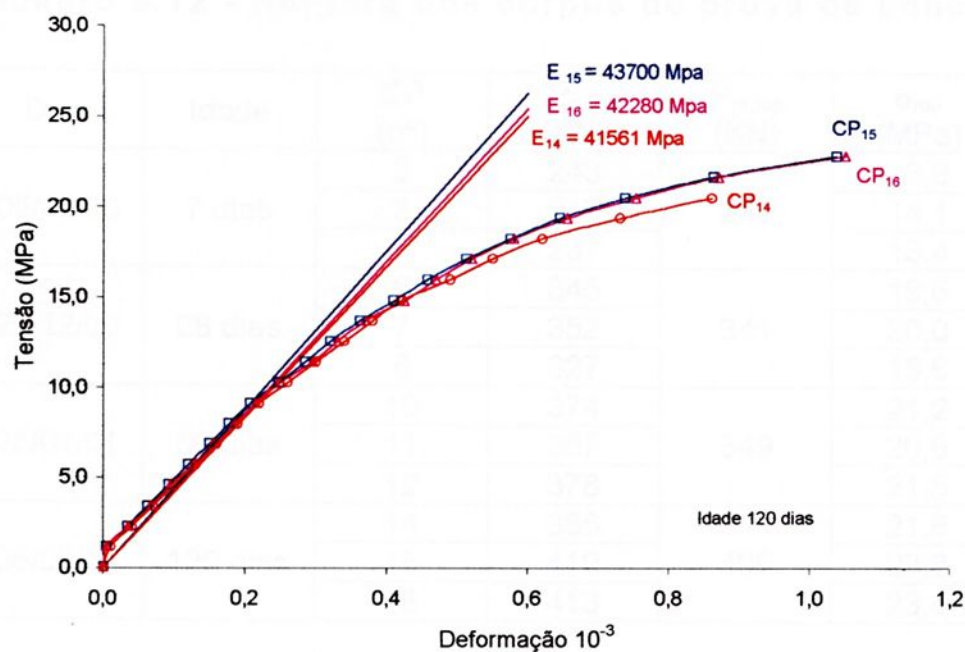




**Figura 5.21 - Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 28 dias de cura**



**Figura 5.22 - Tensão x Deformação longitudinal do concreto Com 56 dias**



**Figura 5.23 - Tensão x Deformação longitudinal do concreto com 120 dias de cura**

### 5.5.2 – Resistência e Módulo de Elasticidade

Apresenta-se, através do Quadro 5.12, as cargas e as tensões de ruptura e através do Quadro 5.13, os módulos de elasticidade secante a 40% da tensão de ruptura longitudinal dos corpos de prova de concreto. Mostra-se, através da Figura 5.24 a evolução da resistência à compressão simples e através da Figura 5.25 a evolução do módulo de elasticidade secante do concreto ao longo do tempo.

**Quadro 5.12 - Ruptura dos corpos de prova de concreto**

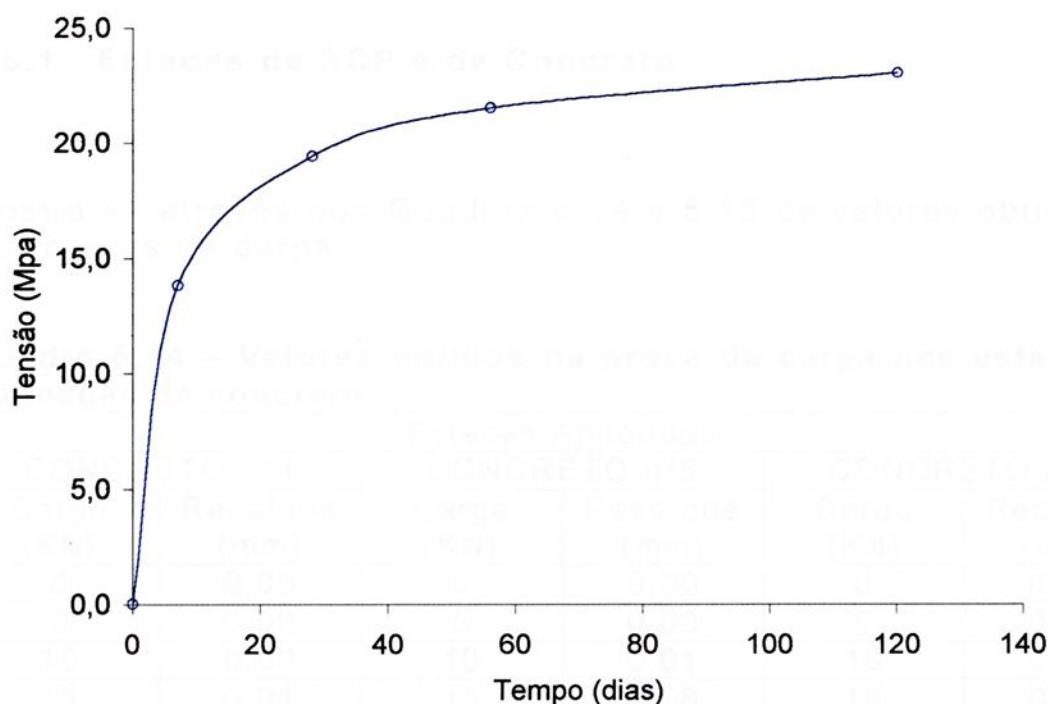
| Data     | Idade    | CP<br>(n°) | P <sub>rup</sub><br>(KN) | P <sub>m,rup</sub><br>(KN) | σ <sub>rup</sub><br>(MPa) | σ <sub>m,rup</sub><br>(MPa) |
|----------|----------|------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 05/12/00 | 7 dias   | 2          | 243                      | 243                        | 13,8                      | 13,8                        |
|          |          | 3          | 248                      |                            | 14,1                      |                             |
|          |          | 4          | 237                      |                            | 13,4                      |                             |
| 21/12/00 | 28 dias  | 6          | 345                      | 341                        | 19,6                      | 19,4                        |
|          |          | 7          | 352                      |                            | 20,0                      |                             |
|          |          | 8          | 327                      |                            | 18,6                      |                             |
| 25/01/01 | 56 dias  | 10         | 374                      | 349                        | 21,2                      | 21,2                        |
|          |          | 11         | 367                      |                            | 20,8                      |                             |
|          |          | 12         | 378                      |                            | 21,5                      |                             |
| 26/03/01 | 120 dias | 14         | 385                      | 405                        | 21,8                      | 23,0                        |
|          |          | 15         | 419                      |                            | 23,8                      |                             |
|          |          | 16         | 413                      |                            | 23,4                      |                             |

**Figura 5.24 - Evolução da resistência do concreto****Quadro 5.13 - Módulo de elasticidade secante dos corpos de prova de concreto**

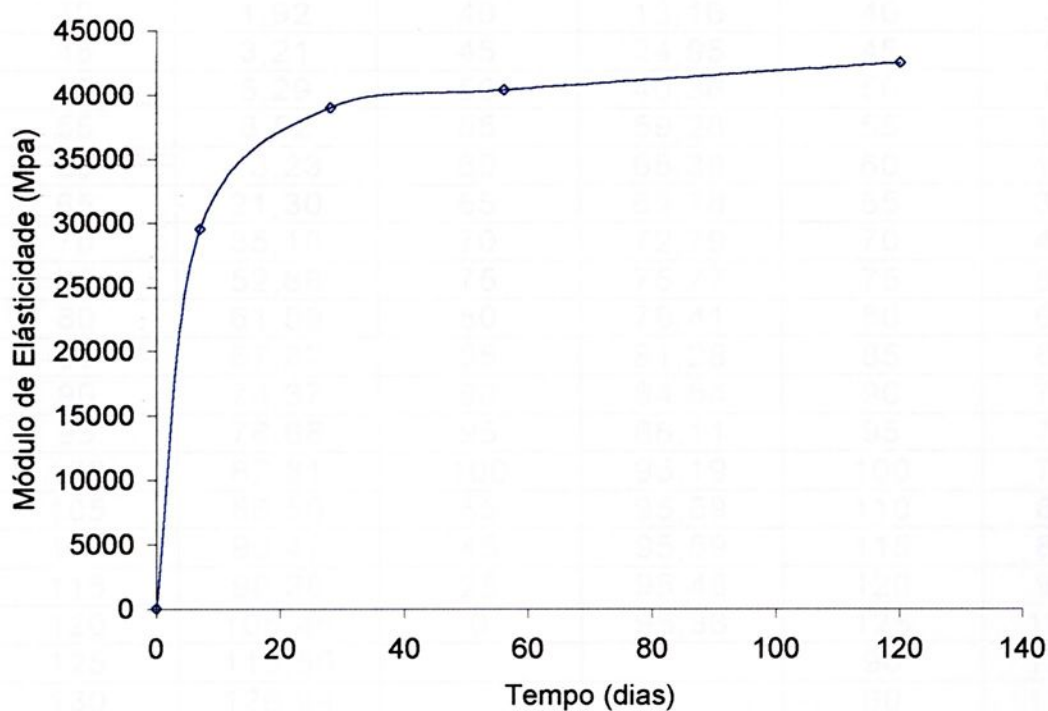
| Data     | Idade    | CP<br>(n°) | E <sub>40%long</sub><br>(MPa) | E <sub>m,40%long</sub><br>(MPa) |
|----------|----------|------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 05/12/00 | 7 dias   | 2          | 25783                         | 29478                           |
|          |          | 3          | 32690                         |                                 |
|          |          | 4          | 29963                         |                                 |
| 21/12/00 | 28 dias  | 6          | 45793                         | 38982                           |
|          |          | 7          | 39846                         |                                 |
|          |          | 8          | 31308                         |                                 |
| 25/01/01 | 56 dias  | 10         | 38727                         | 40416                           |
|          |          | 11         | 39420                         |                                 |
|          |          | 12         | 43103                         |                                 |
| 26/03/01 | 120 dias | 14         | 41561                         | 42513                           |
|          |          | 15         | 43700                         |                                 |
|          |          | 16         | 42280                         |                                 |

**Figura 5.25 - Evolução do módulo de elasticidade secante do concreto**





**Figura 5.24 - Evolução da resistência do concreto**



**Figura 5.25 - Evolução do módulo de elasticidade secante do concreto**

## 5.6 Provas de carga

### 5.6.1 Estacas de SCP e de Concreto

Mostra-se através dos Quadros 5.14 e 5.15 os valores obtidos nas provas de carga.

**Quadro 5.14 – Valores obtidos na prova de carga nas estacas apiloadas de concreto.**

| Estacas Apiloadas |               |              |               |              |               |
|-------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| CONCRETO nº4      |               | CONCRETO nº5 |               | CONCRETO nº6 |               |
| Carga (KN)        | Recalque (mm) | Carga (KN)   | Recalque (mm) | Carga (KN)   | Recalque (mm) |
| 0                 | 0,00          | 0            | 0,00          | 0            | 0,00          |
| 5                 | 0,00          | 5            | 0,00          | 5            | 0,00          |
| 10                | 0,00          | 10           | 0,01          | 10           | 0,01          |
| 15                | 0,01          | 15           | 0,08          | 15           | 0,06          |
| 20                | 0,09          | 20           | 0,40          | 20           | 0,23          |
| 25                | 0,23          | 25           | 1,35          | 25           | 0,61          |
| 30                | 0,56          | 30           | 2,96          | 30           | 1,33          |
| 35                | 1,15          | 35           | 6,78          | 35           | 2,31          |
| 40                | 1,92          | 40           | 13,16         | 40           | 3,73          |
| 45                | 3,21          | 45           | 24,95         | 45           | 5,81          |
| 50                | 5,29          | 50           | 40,36         | 50           | 8,69          |
| 55                | 8,52          | 55           | 59,26         | 55           | 12,87         |
| 60                | 13,23         | 60           | 65,38         | 60           | 19,87         |
| 65                | 21,30         | 65           | 69,78         | 65           | 30,57         |
| 70                | 35,10         | 70           | 72,79         | 70           | 43,63         |
| 75                | 52,88         | 75           | 75,77         | 75           | 59,80         |
| 80                | 61,59         | 80           | 78,41         | 80           | 65,99         |
| 85                | 67,82         | 85           | 81,28         | 85           | 69,88         |
| 90                | 74,37         | 90           | 84,54         | 90           | 72,78         |
| 95                | 78,68         | 95           | 88,11         | 95           | 75,34         |
| 100               | 82,81         | 100          | 95,19         | 100          | 77,88         |
| 105               | 86,50         | 65           | 95,59         | 110          | 80,78         |
| 110               | 90,47         | 45           | 95,59         | 115          | 84,24         |
| 115               | 98,38         | 25           | 95,48         | 120          | 90,90         |
| 120               | 106,46        | 0            | 95,36         | 125          | 108,85        |
| 125               | 115,56        |              |               | 90           | 127,35        |
| 130               | 126,94        |              |               | 60           | 119,19        |
| 100               | 127,05        |              |               | 30           | 119,11        |
| 65                | 126,98        |              |               | 0            | 118,96        |
| 30                | 126,76        |              |               |              | 120,93        |
| 0                 | 126,02        |              |               |              |               |



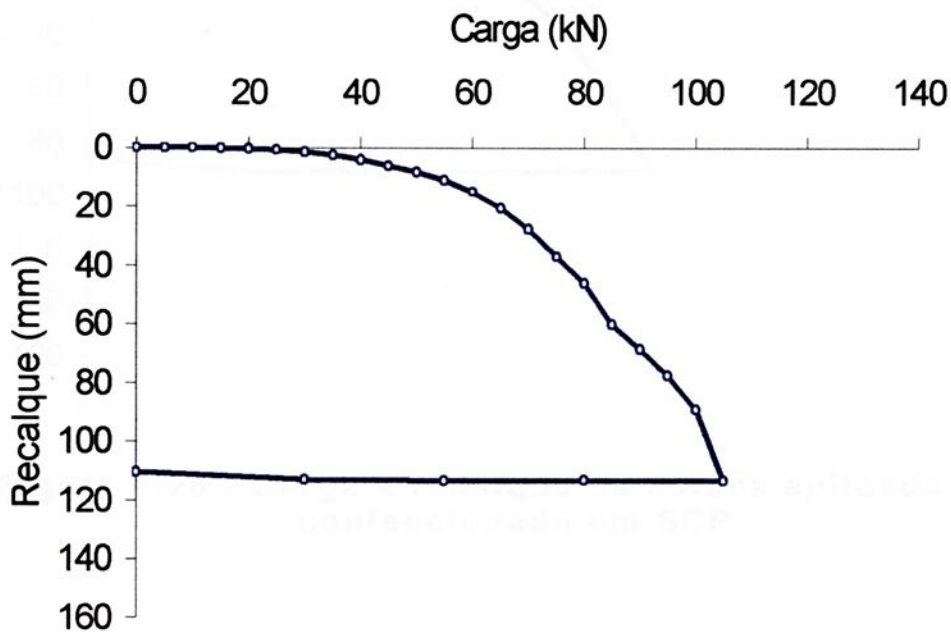
**Quadro 5.15 – Valores obtidos na prova de carga nas estacas apiloadas de SCP.**

| Estacas Apiloadas |               |            |               |            |               |
|-------------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| SCP nº1           |               | SCP nº2    |               | SCP nº3    |               |
| Carga (KN)        | Recalque (mm) | Carga (KN) | Recalque (mm) | Carga (KN) | Recalque (mm) |
| 0                 | 0,00          | 0          | 0,00          | 0          | 0,00          |
| 5                 | 0,02          | 5          | 0,01          | 5          | 0,02          |
| 10                | 0,06          | 10         | 0,02          | 10         | 0,05          |
| 15                | 0,19          | 15         | 0,03          | 15         | 0,07          |
| 20                | 0,39          | 20         | 0,06          | 20         | 0,12          |
| 25                | 0,78          | 25         | 0,08          | 25         | 0,21          |
| 30                | 1,47          | 30         | 0,11          | 30         | 0,43          |
| 35                | 2,55          | 35         | 0,14          | 35         | 0,76          |
| 40                | 3,91          | 40         | 0,17          | 40         | 1,33          |
| 45                | 6,28          | 45         | 0,22          | 45         | 2,11          |
| 50                | 8,49          | 50         | 0,27          | 50         | 3,96          |
| 55                | 11,29         | 55         | 0,34          | 55         | 6,38          |
| 60                | 15,39         | 60         | 0,45          | 60         | 9,92          |
| 65                | 21,07         | 65         | 0,63          | 65         | 15,02         |
| 70                | 27,91         | 70         | 0,79          | 70         | 20,41         |
| 75                | 37,36         | 75         | 1,25          | 75         | 26,61         |
| 80                | 46,53         | 80         | 1,97          | 80         | 32,84         |
| 85                | 60,59         | 85         | 2,96          | 85         | 49,09         |
| 90                | 68,97         | 90         | 4,19          | 90         | 64,64         |
| 95                | 77,72         | 95         | 5,77          | 95         | 85,87         |
| 100               | 89,50         | 100        | 8,49          | 75         | 86,36         |
| 105               | 113,44        | 105        | 12,24         | 50         | 86,23         |
| 80                | 113,36        | 110        | 15,79         | 25         | 85,89         |
| 55                | 113,68        | 115        | 20,14         | 0          | 81,72         |
| 30                | 113,16        | 120        | 26,86         |            |               |
| 0                 | 110,64        | 125        | 34,53         |            |               |
|                   |               | 130        | 39,94         |            |               |
|                   |               | 135        | 44,82         |            |               |
|                   |               | 120        | 44,87         |            |               |
|                   |               | 90         | 44,80         |            |               |
|                   |               | 60         | 44,65         |            |               |
|                   |               | 30         | 44,42         |            |               |
|                   |               | 0          | 43,77         |            |               |

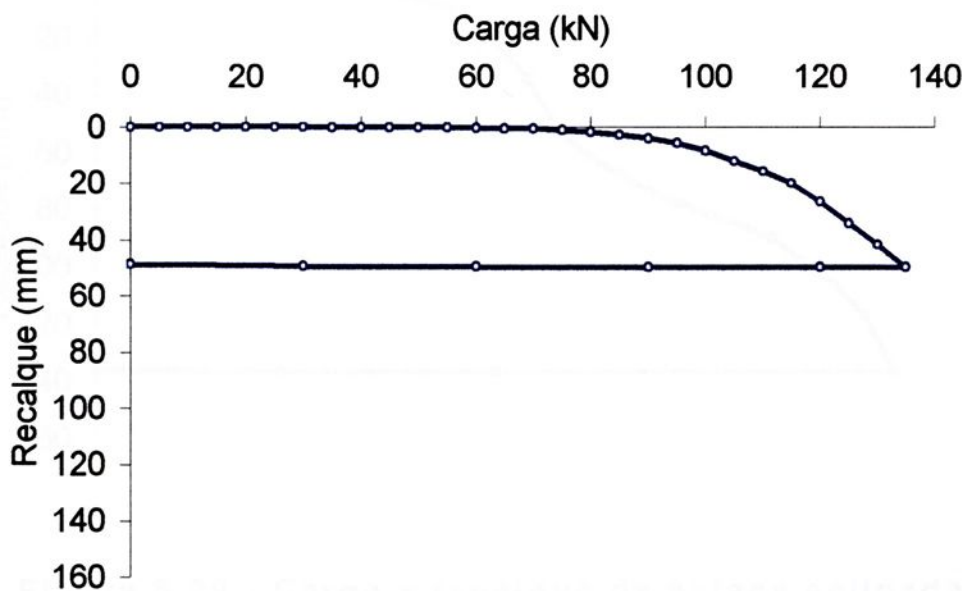
Mostra-se, através das Figuras 5.26 a 5.28, as curvas *carga x recalque* das provas de carga realizadas nas estacas apiloadas, executadas em SCP, com diâmetro igual a 20 cm e profundidade de 4,5 m. E através, das Figuras 5.29 a 5.31, as



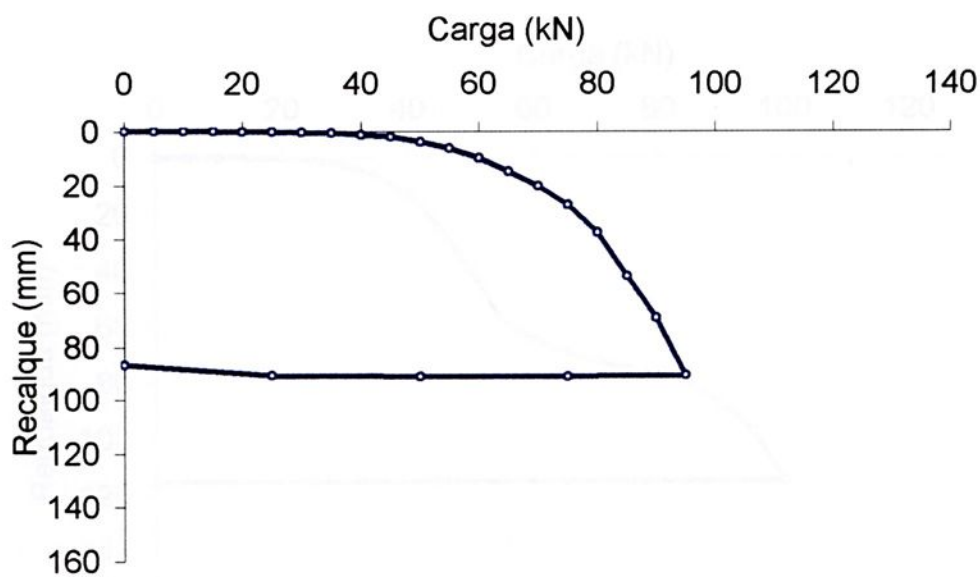
curvas carga x recalque das provas de carga realizadas nas estacas apiloada, executadas em concreto, com diâmetro igual a 20 cm e profundidade de 4,5 m.



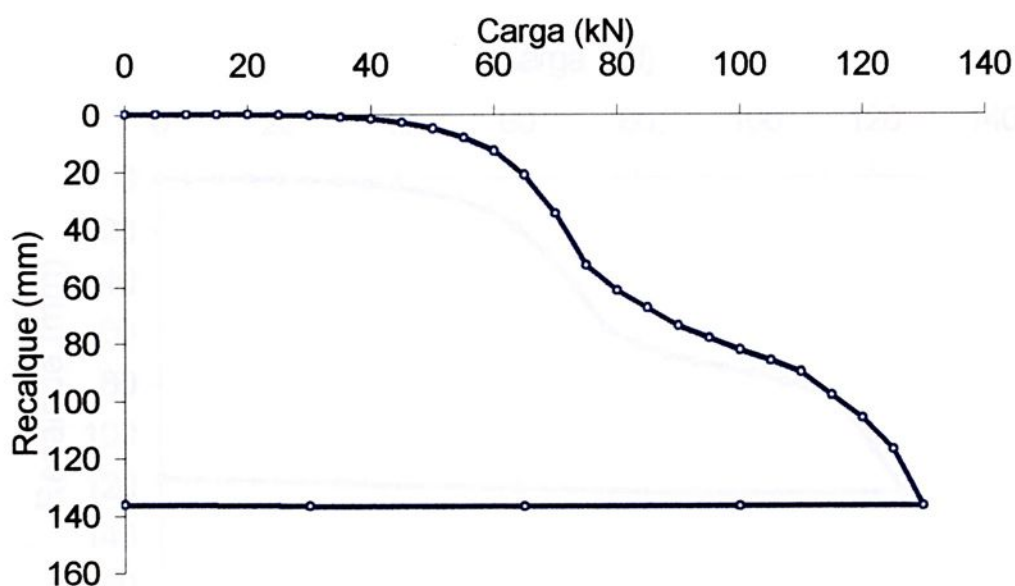
**Figura 5.26 - Carga x recalque da estaca apiloada nº1 confeccionada em SCP**



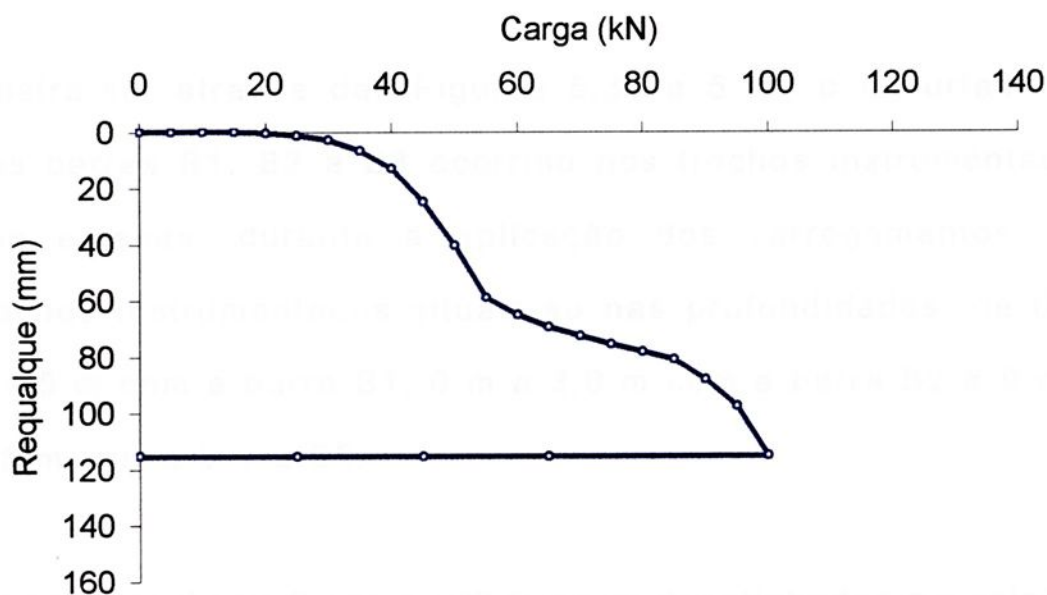
**Figura 5.27 - Carga x recalque da estaca apiloada nº2 confeccionada em SCP**



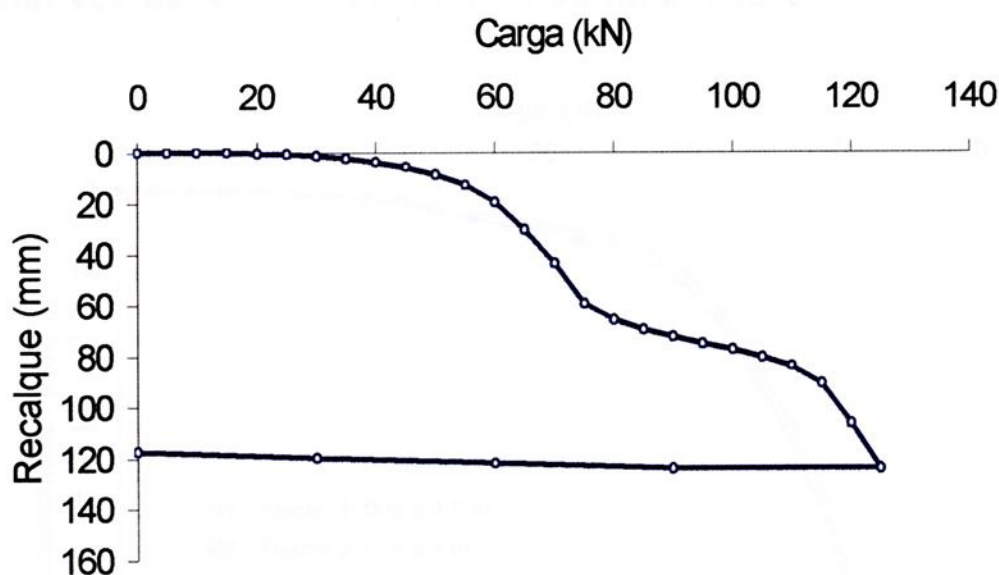
**Figura 5.28 - Carga x recalque da estaca apiloadada nº 3 confeccionada em SCP**



**Figura 5.29 - Carga x recalque da estaca apiloadada nº 4 confeccionada em concreto**



**Figura 5.30 - Carga x recalque da estaca apiloada nº 5 confeccionada em concreto**



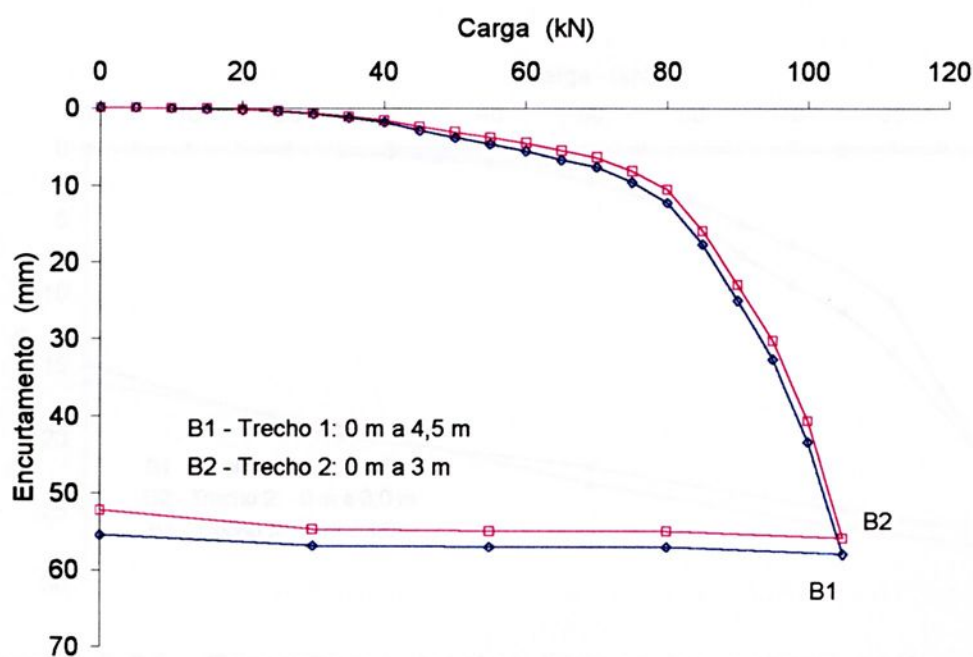
**Figura 5.31 - Carga x recalque da estaca apiloada nº 6 confeccionada de concreto**



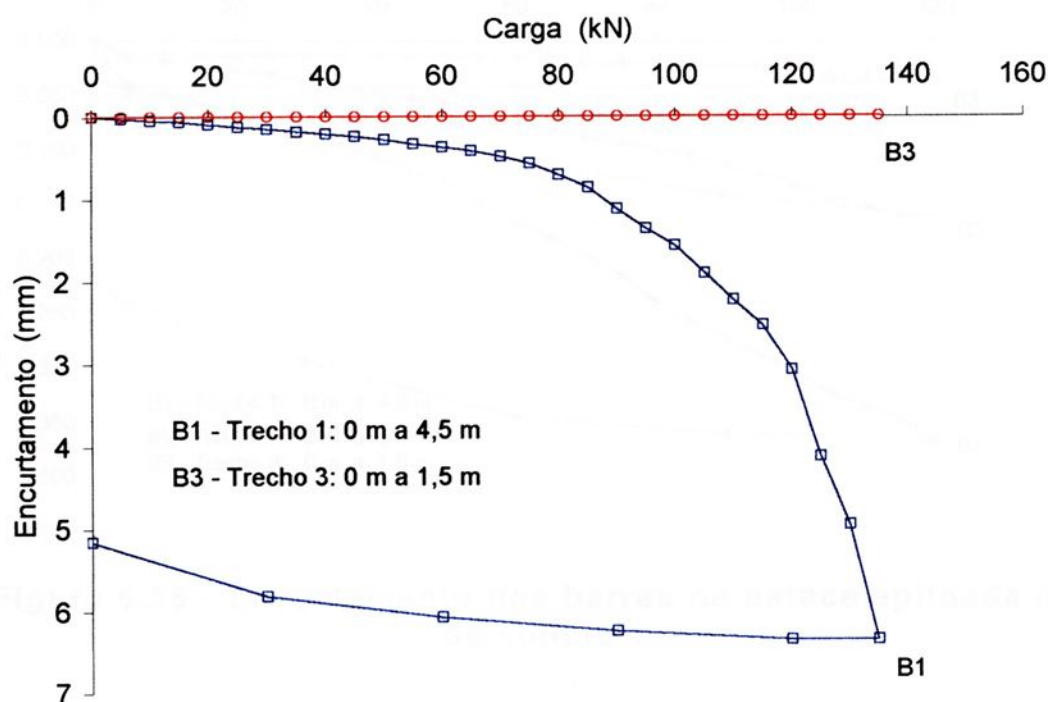
### 5.6.2 - Encurtamento das barras

Mostra-se, através das Figuras 5.32 a 5.37, o encurtamento das barras B1, B2 e B3 ocorrido nos trechos instrumentados das estacas, durante a aplicação dos carregamentos. Os trechos instrumentados situam-se nas profundidades, de 0 m a 4,5 m com a barra B1, 0 m a 3,0 m com a barra B2 e 0 m a 1,5 m com a barra B3.

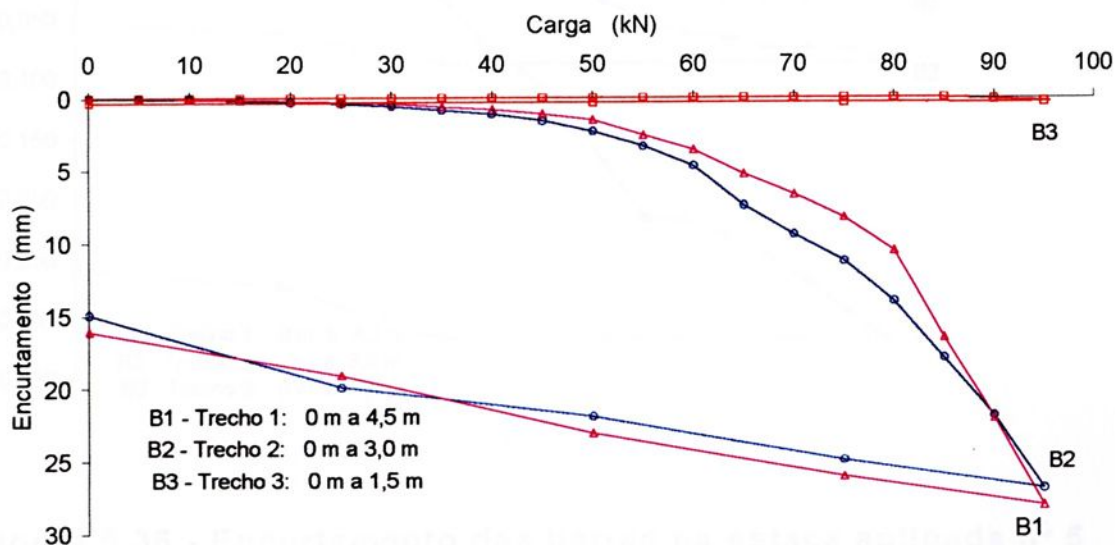
As estacas de SCP nº1 e nº2 ficaram desalinhadas em relação às estacas de reação. Isto provocou a inutilização das barras, B3 da estaca nº1 e barra B2 da estaca nº2, quando da centralização do macaco hidráulico. Os valores numéricos relativos as leituras encontram-se no anexo V.



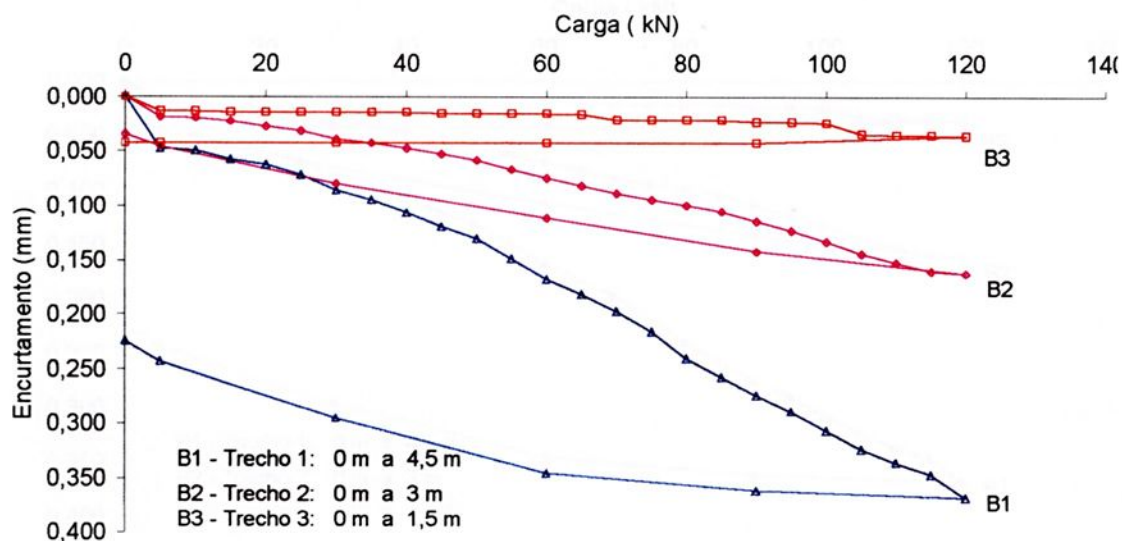
**Figura 5.32 - Encurtamento das barras na estaca apiloada nº1 de SCP**



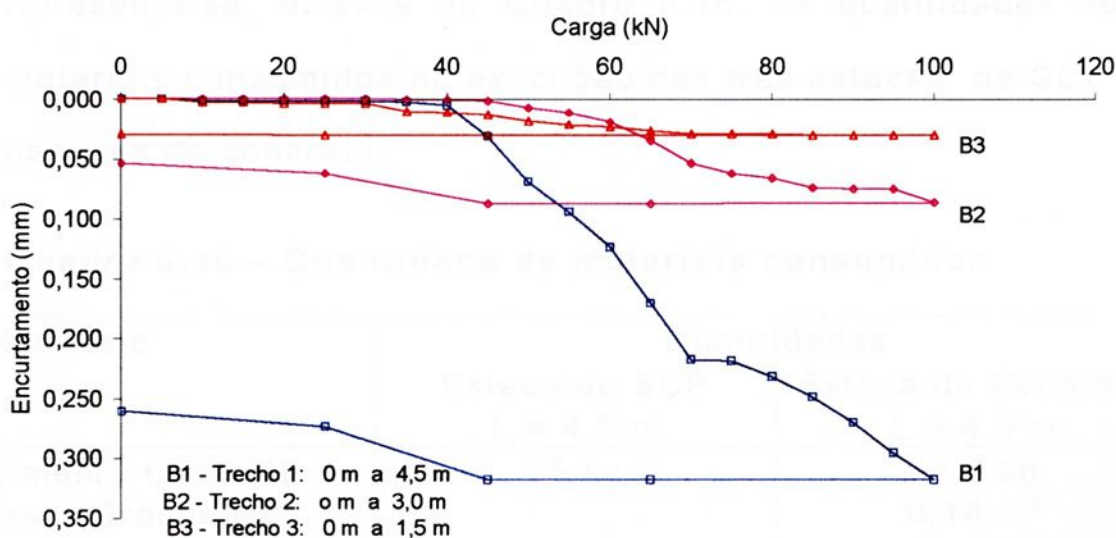
**Figura 5.33 - Encurtamento das barras na estaca apiloada nº 2 de SCP**



**Figura 5.34 - Encurtamento das barras na estaca apiloada nº 3 de SCP**



**Figura 5.35 - Encurtamento das barras na estaca apoiada nº 4 de concreto**



**Figura 5.36 - Encurtamento das barras na estaca apoiada nº 5 de concreto**



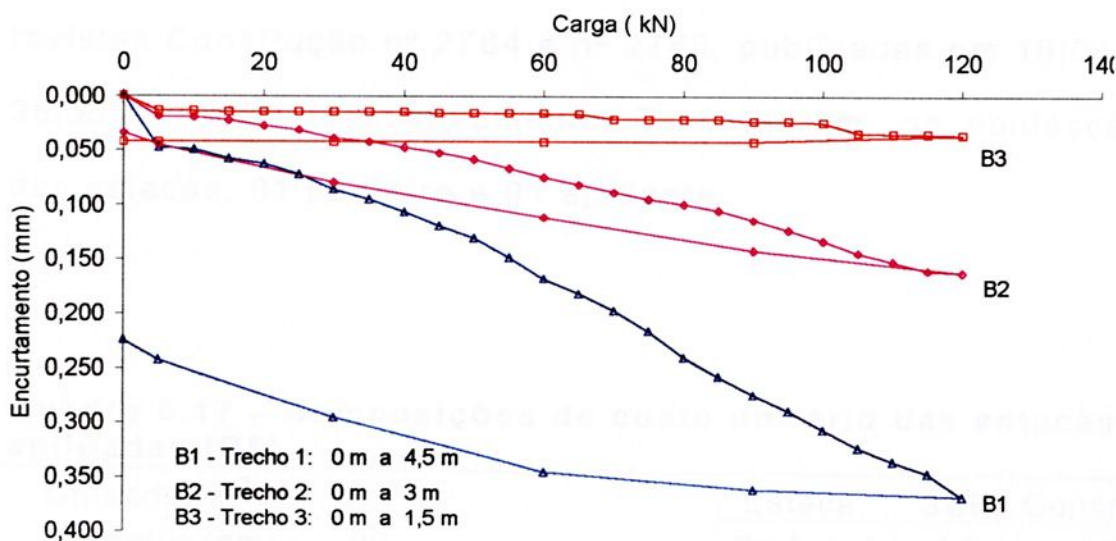


Figura 5.37 - Encurtamento das barras na estaca apiloada nº 6 de concreto

5.7 Custo unitário das estacas de SCP e de concreto

Apresenta-se, através do Quadro 5.16, as quantidades dos materiais consumidos na execução das três estacas de SCP e nas três de concreto.

Quadro 5.16 – Quantidade de materiais consumidos

| Materiais        | Quantidades                |                                 |
|------------------|----------------------------|---------------------------------|
|                  | Estaca de SCP<br>L = 4,5 m | Estaca de Concreto<br>L = 4,5 m |
| Cimento CP32 IIE | 75 kg                      | 91,8 kg                         |
| Areia Grossa     |                            | 0,18 m³                         |
| Cascalho 01      |                            | 0,18 m³                         |
| Solo A4          | 0,27 m³                    |                                 |

Apresenta-se, através do Quadro 5.17, as composições de custo por unidade de volume para o preparo e o lançamento do SCP e do concreto no furo das estacas apiloadas. Os

custos dos materiais e da mão de obra foi obtido através das revistas Construção nº 2784 e nº 2785, publicadas em 18/06 e 25/06 de 2001 respectivamente. Trabalharam, na confecção das estacas, 01 pedreiro e 01 ajudante.

**Quadro 5.17 – Composições de custo unitário das estacas apiloadas (R\$)**

| Unidade (m <sup>3</sup> )                                           |        |                                |                | Estaca:               | SCP          | Concreto       |
|---------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|----------------|
| Diâmetro (cm): 20                                                   |        |                                |                | Prof. (m)             | 4,5          | 4,5            |
| n.o estacas: 3                                                      |        |                                |                | Vol.(m <sup>3</sup> ) | 0,42         | 0,42           |
| Cotação do US\$: R\$2,30                                            |        |                                |                |                       |              |                |
| Insumos                                                             | Cons.  | Unid.                          | Unit.<br>(R\$) | Material<br>(R\$)     | Mdo<br>(R\$) | Total<br>(R\$) |
| <b>Estaca de SCP</b>                                                |        |                                |                |                       |              |                |
| Cimento                                                             | 178,5  | kg/m <sup>3</sup>              | 0,22           | 39,27                 |              | 39,27          |
| Solo                                                                | 0,48   | M <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 3,43           | 1,64                  |              | 1,64           |
| Areia                                                               | 0,16   | M <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 26,79          | 4,28                  |              | 4,28           |
| Pedreiro                                                            | 2      | h/m <sup>3</sup>               | 2,13           |                       | 4,26         | 4,26           |
| Ajudante                                                            | 7      | h/m <sup>3</sup>               | 1,82           |                       | 12,74        | 12,74          |
| Leis Sociais                                                        | 124,46 | %                              |                |                       | 38,16        | 38,16          |
| Betoneira                                                           | 0,7    | h/m <sup>3</sup>               | 0,95           |                       | 0,66         | 0,66           |
| Custo total                                                         |        |                                |                | <b>45,19</b>          | <b>55,82</b> | <b>101,01</b>  |
| <b>Estaca de Concreto</b>                                           |        |                                |                |                       |              |                |
| Cimento                                                             | 218    | kg/m <sup>3</sup>              | 0,22           | 47,96                 |              | 47,96          |
| Areia                                                               | 0,43   | M <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 26,79          | 11,52                 |              | 11,52          |
| Pedra                                                               | 0,43   | M <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 25,43          | 10,93                 |              | 10,93          |
| Pedreiro                                                            | 2      | h/m <sup>3</sup>               | 2,13           |                       | 4,26         | 4,26           |
| Ajudante                                                            | 7      | h/m <sup>3</sup>               | 1,82           |                       | 12,74        | 12,74          |
| Leis Sociais                                                        | 124,46 | %                              |                |                       | 38,16        | 38,16          |
| Betoneira                                                           | 0,7    | h/m <sup>3</sup>               | 0,95           |                       | 0,66         | 0,66           |
| Custo total                                                         |        |                                |                | <b>70,41</b>          | <b>55,82</b> | <b>126,23</b>  |
| Redução do custo total (%):                                         |        |                                |                |                       |              | <b>19,97</b>   |
| Redução do custo considerando-se apenas o consumo de materiais (%): |        |                                |                |                       |              | <b>35,82</b>   |

Quadro 3.2 – Análise granulométrica

| Fração            | Solo1 | Solo2 |
|-------------------|-------|-------|
| Argila (%)        | 27    | 16    |
| Silt (%)          | 11    | 7     |
| Arenofina (%)     | 51,9  | 60    |
| Arenia média (%)  | 0     | 14    |
| Arenia grossa (%) | 0     | 3     |

6. – Discussão

6.1 – Ensaio de laboratórios

Através, dos Quadros 6.1 e 6.2, observa-se que a adição de areia proporcionou aumento do  $\gamma_{s,m\acute{a}x}$ , diminuição da  $W_{ot}$  e diminuição do LP. Isto significa que as características do solo2 em termos de trabalhabilidade, melhorou, ou seja, conseguiu-se melhor trabalhabilidade com valores de teor de umidade menores.

Quadro 6.1 - Índices físicos

| Índices físicos                  | Solo1 | Solo2 |
|----------------------------------|-------|-------|
| $\gamma_{s,m\acute{a}x}$ (KN/m³) | 19,3  | 20,6  |
| $\rho_s$ (g/cm³)                 | 2,75  | 2,72  |
| LL (%)                           | 25,9  | 19,3  |
| LP (%)                           | 17,5  | 13,0  |
| IP (%)                           | 8,4   | 6,3   |
| Wo (%)                           | 12,3  | 9,0   |



**Quadro 6.2 – Análise granulométricas**

| Fração           | Solo1 | Solo2 |
|------------------|-------|-------|
| Argila (%)       | 27    | 16    |
| Silte (%)        | 11    | 7     |
| Areia fina (%)   | 61,9  | 60    |
| Areia média (%)  | 0     | 14    |
| Areia grossa (%) | 0,1   | 3     |

**6.2 – Tensão de ruptura e módulo de elasticidade**

Mostra-se, através dos Quadros 6.3 e 6.4 os valores da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade a 40% da tensão de ruptura dos corpos de prova de SCP utilizando-se o solo1 e o solo2. Os resultados demonstram que a tensão de ruptura dos corpos de prova produzidos com o solo2 é em média 24% inferior em relação aos corpos de prova produzidos com o solo1. Os resultados demonstram também que o módulo de elasticidade dos corpos de prova produzidos com o solo2 é 24% superior em relação aos corpos de prova produzidos com o solo1. O resultado quanto a tensão de ruptura não foi o esperado, pois esperava-se também, que houvesse aumento na tensão de ruptura, pois o fator a/c utilizada na duas misturas foram praticamente o mesmo.

**Quadro 6.3 – Tensão e módulo de elasticidade do SCP produzidos com o solo1 e adição de aditivo**

| Dias | $\sigma_{rup}$<br>(MPa) | $E_{40\%}$<br>(MPa) |
|------|-------------------------|---------------------|
| 7    | 1,98                    | 2649                |
| 28   | 3,69                    | 4172                |
| 56   | 4,79                    | 5286                |
| 120  | 6,47                    | 6532                |

**Quadro 6.4 – Tensão e módulo de elasticidade do SCP produzidos com o solo2 e sem adição de aditivo**

| Dias | $\sigma_{rup}$<br>(MPa) | $E_{40\%}$<br>(MPa) |
|------|-------------------------|---------------------|
| 7    | 1,29                    | 4046                |
| 28   | 2,56                    | 5118                |
| 56   | 3,80                    | 7189                |
| 120  | 6,03                    | 8544                |

### 6.3 Aditivo superplastificante

A adição de aditivo superplastificante na mistura de SCP, não proporcionou resultado em termos de diminuição do fator a/c; ou seja foi preciso usar em torno de 27% a 30% de umidade em relação a massa do solo para obter a trabalhabilidade requerida, teores semelhantes aos usados na produção do SCP sem o uso do aditivo.

### 6.4 Encurtamento

Observa-se, através das Figuras 5.32, 5.33 e 5.34 que a curva que representa o encurtamento sofrido pelo material não

apresentou comportamento linear. Isto indica que pode ter ocorrido deformação plástica após a aplicação da carga de 80 kN. Observa-se, ainda, que após a retirada do carregamento, não houve recuperação dos deslocamentos.

### 6.2 Uso do isopor

Através das Figuras 5.35, 5.36 e 5.37, observa-se que o material das estacas de concreto apresenta comportamento linear, com recuperação dos deslocamento após a retirada dos carregamentos.

## 6.5 Transferência de carga para ponta

Em vista dos resultados obtidos, verifica-se que a resistência de ponta neste tipo de estaca, com pequeno comprimento (4,50m), representa cerca de 40% das cargas máximas obtidas nas provas de carga. As cargas máximas obtidas nas provas de carga para as estacas de SCP representam 94% das obtidas para as estacas de concreto.

## 6.6 Instrumentação

A instrumentação utilizada "tell-tales" não permitiu a obtenção de dados confiáveis para uma análise do comportamento das estacas (SCP e concreto) em termos de transferência de carga em profundidade.





Esta análise será feita em função do comportamento da curva *carga x recalque*, considerando-se o uso do elemento do isopor na ponta das estacas.

## 6.7 Uso do isopor

Observa-se através das Figuras 5.29, 5.30 e 5.31 que o uso do isopor na ponta das estacas de concreto permitiu diferenciar a resistência por atrito lateral da resistência de ponta. Nota-se, através das curvas apresentadas, que a resistência de ponta representa parcela significativa na capacidade de carga de estacas curtas do tipo apiloadas. Observa-se, através da Figura 5.29, que houve inflexão da curva *carga x recalque* a partir da aplicação da carga de 75 kN, sendo que a carga máxima aplicada foi de 130 kN, ou seja 58%. Da mesma maneira, na Figura 5.30, a inflexão da curva aconteceu a partir da aplicação da carga de 55 kN, sendo que a carga máxima aplicada foi de 100 kN, ou seja, 55%. Na Figura 5.31, da mesma forma, a inflexão ocorreu a partir da aplicação da carga de 75 kN, sendo que a carga aplicada foi de 125 kN, ou seja, 60%. Nota-se, portanto para as estacas de concreto ensaiadas, que a resistência de ponta representa cerca de 40% da carga máxima aplicada nos ensaios. Salienta-se que a definição desta carga máxima foi feita, em

cada ensaio, após a constatação da ocorrência de grandes deslocamentos para cargas constantes.

### 6.8 Estacas de solo-cimento

Para as estacas de SCP, o uso do isopor não possibilitou diferenciar a resistência de ponta da resistência por atrito lateral. Isto aconteceu em razão da provável deformação ter ocorrida na parte superior do fuste destas estacas, conforme pode ser observado na Figuras 5.26, 5.27 e 5.28. Desta forma, não houve esmagamento do isopor colocado na ponta das estacas.

### 6.9 Capacidade de carga

A carga máxima média obtida para as estacas de concreto foi de 118 kN, enquanto que para as SCP foi de 112 kN, ou seja, 94% do valor obtido para as estacas de concreto.

Em outras provas de carga realizadas no Campo Experimental da FEIS obteve-se, para estacas com diâmetro igual a 20 cm e comprimento igual a 6 m os seguintes resultados, conforme pode ser observado no Quadro 6.5.



**Quadro 6.5 - Cargas de ruptura e recalque em estacas com 6m de comprimento e 20 cm de diâmetro.**

| Estaca<br>L=6m | Tipo de<br>ensaio | $P_{L,rupt}$<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Diâmetro<br>(cm) |
|----------------|-------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Concreto 1     | Rápido            | 195                  | 45,02            | 20               |
| Concreto 2     | Lento             | 112                  | 44,33            | 20               |
| SCP 1          | Rápido            | 80                   | 31,13            | 20               |
| SCP 2          | Lento             | 108                  | 48,34            | 20               |
| SCP 3          | Rápido            | 92                   | 35,74            | 20               |

Fonte: Segantini (1994)

Os valores de atrito lateral, conforme indicados no Quadro 6.5, indicam que a resistência por atrito lateral para estas estacas de concreto com 6,0 m, em média foi de  $f_{u,c} = 40,8$  KPa. Fazendo esta mesma análise para as estacas com 4,5 m, obtém-se  $f_{u,c} = 24,16$  KPa, valor este que equivale a 60% do  $f_{u,c}$  da estaca de 6,0 m.

Com relação ao SCP, não foi possível, através da instrumentação utilizada, nem com auxílio do isopor, diferenciar a resistência por atrito lateral de resistência de ponta. Além disto, conforme já foi citado, pode ter ocorrido deformação plástica do material.

A análise da capacidade de carga, neste caso, será feita considerando-se a tensão admissível do material. Observa-se que trabalhando com tensões inferiores à tensão admissível,



os recalques obtidos foram bastante reduzidos, conforme observa-se nas Figuras 5.26, 5.27 e 5.28 das provas de carga.

Aos 120 dias, obteve-se em média  $\sigma_{rup,SCP} = 6,0$  MPa. Admitindo-se coeficiente de segurança  $CS = 2,5$ , ou seja, 40% da carga de ruptura, obtém-se 2,4 MPa. A carga máxima a ser considerada, portanto, para a estaca com 20 cm de diâmetro ( $A = 314 \text{ m}^2$ ) é de 75 kN.

Observa-se, portanto que a resistência do material, no caso de estacas de SCP, deve ser criteriosamente investigada, pois corre-se o risco de haver ruptura do material antes da ocorrência de colapso na interação solo-estrutura.

Para a obtenção da carga admissível, no caso de se utilizar estacas de SCP, Segantini (2000) sugere que se trabalhe com resultados de laboratório obtidos aos 28 dias de cura. Seguindo esta sugestão, obtém-se:  $\sigma_{rup,SCP} (28 \text{ dias}) = 2,56$  MPa e  $\bar{\sigma}_{Adm,SCP} = 1,25$  MPa. Desta forma, para a estaca de SCP ensaiada, aplicando-se coeficiente de segurança  $CS = 2,5$ , será de 16 kN. Para esta carga, conforme se observa nas Figuras 5.26, 5.27 e 5.28 e nos Quadros 5.14, 5.15 e 5.16, obtém-se recalques da ordem de 0,07 a 0,08 mm.



No caso de se considerar a idade de 56 dias, obtém-se carga admissível de 24 kN. Da mesma forma, observa-se nas Figuras 5.26, 5.27 e 5.28 e Quadros 5.14, 5.15 e 5.16, que os recalques obtidos nas provas de carga situam-se na casa de 0,07 a 0,08 mm, os quais são plenamente admissíveis para este tipo de fundação.

Sugestiona-se portanto, que em função do cronograma das obras, os projetistas podem lançar mão da idade de 56 dias.

## 6.6 Custos

Os custos obtidos (Quadro 5.15) não representam a realidade em relação ao tempo de execução, pois em condições de obra, o ritmo de moldagem dos elementos é bem diferente daquilo que acontece na obra. Visando não danificar a instrumentação, o ritmo de moldagem dos elementos foi bastante lento. Mas para efeito de comparação do custo de execução entre a estaca de SCP e de concreto, as diferenças de custos em porcentagens obtidas, podem ser consideradas bem próximos as das condições de obra.

O custo de execução por unidade de carga admissível, para as estacas de  $D = 20\text{cm}$ ,  $L = 4,5\text{m}$  e considerando a idade de 28 dias de cura, tem-se para a estaca de SCP um custo de



$$\frac{R\$33,67}{16kN} = 2,10R\$/kN \text{ e para a estaca de concreto } \frac{R\$42,10}{59kN} =$$

0,71R\$/kN, ficando o custo por kN da estaca de concreto, 66% inferior ao custo por kN da estaca de SCP.

No caso de se considerar a idade de 56 dias de cura como parâmetro de resistência, obtém-se para a estaca de SCP um

$$\text{custo de } \frac{R\$33,67}{24kN} = 1,40R\$/kN, \text{ ficando o custo por kN da estaca}$$

de concreto, 49% inferior ao custo por kN da estaca de SCP.





Para estacas com  $D = 20\text{cm}$  e  $L = 4,5\text{m}$ , aplicando-se carregamentos de ordem de  $20\text{ kN}$ , os resultados obtidos permitem concluir que o SCP apresenta boas condições de uso podendo, neste caso, ser utilizado com boa margem de segurança.

## 7. Conclusões e recomendações

Em vista dos resultados obtidos e análises, efetuadas, conclui-se:

- A resistência de ponta em estacas curtas de concreto ( $L = 4,5\text{m}$ ) do tipo apiloada representa parcela significativa, cerca de 40%, na capacidade de carga;
- A carga admissível para as estacas curtas de concreto ( $D = 20\text{cm}$ ,  $L = 4,5\text{m}$ ) é de  $59\text{ kN}$ . Para o caso de se trabalhar em solos porosos, a NBR-6122 prescreve que se deve considerar o efeito da colapsibilidade do solo, pois nestes casos tratam-se de solos potencialmente colapsíveis;
- No caso das estacas de SCP, especial atenção deve ser dada ao comportamento do material em termos de resistência e deformabilidade, sendo imprescindíveis a realização de ensaios do laboratório para obtenção de tensão admissível do material;
- Pesquisas de laboratório devem ser realizadas no sentido de tentar melhorar as características do SCP em termos de resistência e deformabilidade; e



- Para estacas com  $D = 20\text{cm}$  e  $L = 4,5\text{m}$ , aplicando-se carregamentos da ordem de  $20\text{ kN}$ , os resultados obtidos permitem concluir que o SCP apresenta plenas condições de uso, podendo, neste casos ser utilizado com boa margem de segurança;
- A composição de custo por unidade de volume das estacas de  $D = 20\text{cm}$  e  $L = 4,5\text{m}$ , conforme o Quadro 5.14, mostra que o metro cubico do SCP e sua aplicação em estaca apiloada é 20% inferior ao do concreto. No caso de se considerar apenas o consumo com materiais, o índice é de 36%.
- Com os dados até o momento obtidos, conclui-se que as estacas de concreto apresentam uma relação mais favorável em termos de custo por capacidade de carga.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERO J. H., CARVALHO D., LOBO A. S. (1993) *Fundações*. São Paulo SP, ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. Capítulo do Livro *Solos do Interior do Estado de São Paulo*. Edição ABMS.

AOKI, N., VELOSO, D.A., (1975) *An approximate method to estimate the bearing capacity of piles*. IN: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING, 5, Buenos Aires, 1975, Proceedings, v.1, p.367-376.

ARMAM, A.; e SAIFAN, F. (1967). *The effect of delayed compaction on stabilized soil-cement*. Nat. Res. Council-Highway Research Board, Research Rec, p.30-38.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (1986). *Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio*. São Paulo, SP. ABCP, ET-35, 51p.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1986). *Aplicação de solo-cimento em pequenas áreas urbanas*.  
São Paulo, SP. ABCP. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1985). *Construção de paredes monolíticas com solo-cimento compactado*. São Paulo, SP. ABCP. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1985). *Fabricação de tijolos e brocos de solo-cimento com a utilização de prensas hidráulicas*. São Paulo, SP. ABCP. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1985). *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensa manuais*. São Paulo, SP. ABCP. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1984). *Paredes monolíticas de solo-cimento Hospital Adriano Jorge*. São Paulo, SP. ABCP. 44p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1985). *Quadras esportivas de solo-cimento execução manual*.  
São Paulo, SP. ABCP. 11p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP  
(1987). *Solo-cimento na habitação popular*. São Paulo, SP.  
ABCP. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) . NBR  
12131 – *Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio*.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) –  
NBR-6508 - Projeto MB-30/77 – *Determinação da Massa Específica dos Grãos dos Solos.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) –  
NBR-6459 - Projeto MB-30/77 – *Determinação do Limite de Líquidez dos Solos.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) –  
NBR-7180 - Projeto MB-31/77 – *Determinação do Limite de Plasticidade e do Índice de Plasticidade.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) –  
NBR-7181 – Projeto MB-32/77 – *Análise Granulométrica de Solo*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) –  
NBR-7182 – Projeto MB-33/77 – *Ensaio de Compactação.*

BAUER, L.A.F. (1994) *Materiais de Construções – 5ª edição.*  
Livros Técnicos e Científico Editora S.A. p.704-728.

CARVALHO, D., SOUZA, A. (1990) *Análise do efeito do umedecimento do solo em fundações rasas e profundas em solos porosos.* Salvador BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10, v.2, pp.109-114.

CARVALHO, D.; SEGANTINI, A.A.S.; CLARO, A.T.; e MANTILLA, J.N.R. (1997). *Comportamento de estacas escavadas como elemento de fundação em solos arenosos.* In: JORNADAS SUL-



AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 28, São Carlos SP, EESC-USP, v.2, p.527-536.

CEPED (1984). *Manual de construção com solo-cimento*. Camaçari, BA. Convênio CEPED/BNH/ABCP, 147p.

CINTRA, J. C. A. (1995) *Fundações em solos colapsíveis*. São Carlos SP. Tese de Livre Docência. Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP. 124 p.

DECOURT, L., QUARESMA, A. R. (1978). *Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6, Rio de Janeiro, 1987, Anais, v.1, p.45-53.

FERREIRA, R. C., PERES, J. E. E., BENVENUTO, C. (1990) *Uma análise de modelos geotécnicos para previsão de recalques em solos colapsíveis*. Salvador BA, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 10, v.2, p.73-79.

FERREIRA, C. V, (1991) *Caracterização geotécnica do solo residual de arenito da cidade de Bauru-SP*. São Carlos SP. Dissertação de Mestrado. Escola e Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC-USP. 141p.

FREIRE, W. J. (1976) *Tratamento prévio do solo com aditivos químicos e seus efeito sobre a qualidade do solo-cimento*. Piracicaba, SP. Tese de Doutorado, ESALQ, USP, 142p.





- GIACHETI, H. L. (1991). *Estudo experimental de parâmetros dinâmicos de alguns solos tropicais do Estado de São Paulo*. São Carlos SP. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC-USP. 232p.
- GIACHETI, H.L. ; RÖHM, S.A.; NOGUEIRA, J.B.; e CINTRA, J.C.A. (1993). *Propriedades geotécnicas do sedimento cenozóico. São Paulo, SP. IN: Solos do Interior de São Paulo, ABMS/SP, Cap.6, p.143-175.*
- LEVY, S.; e HELENE, P. (1996). *Cura: como, quando e por quê*. São Paulo, SP. Editora Pini, Revista Thécne, jan/fev 1996, n.º 20, p.18-21.
- MELLIOS G. A. (1985). *Provas de carga em solos porosos*. São Paulo SP. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, 1, v.2, p.73-102. ABEF – Associação Brasileira de Engenharia de Fundações.
- MENEZES, S. (1990). *Correlações entre os ensaios de penetração (SPT-CPT) e os resultados de ensaios de laboratório par a região de São Carlos*. São Carlos SP. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC-USP. 181 p.
- SANTOS, L.M. (1983). *Cálculo de Concreto Armado segundo a nova NB-1 e o CEB*. São Paulo, SP. Editora LMS, 2ª edição, v.1, 541p.



- SEGANTINI, A.A.S. (1994). *Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte*. Campinas – SP. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI – UNICAMP. 96p
- SEGANTINI, A.A.S.; CARVALHO, D. (1994). *Aplicação de solo-cimento em fundações para obras de pequeno porte*. Campinas, SP. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, SBEA, 12p.b
- SEGANTINI, A. A. S., CARVALHO, D. (1996). *Provas de carga em estacas moldadas “in-loco” com solo-cimento plástico no solo colapsível de Ilha Solteira*. São Paulo SP. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS, 3, v.2, pp.111-122.
- SEGANTINI, A.A.S. (2000). *Utilização de solo-cimento em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira – SP*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI – UNICAMP – 2000, 226p
- SILVA, M.T. (1994). *Interação solo-estrutura de fundação em estacas de solo-cimento e concreto*. DF. Dissertação de Mestrado, FT, UnB, 101p.
- SILVEIRA, A. (1966). *Estabilização de solos com cimento*. São Carlos, SP. EESC-USP, Notas de Aula, 45p.

Quadro 1.1 - Corpos de prova de BCP com aditivo 7

| Carga<br>(kN) | Deformação<br>Longitudinal<br>1,0 dia<br>(mm) | Deformação<br>Longitudinal<br>2,0 dias<br>(mm) |
|---------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 0             | 0                                             | 0                                              |
| 2,0           | 0                                             | 0                                              |
| 4,0           | 0                                             | 0                                              |
| 6,0           | 30                                            | 31                                             |
| 8,0           | 50                                            | 53                                             |
| 10,0          | 73                                            | 82                                             |
| 12,0          | 95                                            | 124                                            |
| 14,0          | 123                                           | 158                                            |
| 16,0          |                                               | 189                                            |
| 18,0          |                                               | 205                                            |
| 20,0          |                                               | 258                                            |
| 22,0          |                                               | 298                                            |
| 24,0          |                                               | 340                                            |
| 26,0          |                                               | 410                                            |
| 28,0          |                                               | 505                                            |
| 30,0          |                                               | 580                                            |
| 32,0          |                                               | 650                                            |

## ANEXO I

Parâmetros dos ensaios de compressão simples nos  
corpos de prova de solo cimento com aditivo





**Quadro I.1 - Corpo de prova nº 2 de SCP com aditivo aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 2,0           | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 4,0           | 9                                                                               | 8                                                                               |
| 6,0           | 30                                                                              | 31                                                                              |
| 8,0           | 50                                                                              | 60                                                                              |
| 10,0          | 73                                                                              | 92                                                                              |
| 12,0          | 95                                                                              | 124                                                                             |
| 14,0          | 123                                                                             | 155                                                                             |
| 16,0          |                                                                                 | 189                                                                             |
| 18,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 20,0          |                                                                                 | 259                                                                             |
| 22,0          |                                                                                 | 296                                                                             |
| 24,0          |                                                                                 | 340                                                                             |
| 26,0          |                                                                                 | 410                                                                             |
| 28,0          |                                                                                 | 505                                                                             |
| 30,0          |                                                                                 | 680                                                                             |
| 32,0          |                                                                                 | 851                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 2 = 35,0 KN

2-Data do ensaio 22/10/00

**Quadro 1.2 - Corpo de prova nº 3 de SCP com aditivo aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 2,0           | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 4,0           | 9                                                                               | 9                                                                               |
| 6,0           | 25                                                                              | 27                                                                              |
| 8,0           | 42                                                                              | 43                                                                              |
| 10,0          | 61                                                                              | 62                                                                              |
| 12,0          | 81                                                                              | 82                                                                              |
| 14,0          | 105                                                                             | 105                                                                             |
| 16,0          |                                                                                 | 128                                                                             |
| 18,0          |                                                                                 | 160                                                                             |
| 20,0          |                                                                                 | 202                                                                             |
| 22,0          |                                                                                 | 246                                                                             |
| 24,0          |                                                                                 | 307                                                                             |
| 26,0          |                                                                                 | 385                                                                             |
| 28,0          |                                                                                 | 480                                                                             |
| 30,0          |                                                                                 | 620                                                                             |
| 32,0          |                                                                                 | 840                                                                             |
| 34,0          |                                                                                 | 920                                                                             |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 3 = 34,1 KN

2- Data de ensaio 22/10/00

**Quadro I.3 - Corpo de Prova nº 4 de SCP com aditivo aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 2,0           | 1                                                                               | 1                                                                               |
| 4,0           | 16                                                                              | 17                                                                              |
| 6,0           | 33                                                                              | 33                                                                              |
| 8,0           | 49                                                                              | 52                                                                              |
| 10,0          | 68                                                                              | 72                                                                              |
| 12,0          | 88                                                                              | 89                                                                              |
| 14,0          | 109                                                                             | 111                                                                             |
| 16,0          |                                                                                 | 134                                                                             |
| 18,0          |                                                                                 | 165                                                                             |
| 20,0          |                                                                                 | 200                                                                             |
| 22,0          |                                                                                 | 247                                                                             |
| 24,0          |                                                                                 | 305                                                                             |
| 26,0          |                                                                                 | 380                                                                             |
| 28,0          |                                                                                 | 480                                                                             |
| 30,0          |                                                                                 | 610                                                                             |
| 32,0          |                                                                                 | 960                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 4 = 35,0 KN

2-Data de ensaio 22/10/00





**Quadro I.4 - Corpo de prova nº 6 de SCP com aditivo aos 21 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 4,0           | 16                                                                              | 12                                                                              |
| 8,0           | 45                                                                              | 38                                                                              |
| 12,0          | 70                                                                              | 66                                                                              |
| 16,0          | 97                                                                              | 92                                                                              |
| 20,0          | 125                                                                             | 120                                                                             |
| 24,0          | 155                                                                             | 148                                                                             |
| 28,0          | 180                                                                             | 175                                                                             |
| 32,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 36,0          |                                                                                 | 251                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 312                                                                             |
| 44,0          |                                                                                 | 391                                                                             |
| 48,0          |                                                                                 | 492                                                                             |
| 52,0          |                                                                                 | 651                                                                             |
| 56,0          |                                                                                 | 918                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 6 = 60,0 KN

2-Data de ensaio 14/11/00



**Quadro I.5 - Corpo de prova nº 7 de SCP com aditivo aos 21 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 4,0           | 18                                                                              | 13                                                                              |
| 8,0           | 39                                                                              | 36                                                                              |
| 12,0          | 62                                                                              | 58                                                                              |
| 16,0          | 87                                                                              | 83                                                                              |
| 20,0          | 113                                                                             | 109                                                                             |
| 24,0          | 138                                                                             | 134                                                                             |
| 28,0          | 170                                                                             | 164                                                                             |
| 32,0          |                                                                                 | 198                                                                             |
| 36,0          |                                                                                 | 238                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 285                                                                             |
| 44,0          |                                                                                 | 345                                                                             |
| 48,0          |                                                                                 | 413                                                                             |
| 52,0          |                                                                                 | 500                                                                             |
| 56,0          |                                                                                 | 615                                                                             |
| 58,0          |                                                                                 | 795                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 7 = 64,8 KN

2-Data de ensaio 14/11/00



**Quadro I.6 - Corpo de prova nº 8 de SCP com aditivo aos 21 dias**

| Carga (KN) | Leituras Longitudinais 1.o ciclo ( $\Delta l$ ) ( $\text{mm}^{-3}$ ) | Leituras Longitudinais 2.o ciclo ( $\Delta l$ ) ( $\text{mm}^{-3}$ ) |
|------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 0          | 0                                                                    | 0                                                                    |
| 4,0        | 06                                                                   | 05                                                                   |
| 8,0        | 23                                                                   | 22                                                                   |
| 12,0       | 45                                                                   | 44                                                                   |
| 16,0       | 64                                                                   | 64                                                                   |
| 20,0       | 87                                                                   | 86                                                                   |
| 24,0       | 108                                                                  | 110                                                                  |
| 28,0       | 131                                                                  | 132                                                                  |
| 32,0       |                                                                      | 155                                                                  |
| 36,0       |                                                                      | 186                                                                  |
| 40,0       |                                                                      | 224                                                                  |
| 44,0       |                                                                      | 269                                                                  |
| 48,0       |                                                                      | 323                                                                  |
| 52,0       |                                                                      | 395                                                                  |
| 56,0       |                                                                      | 484                                                                  |
| 60,0       |                                                                      | 608                                                                  |
| 64,0       |                                                                      | 925                                                                  |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 8 = 66,4 KN

2-Data de ensaio 14/11/00



**Quadro 1.7 - Corpo de prova nº 10 de SCP com aditivo aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 7                                                                               | 7                                                                               |
| 10,0          | 31                                                                              | 31                                                                              |
| 15,0          | 58                                                                              | 57                                                                              |
| 20,0          | 84                                                                              | 84                                                                              |
| 25,0          | 110                                                                             | 111                                                                             |
| 30,0          | 139                                                                             | 139                                                                             |
| 35,0          | 166                                                                             | 165                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 197                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 230                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 271                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 315                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 439                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 528                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 642                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 820                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 10 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 12/12/00

**Quadro 1.8 - Corpo de prova nº 11 de SCP com aditivo aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 13                                                                              | 12                                                                              |
| 10,0          | 36                                                                              | 34                                                                              |
| 15,0          | 57                                                                              | 55                                                                              |
| 20,0          | 80                                                                              | 79                                                                              |
| 25,0          | 103                                                                             | 101                                                                             |
| 30,0          | 125                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 150                                                                             | 145                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 175                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 210                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 250                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 295                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 350                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 420                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 510                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 632                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 11 = 81,8 KN

2-Data de ensaio 12/12/00

**Quadro I.9 - Corpo de prova nº 12 de SCP com aditivo aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 12 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 12/12/00



**Quadro I.10 - Corpo de prova nº 14 de SCP com aditivo aos 120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 14 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 19/02/01



**Quadro I.11 - Corpo de prova nº 15 de SCP com aditivo aos 120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 15 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 19/02/01



**Quadro I.12 - Corpo de prova nº 16 de SCP com aditivo aos 120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 16 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 19/02/01





**Quadro I.13 - Corpo de prova nº 18 de SCP com aditivo aos 180 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 18 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 28/06/01

**Quadro I.14 - Corpo de prova nº 19 de SCP com aditivo aos 180 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 19 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 28/06/01

**Quadro I.15 - Corpo de prova nº 20 de SCP com aditivo aos 180 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 0             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 5,0           | 6                                                                               | 6                                                                               |
| 10,0          | 29                                                                              | 30                                                                              |
| 15,0          | 52                                                                              | 51                                                                              |
| 20,0          | 75                                                                              | 75                                                                              |
| 25,0          | 94                                                                              | 100                                                                             |
| 30,0          | 123                                                                             | 123                                                                             |
| 35,0          | 146                                                                             | 144                                                                             |
| 40,0          |                                                                                 | 173                                                                             |
| 45,0          |                                                                                 | 205                                                                             |
| 50,0          |                                                                                 | 239                                                                             |
| 55,0          |                                                                                 | 277                                                                             |
| 60,0          |                                                                                 | 328                                                                             |
| 65,0          |                                                                                 | 390                                                                             |
| 70,0          |                                                                                 | 465                                                                             |
| 75,0          |                                                                                 | 570                                                                             |

1-Carga de ruptura do corpo de prova nº 20 = 85,0 KN

2-Data de ensaio 28/06/01





Quadro II.1 - Corpo de prova nº 2 ensaio de concreto aos 7 dias

| Carga (KN) | Leituras Longitudinais 1.º ciclo (mm) | Leituras Longitudinais 2.º ciclo (mm) |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 15         | 3                                     | 4                                     |
| 30         | 17                                    | 30                                    |
| 45         | 33                                    | 53                                    |
| 60         | 46                                    | 65                                    |
| 75         | 58                                    | 76                                    |
| 90         | 74                                    | 95                                    |
| 105        | 87                                    | 109                                   |
| 120        |                                       | 124                                   |
| 135        |                                       | 139                                   |
| 150        |                                       | 158                                   |
| 165        |                                       | 181                                   |
| 180        |                                       | 178                                   |
| 195        |                                       | 221                                   |
| 210        |                                       | 362                                   |

## ANEXO II

Parâmetro dos ensaios de compressão simples  
nos corpos de prova de concreto

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 2 = 343 KN
- 2- Data do ensaio 05/12/00

**Quadro II.1 - Corpo de prova nº 2 estaca de concreto aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 15            | 3                                                                               | 4                                                                               |
| 30            | 17                                                                              | 18                                                                              |
| 45            | 33                                                                              | 33                                                                              |
| 60            | 46                                                                              | 48                                                                              |
| 75            | 59                                                                              | 61                                                                              |
| 90            | 74                                                                              | 75                                                                              |
| 105           | 87                                                                              | 89                                                                              |
| 120           |                                                                                 | 104                                                                             |
| 135           |                                                                                 | 119                                                                             |
| 150           |                                                                                 | 138                                                                             |
| 165           |                                                                                 | 161                                                                             |
| 180           |                                                                                 | 178                                                                             |
| 195           |                                                                                 | 221                                                                             |
| 210           |                                                                                 | 362                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 2 = 243 KN

2- Data do ensaio 05/12/00

**Quadro II. 2 - Corpo de prova nº 3 estaca de concreto aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 15            | 3                                                                               | 4                                                                               |
| 30            | 12                                                                              | 15                                                                              |
| 45            | 26                                                                              | 29                                                                              |
| 60            | 36                                                                              | 38                                                                              |
| 75            | 48                                                                              | 49                                                                              |
| 90            | 59                                                                              | 62                                                                              |
| 105           | 71                                                                              | 73                                                                              |
| 120           |                                                                                 | 86                                                                              |
| 135           |                                                                                 | 102                                                                             |
| 150           |                                                                                 | 115                                                                             |
| 165           |                                                                                 | 133                                                                             |
| 180           |                                                                                 | 154                                                                             |
| 195           |                                                                                 | 179                                                                             |
| 210           |                                                                                 | 210                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 3 = 248 KN

2- Data de ensaio 05/12/00

**Quadro II. 3 - Corpo de prova nº 4 estaca de concreto aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 15            | 0                                                                               | 6                                                                               |
| 30            | 11                                                                              | 17                                                                              |
| 45            | 22                                                                              | 28                                                                              |
| 60            | 33                                                                              | 39                                                                              |
| 75            | 45                                                                              | 52                                                                              |
| 90            | 56                                                                              | 63                                                                              |
| 105           | 68                                                                              | 75                                                                              |
| 120           |                                                                                 | 87                                                                              |
| 135           |                                                                                 | 102                                                                             |
| 150           |                                                                                 | 118                                                                             |
| 165           |                                                                                 | 137                                                                             |
| 180           |                                                                                 | 159                                                                             |
| 195           |                                                                                 | 179                                                                             |
| 210           |                                                                                 | 232                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 4 = 237 KN

2- Data de ensaio 05/12/00



**Quadro II. 4 - Corpo de prova nº 6 estaca de concreto aos 28 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 15            | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 30            | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 45            | 8                                                                               | 8                                                                               |
| 60            | 18                                                                              | 17                                                                              |
| 75            | 27                                                                              | 27                                                                              |
| 90            | 36                                                                              | 37                                                                              |
| 105           | 46                                                                              | 47                                                                              |
| 120           | 55                                                                              | 56                                                                              |
| 135           |                                                                                 | 67                                                                              |
| 150           |                                                                                 | 79                                                                              |
| 165           |                                                                                 | 92                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 104                                                                             |
| 195           |                                                                                 | 118                                                                             |
| 210           |                                                                                 | 136                                                                             |
| 225           |                                                                                 | 149                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 177                                                                             |
| 255           |                                                                                 | 198                                                                             |
| 270           |                                                                                 | 210                                                                             |
| 285           |                                                                                 | 236                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 268                                                                             |
| 315           |                                                                                 | 307                                                                             |
| 330           |                                                                                 | 361                                                                             |

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 6 = 345 KN  
 2- Data de ensaio 21/12/00



**Quadro II. 5 - Corpo de prova nº 7 estaca de concreto aos 28 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 15            | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 30            | 7                                                                               | 7                                                                               |
| 45            | 17                                                                              | 17                                                                              |
| 60            | 28                                                                              | 28                                                                              |
| 75            | 38                                                                              | 38                                                                              |
| 90            | 48                                                                              | 48                                                                              |
| 105           | 56                                                                              | 57                                                                              |
| 120           | 65                                                                              | 65                                                                              |
| 135           |                                                                                 | 77                                                                              |
| 150           |                                                                                 | 88                                                                              |
| 165           |                                                                                 | 100                                                                             |
| 180           |                                                                                 | 113                                                                             |
| 195           |                                                                                 | 126                                                                             |
| 210           |                                                                                 | 140                                                                             |
| 225           |                                                                                 | 157                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 175                                                                             |
| 255           |                                                                                 | 195                                                                             |
| 270           |                                                                                 | 214                                                                             |
| 285           |                                                                                 | 239                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 271                                                                             |
| 315           |                                                                                 | 305                                                                             |
| 330           |                                                                                 | 355                                                                             |
| 345           |                                                                                 | 432                                                                             |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 7 = 352 KN  
 2- Data de ensaio 21/12/00

**Quadro II. 6 - Corpo de prova nº 8 estaca de concreto aos 28 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 15            | 1                                                                               | 1                                                                               |
| 30            | 14                                                                              | 14                                                                              |
| 45            | 27                                                                              | 27                                                                              |
| 60            | 39                                                                              | 40                                                                              |
| 75            | 51                                                                              | 52                                                                              |
| 90            | 62                                                                              | 63                                                                              |
| 105           | 73                                                                              | 75                                                                              |
| 120           | 85                                                                              | 85                                                                              |
| 135           |                                                                                 | 98                                                                              |
| 150           |                                                                                 | 111                                                                             |
| 165           |                                                                                 | 125                                                                             |
| 180           |                                                                                 | 139                                                                             |
| 195           |                                                                                 | 155                                                                             |
| 210           |                                                                                 | 172                                                                             |
| 225           |                                                                                 | 194                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 215                                                                             |
| 255           |                                                                                 | 242                                                                             |
| 270           |                                                                                 | 273                                                                             |
| 285           |                                                                                 | 310                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 360                                                                             |
| 315           |                                                                                 | 430                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 8 = 327 KN

2- Data de ensaio 21/12/00

**Quadro II. 7 - Corpo de prova nº 10 estaca de concreto aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 20            | 6                                                                               | 5                                                                               |
| 40            | 15                                                                              | 19                                                                              |
| 60            | 32                                                                              | 33                                                                              |
| 80            | 44                                                                              | 44                                                                              |
| 100           | 56                                                                              | 56                                                                              |
| 120           | 68                                                                              | 68                                                                              |
| 140           | 79                                                                              | 80                                                                              |
| 160           | 92                                                                              | 96                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 108                                                                             |
| 200           |                                                                                 | 123                                                                             |
| 220           |                                                                                 | 139                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 155                                                                             |
| 260           |                                                                                 | 175                                                                             |
| 280           |                                                                                 | 197                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 223                                                                             |
| 320           |                                                                                 | 256                                                                             |
| 340           |                                                                                 | 295                                                                             |
| 360           |                                                                                 | 359                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 10 = 374 KN

2- Data de ensaio 25/01/01



**Quadro II. 8 - Corpo de prova nº 11 estaca de concreto aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 20            | 4                                                                               | 5                                                                               |
| 40            | 17                                                                              | 18                                                                              |
| 60            | 29                                                                              | 32                                                                              |
| 80            | 41                                                                              | 43                                                                              |
| 100           | 53                                                                              | 55                                                                              |
| 120           | 66                                                                              | 68                                                                              |
| 140           | 79                                                                              | 79                                                                              |
| 160           |                                                                                 | 94                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 107                                                                             |
| 200           |                                                                                 | 124                                                                             |
| 220           |                                                                                 | 141                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 160                                                                             |
| 260           |                                                                                 | 181                                                                             |
| 280           |                                                                                 | 206                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 234                                                                             |
| 320           |                                                                                 | 252                                                                             |
| 340           |                                                                                 | 318                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 11 = 367 KN  
 2- Data de ensaio 25/01/01

**Quadro II. 9 - Corpo de prova nº 12 estaca de concreto aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 20            | 3                                                                               | 3                                                                               |
| 40            | 13                                                                              | 13                                                                              |
| 60            | 22                                                                              | 23                                                                              |
| 80            | 32                                                                              | 32                                                                              |
| 100           | 42                                                                              | 42                                                                              |
| 120           | 51                                                                              | 53                                                                              |
| 140           | 63                                                                              | 63                                                                              |
| 160           |                                                                                 | 75                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 90                                                                              |
| 200           |                                                                                 | 105                                                                             |
| 220           |                                                                                 | 124                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 156                                                                             |
| 260           |                                                                                 | 189                                                                             |
| 280           |                                                                                 | 259                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 12 = 308 KN

2- Data de ensaio 25/01/01

**Quadro II. 10 - Corpo de prova nº 14 estaca de concreto aos 120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 20            | 5                                                                               | 4                                                                               |
| 40            | 18                                                                              | 15                                                                              |
| 60            | 29                                                                              | 28                                                                              |
| 80            | 42                                                                              | 40                                                                              |
| 100           | 54                                                                              | 52                                                                              |
| 120           | 66                                                                              | 64                                                                              |
| 140           | 77                                                                              | 76                                                                              |
| 160           | 89                                                                              | 88                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 103                                                                             |
| 200           |                                                                                 | 118                                                                             |
| 220           |                                                                                 | 134                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 150                                                                             |
| 260           |                                                                                 | 169                                                                             |
| 280           |                                                                                 | 194                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 219                                                                             |
| 320           |                                                                                 | 249                                                                             |
| 340           |                                                                                 | 290                                                                             |
| 360           |                                                                                 | 344                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 14 = 385 KN  
 2- Data de ensaio 26/03/01

**Quadro II. 10 - Corpo de prova nº 15 estaca de concreto  
120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 20            | 0                                                                               | 2                                                                               |
| 40            | 13                                                                              | 14                                                                              |
| 60            | 24                                                                              | 25                                                                              |
| 80            | 35                                                                              | 37                                                                              |
| 100           | 46                                                                              | 48                                                                              |
| 120           | 57                                                                              | 60                                                                              |
| 140           | 69                                                                              | 71                                                                              |
| 160           | 82                                                                              | 83                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 99                                                                              |
| 200           |                                                                                 | 114                                                                             |
| 220           |                                                                                 | 128                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 145                                                                             |
| 260           |                                                                                 | 164                                                                             |
| 280           |                                                                                 | 183                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 205                                                                             |
| 320           |                                                                                 | 230                                                                             |
| 340           |                                                                                 | 258                                                                             |
| 360           |                                                                                 | 295                                                                             |
| 380           |                                                                                 | 345                                                                             |
| 400           |                                                                                 | 415                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 15 = 419 KN

2- Data de ensaio 26/03/01





**Quadro II. 11 - Corpo de prova nº 16 estaca de concreto  
120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 20            | 0                                                                               | 2                                                                               |
| 40            | 12                                                                              | 14                                                                              |
| 60            | 28                                                                              | 27                                                                              |
| 80            | 39                                                                              | 38                                                                              |
| 100           | 50                                                                              | 51                                                                              |
| 120           | 60                                                                              | 62                                                                              |
| 140           | 73                                                                              | 74                                                                              |
| 160           | 85                                                                              | 86                                                                              |
| 180           |                                                                                 | 100                                                                             |
| 200           |                                                                                 | 118                                                                             |
| 220           |                                                                                 | 132                                                                             |
| 240           |                                                                                 | 148                                                                             |
| 260           |                                                                                 | 170                                                                             |
| 280           |                                                                                 | 188                                                                             |
| 300           |                                                                                 | 208                                                                             |
| 320           |                                                                                 | 232                                                                             |
| 340           |                                                                                 | 262                                                                             |
| 360           |                                                                                 | 301                                                                             |
| 380           |                                                                                 | 348                                                                             |
| 400           |                                                                                 | 420                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 16 = 413 KN

2- Data de ensaio 26/03/0

Quadro III.1 - Corpo de prova nº 2 de SCP sem aditivo aos 7 dias

| Carga (kN) | Leituras Longitudinais 1º ciclo (Al) (mm <sup>3</sup> ) | Leituras Longitudinais 2º ciclo (Al) (mm <sup>3</sup> ) |
|------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1          | 0                                                       | 0                                                       |
| 2          | 0                                                       | 0                                                       |
| 3          | 0                                                       | 2                                                       |
| 4          | 0                                                       | 6                                                       |
| 5          | 8                                                       | 18                                                      |
| 6          | 15                                                      | 22                                                      |
| 7          | 23                                                      | 31                                                      |
| 8          | 32                                                      | 40                                                      |
| 9          | 41                                                      | 49                                                      |
| 10         |                                                         | 51                                                      |
| 11         |                                                         | 72                                                      |
| 12         |                                                         | 87                                                      |
| 13         |                                                         | 114                                                     |
| 14         |                                                         | 122                                                     |
| 15         |                                                         | 143                                                     |
| 16         |                                                         | 210                                                     |
| 17         |                                                         | 269                                                     |
| 18         |                                                         | 369                                                     |
| 19         |                                                         | 444                                                     |
| 20         |                                                         | 555                                                     |
| 21         |                                                         |                                                         |
| 22         |                                                         |                                                         |

### ANEXO III

Parâmetro dos ensaios de compressão simples nos corpos de prova de solo cimento (sem aditivo) utilizado nas estacas apiloadas

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 2 = 23,4 kN  
 2- Data de ensaio 05/17/00

**Quadro III.1 - Corpo de prova nº 2 de SCP sem aditivo aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 2             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 3             | 0                                                                               | 2                                                                               |
| 4             | 0                                                                               | 8                                                                               |
| 5             | 8                                                                               | 15                                                                              |
| 6             | 15                                                                              | 22                                                                              |
| 7             | 23                                                                              | 31                                                                              |
| 8             | 32                                                                              | 40                                                                              |
| 9             | 41                                                                              | 49                                                                              |
| 10            |                                                                                 | 61                                                                              |
| 11            |                                                                                 | 73                                                                              |
| 12            |                                                                                 | 87                                                                              |
| 13            |                                                                                 | 104                                                                             |
| 14            |                                                                                 | 122                                                                             |
| 15            |                                                                                 | 143                                                                             |
| 16            |                                                                                 | 175                                                                             |
| 17            |                                                                                 | 210                                                                             |
| 18            |                                                                                 | 259                                                                             |
| 19            |                                                                                 | 299                                                                             |
| 20            |                                                                                 | 377                                                                             |
| 21            |                                                                                 | 444                                                                             |
| 22            |                                                                                 | 565                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 2 = 23,4 KN

2- Data de ensaio 05/12/00

**Quadro III.2 - Corpo de prova nº 3 de SCP sem aditivo aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 2             | 0                                                                               | 1                                                                               |
| 3             | 2                                                                               | 10                                                                              |
| 4             | 4                                                                               | 17                                                                              |
| 5             | 10                                                                              | 26                                                                              |
| 6             | 15                                                                              | 37                                                                              |
| 7             | 20                                                                              | 48                                                                              |
| 8             | 28                                                                              | 62                                                                              |
| 9             |                                                                                 | 75                                                                              |
| 10            |                                                                                 | 91                                                                              |
| 11            |                                                                                 | 106                                                                             |
| 12            |                                                                                 | 121                                                                             |
| 13            |                                                                                 | 136                                                                             |
| 14            |                                                                                 | 152                                                                             |
| 15            |                                                                                 | 169                                                                             |
| 16            |                                                                                 | 177                                                                             |
| 17            |                                                                                 | 202                                                                             |
| 18            |                                                                                 | 222                                                                             |
| 19            |                                                                                 | 241                                                                             |
| 20            |                                                                                 | 278                                                                             |
| 21            |                                                                                 | 315                                                                             |
| 22            |                                                                                 | 475                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 3 = 22,5 KN

2- Data de ensaio 05/12/00



**Quadro III.3 - Corpo de prova nº 4 de SCP sem aditivo aos 7 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 2             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 3             | 1                                                                               | 3                                                                               |
| 4             | 6                                                                               | 8                                                                               |
| 5             | 13                                                                              | 14                                                                              |
| 6             | 21                                                                              | 23                                                                              |
| 7             | 31                                                                              | 31                                                                              |
| 8             | 37                                                                              | 39                                                                              |
| 9             |                                                                                 | 48                                                                              |
| 10            |                                                                                 | 59                                                                              |
| 11            |                                                                                 | 69                                                                              |
| 12            |                                                                                 | 83                                                                              |
| 13            |                                                                                 | 94                                                                              |
| 14            |                                                                                 | 115                                                                             |
| 15            |                                                                                 | 133                                                                             |
| 16            |                                                                                 | 162                                                                             |
| 17            |                                                                                 | 191                                                                             |
| 18            |                                                                                 | 215                                                                             |
| 19            |                                                                                 | 225                                                                             |
| 20            |                                                                                 | 240                                                                             |
| 21            |                                                                                 | 330                                                                             |
| 22            |                                                                                 | 480                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 4 = 22,4 KN

2- Data de ensaio 05/12/00



**Quadro III.4 - Corpo de prova nº 6 de SCP sem aditivo aos 28 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>(Δl)<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>(Δl)<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 2             | 0                                                                     | 0                                                                     |
| 4             | 9                                                                     | 9                                                                     |
| 6             | 22                                                                    | 21                                                                    |
| 8             | 33                                                                    | 33                                                                    |
| 10            | 45                                                                    | 45                                                                    |
| 12            | 56                                                                    | 56                                                                    |
| 14            | 69                                                                    | 69                                                                    |
| 16            | 82                                                                    | 81                                                                    |
| 18            |                                                                       | 98                                                                    |
| 20            |                                                                       | 112                                                                   |
| 22            |                                                                       | 133                                                                   |
| 24            |                                                                       | 152                                                                   |
| 26            |                                                                       | 179                                                                   |
| 28            |                                                                       | 205                                                                   |
| 30            |                                                                       | 240                                                                   |
| 32            |                                                                       | 278                                                                   |
| 34            |                                                                       | 329                                                                   |
| 36            |                                                                       | 380                                                                   |
| 38            |                                                                       | 450                                                                   |
| 40            |                                                                       | 530                                                                   |
| 42            |                                                                       | 635                                                                   |
|               |                                                                       |                                                                       |
|               |                                                                       |                                                                       |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 6 = 44,4 KN  
2- Data de ensaio 21/12/00

**Quadro III.5 - Corpo de prova nº 7 de SCP sem aditivo aos 28 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 4             | 6                                                                               | 7                                                                               |
| 6             | 18                                                                              | 20                                                                              |
| 8             | 30                                                                              | 31                                                                              |
| 10            | 42                                                                              | 44                                                                              |
| 12            | 53                                                                              | 55                                                                              |
| 15            | 64                                                                              | 66                                                                              |
| 16            | 76                                                                              | 78                                                                              |
| 18            |                                                                                 | 91                                                                              |
| 20            |                                                                                 | 105                                                                             |
| 22            |                                                                                 | 121                                                                             |
| 24            |                                                                                 | 140                                                                             |
| 26            |                                                                                 | 156                                                                             |
| 28            |                                                                                 | 180                                                                             |
| 30            |                                                                                 | 205                                                                             |
| 32            |                                                                                 | 238                                                                             |
| 34            |                                                                                 | 245                                                                             |
| 36            |                                                                                 | 320                                                                             |
| 38            |                                                                                 | 375                                                                             |
| 40            |                                                                                 | 440                                                                             |
| 42            |                                                                                 | 550                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 7 = 44,0 KN

2- Data de ensaio 21/12/00

**Quadro III.6 - Corpo de prova nº 8 de SCP sem aditivo aos 28 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 4             | 2                                                                               | 2                                                                               |
| 6             | 9                                                                               | 9                                                                               |
| 8             | 15                                                                              | 17                                                                              |
| 10            | 25                                                                              | 26                                                                              |
| 12            | 34                                                                              | 35                                                                              |
| 14            | 43                                                                              | 43                                                                              |
| 16            | 52                                                                              | 53                                                                              |
| 18            |                                                                                 | 64                                                                              |
| 20            |                                                                                 | 73                                                                              |
| 22            |                                                                                 | 86                                                                              |
| 24            |                                                                                 | 100                                                                             |
| 26            |                                                                                 | 115                                                                             |
| 28            |                                                                                 | 135                                                                             |
| 30            |                                                                                 | 154                                                                             |
| 32            |                                                                                 | 175                                                                             |
| 34            |                                                                                 | 203                                                                             |
| 36            |                                                                                 | 235                                                                             |
| 38            |                                                                                 | 271                                                                             |
| 40            |                                                                                 | 320                                                                             |
| 42            |                                                                                 | 380                                                                             |
| 44            |                                                                                 | 460                                                                             |
| 46            |                                                                                 | 590                                                                             |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 8 = 47,4 KN

2- Data de ensaio 21/12/00





**Quadro III.7 - Corpo de prova nº 10 de SCP sem aditivo aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>(Δl)<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>(Δl)<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 4             | 3                                                                     | 4                                                                     |
| 8             | 18                                                                    | 19                                                                    |
| 12            | 33                                                                    | 34                                                                    |
| 16            | 50                                                                    | 51                                                                    |
| 20            | 68                                                                    | 67                                                                    |
| 24            | 85                                                                    | 84                                                                    |
| 28            | 103                                                                   | 103                                                                   |
| 32            |                                                                       | 122                                                                   |
| 36            |                                                                       | 146                                                                   |
| 40            |                                                                       | 172                                                                   |
| 44            |                                                                       | 200                                                                   |
| 48            |                                                                       | 232                                                                   |
| 52            |                                                                       | 277                                                                   |
| 56            |                                                                       | 319                                                                   |
| 60            |                                                                       | 377                                                                   |
| 64            |                                                                       | 468                                                                   |
| 68            |                                                                       | 600                                                                   |
|               |                                                                       |                                                                       |
|               |                                                                       |                                                                       |
|               |                                                                       |                                                                       |
|               |                                                                       |                                                                       |
|               |                                                                       |                                                                       |
|               |                                                                       |                                                                       |

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 10 = 72,0 KN
- 2- Data de ensaio 25/01/01

**Quadro III.8 - Corpo de prova nº 11 de SCP sem aditivo aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 4             | 4                                                                               | 5                                                                               |
| 8             | 17                                                                              | 20                                                                              |
| 12            | 34                                                                              | 36                                                                              |
| 16            | 51                                                                              | 52                                                                              |
| 20            | 67                                                                              | 68                                                                              |
| 24            | 84                                                                              | 84                                                                              |
| 28            | 98                                                                              | 101                                                                             |
| 32            |                                                                                 | 118                                                                             |
| 36            |                                                                                 | 138                                                                             |
| 40            |                                                                                 | 165                                                                             |
| 44            |                                                                                 | 199                                                                             |
| 48            |                                                                                 | 240                                                                             |
| 52            |                                                                                 | 295                                                                             |
| 56            |                                                                                 | 364                                                                             |
| 60            |                                                                                 | 456                                                                             |
| 64            |                                                                                 | 589                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 11 = 68,0 KN  
2- Data de ensaio 25/01/01

**Quadro III.9 - Corpo de prova nº 12 de SCP sem aditivo aos 56 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 4             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 8             | 8                                                                               | 8                                                                               |
| 12            | 20                                                                              | 20                                                                              |
| 16            | 32                                                                              | 35                                                                              |
| 20            | 46                                                                              | 46                                                                              |
| 24            | 59                                                                              | 60                                                                              |
| 28            | 74                                                                              | 75                                                                              |
| 32            |                                                                                 | 92                                                                              |
| 36            |                                                                                 | 130                                                                             |
| 40            |                                                                                 | 168                                                                             |
| 44            |                                                                                 | 196                                                                             |
| 50            |                                                                                 | 329                                                                             |
| 54            |                                                                                 | 246                                                                             |
| 58            |                                                                                 | 310                                                                             |
| 62            |                                                                                 | 412                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 12 = 62,0 KN

2- Data de ensaio 25/01/01

**Quadro III.10 - Corpo de prova nº 14 de SCP sem aditivo aos 120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 4             | 0                                                                               | 0                                                                               |
| 8             | 7                                                                               | 6                                                                               |
| 12            | 18                                                                              | 15                                                                              |
| 16            | 30                                                                              | 28                                                                              |
| 20            | 43                                                                              | 41                                                                              |
| 24            | 55                                                                              | 53                                                                              |
| 28            | 66                                                                              | 66                                                                              |
| 32            | 77                                                                              | 77                                                                              |
| 36            | 89                                                                              | 88                                                                              |
| 40            | 102                                                                             | 100                                                                             |
| 44            |                                                                                 | 114                                                                             |
| 50            |                                                                                 | 127                                                                             |
| 54            |                                                                                 | 141                                                                             |
| 58            |                                                                                 | 157                                                                             |
| 62            |                                                                                 | 174                                                                             |
| 66            |                                                                                 | 193                                                                             |
| 70            |                                                                                 | 213                                                                             |
| 74            |                                                                                 | 236                                                                             |
| 78            |                                                                                 | 265                                                                             |
| 82            |                                                                                 | 297                                                                             |
| 86            |                                                                                 | 338                                                                             |
| 90            |                                                                                 | 391                                                                             |
| 94            |                                                                                 | 473                                                                             |
| 98            |                                                                                 | 670                                                                             |

1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 14 = 96,0 KN

2- Data de ensaio 26/03/01







**Quadro III.12 - Corpo de prova nº 14 de SCP sem aditivo aos 120 dias**

| Carga<br>(KN) | Leituras<br>Longitudinais<br>1.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) | Leituras<br>Longitudinais<br>2.o ciclo<br>( $\Delta l$ )<br>(mm <sup>-3</sup> ) |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 6             | 10                                                                              | 5                                                                               |
| 12            | 31                                                                              | 26                                                                              |
| 18            | 49                                                                              | 43                                                                              |
| 24            | 67                                                                              | 61                                                                              |
| 30            | 87                                                                              | 80                                                                              |
| 36            | 105                                                                             | 99                                                                              |
| 42            | 125                                                                             | 116                                                                             |
| 48            |                                                                                 | 137                                                                             |
| 64            |                                                                                 | 158                                                                             |
| 70            |                                                                                 | 181                                                                             |
| 76            |                                                                                 | 205                                                                             |
| 82            |                                                                                 | 233                                                                             |
| 88            |                                                                                 | 260                                                                             |
| 94            |                                                                                 | 296                                                                             |
| 100           |                                                                                 | 338                                                                             |
| 106           |                                                                                 | 390                                                                             |
| 112           |                                                                                 | 478                                                                             |
| 118           |                                                                                 | 570                                                                             |
| 124           |                                                                                 | 830                                                                             |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |
|               |                                                                                 |                                                                                 |

- 1- Carga de ruptura do corpo de prova nº 12 = 116,0 KN  
 2- Data de ensaio 26/03/01

Quadro IV.4 – Estaca apiloadas de SCP nº7

Estaca apiloadas SCP-1

Ensaio rápido

Diâmetro: 30 cm

Data: 03/04/01

Profundidade: 4,3 m

Região: 83 m/s

| Tempo<br>(min.) | Carga<br>(kgf) | Letras<br>(x-2) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) | R4<br>(mm) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) |
|-----------------|----------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0               | 0              | 50017           | 149,83     | 143,74     | 149,53     | 149,78     | 0,02       | 0,00       |            |
| 5               | 300            | 50077           | 149,82     | 143,74     | 149,53     | 149,72     | 0,02       | 0,02       |            |
| 10              | 1000           | 50117           | 149,78     | 143,72     | 149,50     | 149,62     | 0,09       | 0,07       |            |
| 15              | 1500           | 50137           | 149,68     | 143,63     | 149,36     | 149,46     | 0,10       | 0,15       |            |
| 20              | 2000           | 50197           | 149,49     | 143,48     | 149,20     | 149,21     | 0,31       | 0,28       |            |
| 25              | 2500           | 50237           | 149,14     | 143,12     | 148,73     | 148,75     | 0,39       | 0,46       |            |
| 30              | 3000           | 50277           | 148,50     | 143,49     | 148,91     | 148,02     | 0,89       | 0,73       |            |
| 35              | 3500           | 50317           | 147,48     | 141,46     | 146,13     | 146,90     | 1,39       | 1,23       |            |
| 40              | 4000           | 50357           | 146,22     | 140,09     | 145,43     | 145,48     | 1,97       | 1,72       |            |
| 45              | 4500           | 50397           | 143,47     | 137,88     | 143,13     | 142,37     | 2,08       | 2,01       |            |
| 50              | 5000           | 50437           | 141,83     | 135,33     | 140,66     | 140,66     | 3,94       | 2,24       |            |
| 55              | 5500           | 50478           | 133,97     | 122,51     | 137,42     | 138,23     | 4,79       | 3,33       |            |
| 60              | 6000           | 50518           | 135,38     | 126,70     | 133,32     | 133,90     |            |            |            |
| 65              | 6500           | 50558           | 139,85     | 131,13     | 138,33     | 138,33     |            |            |            |
| 70              | 7000           | 50598           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |
| 75              | 7500           | 50638           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |
| 80              | 8000           | 50678           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |
| 85              | 8500           | 50718           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |
| 90              | 9000           | 50758           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |
| 95              | 9500           | 50798           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |
| 100             | 10000          | 50838           | 141,68     | 133,75     | 140,09     | 140,09     | 5,49       | 3,81       |            |

ANEXO IV

Características das estacas e valores das leituras obtidas nos relógios comparadores nas provas de carga realizadas nas estacas apiloadas de concreto e SCP

**Quadro IV.4 – Estaca apiloada de SCP nº1**

Estaca apiloada SCP-1

Ensaio rápido

Diâmetro: 20 cm

Data: 03/04/01

Profundidade : 4,5 m

Isopor : 50 mm

| Tempo<br>(min.) | Carga<br>(kgf) | Leitura<br>(µe) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) | R4<br>(mm) | B1<br>(mm) | B2<br>(mm) | B3<br>(mm) |
|-----------------|----------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0               | 0              | 50037           | 149,83     | 143,74     | 149,53     | 149,78     | 0,02       | 0,00       |            |
| 5               | 500            | 50077           | 149,82     | 143,74     | 149,53     | 149,72     | 0,02       | 0,02       |            |
| 10              | 1000           | 50117           | 149,78     | 143,72     | 149,50     | 149,62     | 0,09       | 0,07       |            |
| 15              | 1500           | 50157           | 149,66     | 143,63     | 149,36     | 149,46     | 0,19       | 0,15       |            |
| 20              | 2000           | 50197           | 149,49     | 143,48     | 149,16     | 149,21     | 0,31       | 0,28       |            |
| 25              | 2500           | 50237           | 149,14     | 143,12     | 148,75     | 148,76     | 0,51       | 0,46       |            |
| 30              | 3000           | 50277           | 148,50     | 142,49     | 148,01     | 148,02     | 0,89       | 0,79       |            |
| 35              | 3500           | 50317           | 147,48     | 141,46     | 146,85     | 146,90     | 1,39       | 1,23       |            |
| 40              | 4000           | 50357           | 146,22     | 140,09     | 145,43     | 145,48     | 1,97       | 1,72       |            |
| 45              | 4500           | 50397           | 143,47     | 137,88     | 143,13     | 143,27     | 3,06       | 2,55       |            |
| 50              | 5000           | 50437           | 141,83     | 135,53     | 140,66     | 140,90     | 3,91       | 3,24       |            |
| 55              | 5500           | 50478           | 138,97     | 132,51     | 137,42     | 138,82     | 4,74       | 3,93       |            |
| 60              | 6000           | 50518           | 135,39     | 126,70     | 133,32     | 133,90     | 5,65       | 4,67       |            |
| 65              | 6500           | 50558           | 129,95     | 123,13     | 127,40     | 126,12     | 6,74       | 5,64       |            |
| 70              | 7000           | 50598           | 123,32     | 116,41     | 120,37     | 121,16     | 7,74       | 6,51       |            |
| 75              | 7500           | 50638           | 114,03     | 107,01     | 110,79     | 111,62     | 9,62       | 8,21       |            |
| 80              | 8000           | 50678           | 105,05     | 97,93      | 101,44     | 102,36     | 12,32      | 10,62      |            |
| 85              | 8500           | 50718           | 89,41      | 85,19      | 88,10      | 87,83      | 17,87      | 16,13      |            |
| 90              | 9000           | 50758           | 80,23      | 76,96      | 80,54      | 79,27      | 25,06      | 22,98      |            |
| 95              | 9500           | 50798           | 70,83      | 68,61      | 72,46      | 70,09      | 32,75      | 30,35      |            |
| 100             | 10000          | 50838           | 58,22      | 57,16      | 61,54      | 57,97      | 43,45      | 40,70      |            |



**Quadro IV.5 – Estaca apiloada de SCP nº2**

Estaca apiloada SCP-2

Ensaio rápido

Diâmetro: 20 cm

Data: 16/04/01

Profundidade : 4,5 m

Isopor : 50 mm

| Tempo<br>(min.) | Carga<br>(kgf) | Leitura<br>( $\mu$ e) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) | R4<br>(mm) | B1<br>(mm) | B2<br>(mm) | B3<br>(mm) |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0               | 0              | 50037                 | 49,78      | 49,62      | 50,20      | 49,69      | 0,78       |            | 1,75       |
| 5               | 500            | 50077                 | 49,78      | 49,57      | 50,20      | 49,69      | 0,80       |            | 1,75       |
| 10              | 1000           | 50117                 | 49,78      | 49,53      | 50,20      | 49,69      | 0,82       |            | 1,75       |
| 15              | 1500           | 50157                 | 49,78      | 49,49      | 50,20      | 49,68      | 0,84       |            | 1,75       |
| 20              | 2000           | 50197                 | 49,75      | 49,43      | 50,20      | 49,68      | 0,87       |            | 1,75       |
| 25              | 2500           | 50237                 | 49,71      | 49,38      | 50,20      | 49,68      | 0,90       |            | 1,75       |
| 30              | 3000           | 50277                 | 49,66      | 49,31      | 50,20      | 49,68      | 0,93       |            | 1,75       |
| 35              | 3500           | 50317                 | 49,61      | 49,24      | 50,20      | 49,68      | 0,96       |            | 1,75       |
| 40              | 4000           | 50357                 | 49,56      | 49,16      | 50,20      | 49,68      | 0,99       |            | 1,75       |
| 45              | 4500           | 50397                 | 49,47      | 49,07      | 50,20      | 49,68      | 1,02       |            | 1,75       |
| 50              | 5000           | 50437                 | 49,40      | 48,96      | 50,20      | 49,66      | 1,06       |            | 1,75       |
| 55              | 5500           | 50478                 | 49,30      | 48,83      | 50,20      | 49,62      | 1,11       |            | 1,75       |
| 60              | 6000           | 50518                 | 49,21      | 48,69      | 50,20      | 49,57      | 1,15       |            | 1,75       |
| 65              | 6500           | 50558                 | 49,04      | 48,56      | 49,74      | 49,45      | 1,20       |            | 1,75       |
| 70              | 7000           | 50598                 | 48,87      | 48,31      | 49,66      | 49,29      | 1,27       |            | 1,75       |
| 75              | 7500           | 50638                 | 48,45      | 47,87      | 49,09      | 48,90      | 1,35       |            | 1,75       |
| 80              | 8000           | 50678                 | 47,72      | 47,10      | 48,37      | 48,21      | 1,49       |            | 1,75       |
| 85              | 8500           | 50718                 | 46,77      | 46,08      | 47,36      | 47,26      | 1,65       |            | 1,75       |
| 90              | 9000           | 50758                 | 45,55      | 44,78      | 46,20      | 46,01      | 1,90       |            | 1,75       |
| 95              | 9500           | 50798                 | 44,04      | 43,17      | 44,53      | 44,46      | 2,14       |            | 1,75       |
| 100             | 10000          | 50838                 | 41,41      | 40,38      | 41,70      | 41,83      | 2,35       |            | 1,75       |
| 105             | 10500          | 50558                 | 37,83      | 36,50      | 37,79      | 38,20      | 2,69       |            | 1,75       |
| 110             | 11000          | 50397                 | 34,47      | 32,84      | 34,21      | 34,71      | 3,01       |            | 1,75       |
| 115             | 11500          | 50958                 | 30,13      | 28,42      | 29,71      | 30,46      | 3,31       |            | 1,75       |
| 120             | 12000          | 50998                 | 23,76      | 21,84      | 22,21      | 24,04      | 3,86       |            | 1,75       |
| 125             | 12500          | 51038                 | 15,94      | 13,80      | 15,21      | 16,23      | 4,91       |            | 1,75       |
| 130             | 13000          | 51078                 | 10,55      | 8,15       | 9,78       | 11,05      | 4,74       |            | 1,75       |
| 135             | 13500          | 51118                 | 5,29       | 2,97       | 5,28       | 6,48       | 7,13       |            | 1,75       |

**Quadro IV.6 – Estaca apiloada de SCP nº3**

Estaca apiloada SCP-3

Ensaio rápido

Diâmetro: 20 cm

Data: 13/03/01

Profundidade : 4,5 m

Isopor : 50 mm

| Tempo<br>(min.) | Carga<br>(kgf) | Leitura<br>( $\mu$ e) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) | R4<br>(mm) | B1<br>(mm) | B2<br>(mm) | B3<br>(mm) |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0               | 0              | 50037                 | 97,77      | 98,52      | 91,72      | 97,17      | 0,000      | 0,000      | 0,000      |
| 5               | 500            | 50077                 | 97,77      | 98,52      | 91,64      | 97,16      | 0,057      | 0,039      | 0,000      |
| 10              | 1000           | 50117                 | 97,77      | 98,52      | 91,54      | 97,16      | 0,124      | 0,096      | 0,000      |
| 15              | 1500           | 50157                 | 97,77      | 98,52      | 91,44      | 97,16      | 0,202      | 0,152      | 0,000      |
| 20              | 2000           | 50197                 | 97,74      | 98,48      | 91,31      | 97,16      | 0,302      | 0,233      | 0,000      |
| 25              | 2500           | 50237                 | 97,67      | 98,38      | 91,12      | 97,16      | 0,422      | 0,333      | 0,000      |
| 30              | 3000           | 50277                 | 97,52      | 95,13      | 90,81      | 97,00      | 0,602      | 0,442      | 0,000      |
| 35              | 3500           | 50317                 | 97,25      | 97,72      | 90,40      | 96,75      | 0,842      | 0,631      | 0,000      |
| 40              | 4000           | 50357                 | 96,75      | 97,07      | 89,71      | 96,35      | 1,112      | 0,812      | 0,000      |
| 45              | 4500           | 50397                 | 95,87      | 95,97      | 89,57      | 95,32      | 1,528      | 1,137      | 0,000      |
| 50              | 5000           | 50437                 | 94,43      | 94,24      | 86,84      | 93,82      | 2,312      | 1,532      | 0,000      |
| 55              | 5500           | 50478                 | 92,18      | 91,64      | 84,21      | 91,23      | 3,352      | 2,577      | 0,000      |
| 60              | 6000           | 50518                 | 88,91      | 88,62      | 80,57      | 87,40      | 4,722      | 3,597      | 0,000      |
| 65              | 6500           | 50558                 | 83,78      | 83,14      | 74,95      | 83,23      | 7,472      | 5,297      | 0,000      |
| 70              | 7000           | 50598                 | 78,73      | 77,54      | 69,25      | 78,03      | 9,452      | 6,727      | 0,000      |
| 75              | 7500           | 50638                 | 72,78      | 70,94      | 62,71      | 72,33      | 11,272     | 8,297      | 0,000      |
| 80              | 8000           | 50678                 | 64,48      | 62,04      | 63,47      | 63,83      | 14,072     | 10,577     | 0,000      |
| 85              | 8500           | 50718                 | 48,00      | 49,60      | 44,12      | 47,09      | 17,972     | 16,547     | 0,023      |
| 90              | 9000           | 50758                 | 34,20      | 34,70      | 27,32      | 30,42      | 21,972     | 22,132     | 0,155      |
| 95              | 9500           | 50798                 | 12,25      | 12,96      | 4,72       | 11,78      | 26,972     | 28,132     | 0,342      |
| 100             | 10000          | 50838                 | 11,88      | 11,86      | 4,46       | 11,54      | 24,972     | 26,132     | 0,342      |



**Quadro IV.1 – Estaca apiloada de concreto nº4**

Estaca apiloada CON-4

Ensaio rápido

Diâmetro: 20 cm

Data: 26/03/01

Profundidade : 4,5 m

Isopor : 50 mm

| Tempo<br>(min.) | Carga<br>(kgf) | Leitura<br>( $\mu$ e) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) | R4<br>(mm) | B1<br>(mm) | B2<br>(mm) | B3<br>(mm) |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0               | 0              | 50037                 | 96,23      | 96,56      | 95,47      | 96,61      | 0          | 0          | 0          |
| 5               | 500            | 50077                 | 96,23      | 96,56      | 95,47      | 96,61      | 0,005      | 0,012      | 0          |
| 10              | 1000           | 50117                 | 96,23      | 96,56      | 95,47      | 96,61      | 0,013      | 0,028      | 0,001      |
| 15              | 1500           | 50157                 | 96,22      | 96,55      | 95,46      | 96,60      | 0,021      | 0,029      | 0,002      |
| 20              | 2000           | 50197                 | 96,14      | 96,47      | 95,38      | 96,52      | 0,026      | 0,031      | 0,004      |
| 25              | 2500           | 50237                 | 96,00      | 96,33      | 95,24      | 96,38      | 0,048      | 0,039      | 0,016      |
| 30              | 3000           | 50277                 | 95,67      | 96,00      | 94,91      | 96,05      | 0,060      | 0,044      | 0,023      |
| 35              | 3500           | 50317                 | 95,08      | 95,41      | 94,32      | 95,46      | 0,087      | 0,059      | 0,032      |
| 40              | 4000           | 50357                 | 94,31      | 94,64      | 93,55      | 94,69      | 0,101      | 0,064      | 0,040      |
| 45              | 4500           | 50397                 | 93,02      | 93,35      | 92,26      | 93,40      | 0,110      | 0,069      | 0,049      |
| 50              | 5000           | 50437                 | 90,94      | 91,27      | 90,18      | 91,32      | 0,146      | 0,096      | 0,062      |
| 55              | 5500           | 50478                 | 87,71      | 88,04      | 86,95      | 88,09      | 0,166      | 0,113      | 0,076      |
| 60              | 6000           | 50518                 | 83,00      | 83,33      | 82,24      | 83,38      | 0,185      | 0,123      | 0,095      |
| 65              | 6500           | 50558                 | 74,93      | 75,26      | 74,17      | 75,31      | 0,209      | 0,136      | 0,113      |
| 70              | 7000           | 50598                 | 61,13      | 61,46      | 60,37      | 61,51      | 0,245      | 0,142      | 0,135      |
| 75              | 7500           | 50638                 | 43,79      | 42,99      | 43,60      | 42,99      | 0,306      | 0,144      | 0,161      |
| 80              | 8000           | 50678                 | 34,78      | 33,92      | 34,58      | 35,25      | 0,346      | 0,145      | 0,178      |
| 85              | 8500           | 50718                 | 28,52      | 27,65      | 28,33      | 29,10      | 0,385      | 0,147      | 0,197      |
| 90              | 9000           | 50758                 | 20,38      | 22,48      | 23,18      | 21,36      | 0,418      | 0,154      | 0,211      |
| 95              | 9500           | 50798                 | 18,31      | 17,40      | 18,11      | 16,32      | 0,451      | 0,166      | 0,224      |
| 100             | 10000          | 50838                 | 14,19      | 13,27      | 14,00      | 12,19      | 0,481      | 0,177      | 0,243      |
| 105             | 10500          | 50558                 | 10,51      | 9,56       | 10,32      | 8,50       | 0,500      | 0,186      | 0,258      |
| 110             | 11000          | 50397                 | 6,52       | 5,58       | 6,37       | 4,53       | 0,539      | 0,198      | 0,277      |

**Quadro IV.2 – Estaca apiloada de concreto nº5**

Estaca apiloada CON-5

Ensaio rápido

Diâmetro: 20 cm

Data: 20/03/01

Profundidade : 4,5 m

Isopor : 50 mm

| Tempo<br>(min.) | Carga<br>(kgf) | Leitura<br>( $\mu$ e) | R1<br>(mm) | R2<br>(mm) | R3<br>(mm) | R4<br>(mm) | B1<br>(mm) | B2<br>(mm) | B3<br>(mm) |
|-----------------|----------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 0               | 0              | 50037                 | 144,84     | 149,67     | 148,95     | 146,53     | 0,000      | 0,000      | 0,000      |
| 5               | 500            | 50077                 | 144,83     | 149,67     | 148,95     | 146,53     | 0,000      | 0,000      | 0,000      |
| 10              | 1000           | 50117                 | 144,81     | 149,67     | 148,95     | 146,53     | 0,002      | 0,000      | 0,003      |
| 15              | 1500           | 50157                 | 144,73     | 149,61     | 148,87     | 146,48     | 0,002      | 0,000      | 0,003      |
| 20              | 2000           | 50197                 | 144,38     | 149,30     | 148,52     | 146,18     | 0,002      | 0,000      | 0,004      |
| 25              | 2500           | 50237                 | 143,42     | 148,33     | 147,58     | 145,27     | 0,002      | 0,000      | 0,004      |
| 30              | 3000           | 50277                 | 141,80     | 146,71     | 145,95     | 143,69     | 0,002      | 0,000      | 0,004      |
| 35              | 3500           | 50317                 | 137,73     | 142,58     | 142,88     | 139,69     | 0,003      | 0,001      | 0,011      |
| 40              | 4000           | 50357                 | 131,59     | 136,37     | 135,73     | 133,65     | 0,006      | 0,001      | 0,012      |
| 45              | 4500           | 50397                 | 120,02     | 124,78     | 123,20     | 122,18     | 0,032      | 0,002      | 0,014      |
| 50              | 5000           | 50437                 | 104,43     | 109,13     | 108,39     | 106,60     | 0,069      | 0,008      | 0,019      |
| 55              | 5500           | 50478                 | 86,74      | 89,58      | 89,02      | 87,62      | 0,095      | 0,012      | 0,022      |
| 60              | 6000           | 50518                 | 80,75      | 83,58      | 83,58      | 80,55      | 0,124      | 0,020      | 0,024      |
| 65              | 6500           | 50558                 | 76,48      | 79,29      | 78,72      | 76,38      | 0,171      | 0,035      | 0,027      |
| 70              | 7000           | 50598                 | 73,44      | 76,27      | 75,70      | 73,44      | 0,218      | 0,054      | 0,030      |
| 75              | 7500           | 50638                 | 70,47      | 73,25      | 72,71      | 70,47      | 0,219      | 0,062      | 0,030      |
| 80              | 8000           | 50678                 | 67,82      | 70,57      | 70,07      | 67,88      | 0,232      | 0,066      | 0,030      |
| 85              | 8500           | 50718                 | 64,97      | 67,68      | 67,20      | 65,03      | 0,249      | 0,074      | 0,031      |
| 90              | 9000           | 50758                 | 61,97      | 60,62      | 60,18      | 61,05      | 0,271      | 0,075      | 0,031      |
| 95              | 9500           | 50798                 | 48,15      | 50,80      | 50,31      | 48,29      | 0,296      | 0,075      | 0,031      |
| 100             | 10000          | 50838                 | 31,10      | 33,65      | 33,22      | 31,26      | 0,318      | 0,087      | 0,031      |
| 105             | 10500          | 50558                 | 30,70      | 33,31      | 32,79      | 30,82      | 0,318      | 0,088      | 0,031      |
| 110             | 11000          | 50397                 | 30,71      | 33,31      | 32,81      | 30,82      | 0,318      | 0,088      | 0,031      |
| 115             | 11500          | 50958                 | 30,85      | 33,31      | 32,92      | 30,89      | 0,274      | 0,062      | 0,031      |



**Quadro IV.3 – Estaca apiloada de Concreto nº6**

Estaca apiloada CON-6

Ensaio rápido

Diâmetro: 20 cm

Data: 02/04/01

Profundidade : 4,5 m

Isopor : 50 mm

| Tempo  | Carga | Leitura | R1     | R2     | R3     | R4     | B1    | B2    | B3    |
|--------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| (min.) | (kgf) | (µe)    | (mm)   | (mm)   | (mm)   | (mm)   | (mm)  | (mm)  | (mm)  |
| 0      | 0     | 50037   | 148,71 | 149,64 | 149,94 | 142,73 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 5      | 500   | 50077   | 148,71 | 149,64 | 149,94 | 142,73 | 0,048 | 0,019 | 0,014 |
| 10     | 1000  | 50117   | 148,71 | 149,61 | 149,94 | 142,70 | 0,050 | 0,020 | 0,014 |
| 15     | 1500  | 50157   | 148,68 | 149,53 | 149,94 | 142,61 | 0,058 | 0,023 | 0,015 |
| 20     | 2000  | 50197   | 148,52 | 149,53 | 149,79 | 142,43 | 0,063 | 0,028 | 0,015 |
| 25     | 2500  | 50237   | 148,15 | 148,97 | 149,41 | 142,05 | 0,072 | 0,032 | 0,015 |
| 30     | 3000  | 50277   | 147,43 | 148,25 | 148,70 | 141,32 | 0,086 | 0,040 | 0,015 |
| 35     | 3500  | 50317   | 146,46 | 147,26 | 147,73 | 140,34 | 0,095 | 0,043 | 0,015 |
| 40     | 4000  | 50357   | 145,02 | 145,81 | 146,37 | 138,91 | 0,107 | 0,048 | 0,015 |
| 45     | 4500  | 50397   | 142,93 | 143,74 | 144,30 | 136,83 | 0,120 | 0,053 | 0,016 |
| 50     | 5000  | 50437   | 140,03 | 140,83 | 141,46 | 133,95 | 0,131 | 0,059 | 0,016 |
| 55     | 5500  | 50478   | 135,83 | 136,61 | 137,34 | 129,78 | 0,149 | 0,067 | 0,016 |
| 60     | 6000  | 50518   | 128,77 | 129,64 | 130,38 | 122,77 | 0,168 | 0,075 | 0,016 |
| 65     | 6500  | 50558   | 118,01 | 118,82 | 119,83 | 112,09 | 0,182 | 0,082 | 0,017 |
| 70     | 7000  | 50598   | 104,93 | 105,72 | 106,83 | 99,02  | 0,198 | 0,089 | 0,022 |
| 75     | 7500  | 50638   | 88,41  | 89,20  | 89,53  | 84,69  | 0,217 | 0,095 | 0,022 |
| 80     | 8000  | 50678   | 82,17  | 83,00  | 83,38  | 78,52  | 0,241 | 0,100 | 0,022 |
| 85     | 8500  | 50718   | 78,28  | 79,10  | 79,52  | 74,62  | 0,258 | 0,106 | 0,022 |
| 90     | 9000  | 50758   | 75,37  | 76,20  | 76,63  | 71,72  | 0,275 | 0,115 | 0,022 |
| 95     | 9500  | 50798   | 72,80  | 73,63  | 74,10  | 69,14  | 0,290 | 0,124 | 0,024 |
| 100    | 10000 | 50838   | 70,24  | 71,08  | 71,58  | 66,60  | 0,308 | 0,134 | 0,025 |
| 105    | 10500 | 50558   | 67,33  | 68,17  | 68,71  | 63,70  | 0,325 | 0,145 | 0,035 |
| 110    | 11000 | 50397   | 63,86  | 64,69  | 65,28  | 60,23  | 0,337 | 0,153 | 0,036 |
| 115    | 11500 | 50958   | 57,18  | 58,03  | 58,63  | 53,60  | 0,348 | 0,161 | 0,036 |
| 120    | 12000 | 50998   | 41,85  | 41,03  | 41,45  | 39,30  | 0,369 | 0,163 | 0,037 |
| 125    | 12500 | 51038   | 23,69  | 23,95  | 24,39  | 22,17  | 0,362 | 0,160 | 0,043 |

Quadro V.1 - Cargas, recalques e encurtamento das estacas apoiada de SCP sem aditivo

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento das estacas |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m - 4,5m    | Trecho 2<br>4,5m - 9m | Trecho 3<br>9m - 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,00                     | 0,00                  |                       | 0,000                            |
| 5             | 0,02             | 0,00                     | 0,02                  |                       | 0,000                            |
| 10            | 0,08             | 0,07                     | 0,07                  |                       | 0,000                            |
| 15            | 0,10             | 0,12                     | 0,13                  |                       | 0,000                            |
| 20            | 0,32             | 0,29                     | 0,28                  |                       | 0,000                            |
| 35            | 0,75             | 0,49                     | 0,46                  |                       | 0,000                            |
| 40            | 1,47             | 0,87                     | 0,79                  |                       | 0,000                            |
| 45            | 2,55             | 1,37                     | 1,23                  |                       | 0,000                            |
| 50            | 3,61             | 1,95                     | 1,72                  |                       | 0,240                            |
| 55            | 5,28             | 3,04                     | 2,55                  |                       | 0,630                            |
| 60            | 8,48             | 3,83                     | 3,24                  |                       | 1,300                            |
| 65            | 11,29            | 4,72                     | 3,93                  |                       | 2,640                            |
| 70            | 15,39            | 5,63                     | 4,67                  |                       | 3,930                            |
| 75            | 21,07            | 6,72                     | 5,04                  |                       | 5,710                            |
| 80            | 27,91            | 7,72                     | 5,51                  |                       | 7,880                            |
| 85            | 35,33            | 9,80                     | 6,21                  |                       | 10,130                           |
| 90            | 46,53            | 12,50                    | 10,32                 |                       | 12,500                           |
| 95            | 60,59            | 17,55                    | 15,13                 |                       | 15,130                           |
| 100           | 83,50            | 24,43                    | 20,53                 |                       | 20,530                           |
| 105           | 113,44           | 33,05                    | 28,53                 |                       | 28,530                           |

ANEXO V

Cargas, recalques e encurtamento das estacas apoiada de SCP sem aditivo e de concreto

**Quadro V.1 – Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloada de SCP nº 1**

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento da estaca |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m – 4,5m  | Trecho 2<br>0m – 3,0m | Trecho 3<br>0m – 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,00                   | 0,00                  |                       | 0,000                            |
| 5             | 0,02             | 0,00                   | 0,02                  |                       | 0,000                            |
| 10            | 0,06             | 0,07                   | 0,07                  |                       | 0,000                            |
| 15            | 0,19             | 0,17                   | 0,15                  |                       | 0,000                            |
| 20            | 0,39             | 0,29                   | 0,28                  |                       | 0,000                            |
| 25            | 0,78             | 0,49                   | 0,46                  |                       | 0,000                            |
| 30            | 1,47             | 0,87                   | 0,79                  |                       | 0,000                            |
| 35            | 2,55             | 1,37                   | 1,23                  |                       | 0,000                            |
| 40            | 3,91             | 1,95                   | 1,72                  |                       | 0,240                            |
| 45            | 6,28             | 3,04                   | 2,55                  |                       | 0,690                            |
| 50            | 8,49             | 3,89                   | 3,24                  |                       | 1,360                            |
| 55            | 11,29            | 4,72                   | 3,93                  |                       | 2,640                            |
| 60            | 15,39            | 5,63                   | 4,67                  |                       | 5,090                            |
| 65            | 21,07            | 6,72                   | 5,64                  |                       | 8,710                            |
| 70            | 27,91            | 7,72                   | 6,51                  |                       | 13,680                           |
| 75            | 37,36            | 9,60                   | 8,21                  |                       | 19,550                           |
| 80            | 46,53            | 12,30                  | 10,62                 |                       | 23,610                           |
| 85            | 60,59            | 17,85                  | 16,13                 |                       | 26,610                           |
| 90            | 68,97            | 25,04                  | 22,98                 |                       | 20,950                           |
| 95            | 77,72            | 32,73                  | 30,35                 |                       | 14,640                           |
| 100           | 89,50            | 43,43                  | 40,70                 |                       | 5,370                            |
| 105           | 113,44           | 58,05                  | 55,98                 |                       | 0,000                            |



## Quadro V.2 - Cargas, recalques e encurtamento da estaca

## Quadro V.2 - Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloada de SCP nº 2

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento da estaca |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m – 4,5m  | Trecho 2<br>0m – 3,0m | Trecho 3<br>0m – 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,00                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 5             | 0,01             | 0,02                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 10            | 0,02             | 0,04                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 15            | 0,03             | 0,06                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 20            | 0,06             | 0,09                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 25            | 0,08             | 0,12                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 30            | 0,11             | 0,15                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 35            | 0,14             | 0,18                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 40            | 0,17             | 0,21                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 45            | 0,22             | 0,24                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 50            | 0,27             | 0,28                   |                       | 0,00                  | 0,00                             |
| 55            | 0,34             | 0,33                   |                       | 0,00                  | 0,01                             |
| 60            | 0,45             | 0,37                   |                       | 0,00                  | 0,08                             |
| 65            | 0,63             | 0,42                   |                       | 0,00                  | 0,21                             |
| 70            | 0,79             | 0,49                   |                       | 0,01                  | 0,29                             |
| 75            | 1,25             | 0,57                   |                       | 0,01                  | 0,67                             |
| 80            | 1,97             | 0,71                   |                       | 0,01                  | 1,25                             |
| 85            | 2,96             | 0,87                   |                       | 0,01                  | 2,08                             |
| 90            | 4,19             | 1,12                   |                       | 0,01                  | 3,06                             |
| 95            | 5,77             | 1,36                   |                       | 0,01                  | 4,40                             |
| 100           | 8,49             | 1,57                   |                       | 0,01                  | 6,91                             |
| 105           | 12,24            | 1,91                   |                       | 0,01                  | 10,33                            |
| 110           | 15,79            | 2,23                   |                       | 0,01                  | 13,56                            |
| 115           | 20,14            | 2,53                   |                       | 0,01                  | 17,60                            |
| 120           | 26,86            | 3,08                   |                       | 0,01                  | 23,77                            |
| 125           | 34,53            | 4,13                   |                       | 0,01                  | 30,39                            |
| 130           | 39,94            | 4,96                   |                       | 0,01                  | 34,97                            |
| 135           | 44,82            | 6,35                   |                       | 0,01                  | 38,46                            |



**Quadro V.3 - Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloada de SCP nº 3**

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento da estaca |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m – 4,5m  | Trecho 2<br>0m – 3,0m | Trecho 3<br>0m – 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,000                  | 0,000                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 5             | 0,02             | 0,057                  | 0,039                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 10            | 0,05             | 0,124                  | 0,096                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 15            | 0,07             | 0,202                  | 0,152                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 20            | 0,12             | 0,302                  | 0,233                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 25            | 0,21             | 0,422                  | 0,333                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 30            | 0,43             | 0,602                  | 0,442                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 35            | 0,76             | 0,842                  | 0,631                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 40            | 1,33             | 1,112                  | 0,812                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 45            | 2,11             | 1,582                  | 1,137                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 50            | 3,96             | 2,312                  | 1,532                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 55            | 6,38             | 3,352                  | 2,577                 | 0,000                 | 0,451                            |
| 60            | 9,92             | 4,722                  | 3,597                 | 0,000                 | 1,601                            |
| 65            | 15,02            | 7,472                  | 5,297                 | 0,000                 | 2,251                            |
| 70            | 20,41            | 9,452                  | 6,727                 | 0,000                 | 4,231                            |
| 75            | 26,61            | 11,272                 | 8,297                 | 0,000                 | 7,041                            |
| 80            | 32,84            | 14,072                 | 10,577                | 0,000                 | 8,191                            |
| 85            | 49,09            | 17,972                 | 16,547                | 0,023                 | 14,548                           |

**Quadro V.4 - Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloada de concreto nº 4**

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento da estaca |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m – 4,5m  | Trecho 2<br>0m – 3,0m | Trecho 3<br>0m – 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,000                  | 0,000                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 5             | 0,00             | 0,005                  | 0,012                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 10            | 0,00             | 0,013                  | 0,028                 | 0,001                 | 0,000                            |
| 15            | 0,01             | 0,021                  | 0,029                 | 0,002                 | 0,000                            |
| 20            | 0,09             | 0,026                  | 0,031                 | 0,004                 | 0,029                            |
| 25            | 0,23             | 0,048                  | 0,039                 | 0,016                 | 0,127                            |
| 30            | 0,56             | 0,060                  | 0,044                 | 0,023                 | 0,433                            |
| 35            | 1,15             | 0,087                  | 0,059                 | 0,032                 | 0,972                            |
| 40            | 1,92             | 0,101                  | 0,064                 | 0,040                 | 1,715                            |
| 45            | 3,21             | 0,110                  | 0,069                 | 0,049                 | 2,982                            |
| 50            | 5,29             | 0,146                  | 0,096                 | 0,062                 | 4,986                            |
| 55            | 8,52             | 0,166                  | 0,113                 | 0,076                 | 8,165                            |
| 60            | 13,23            | 0,185                  | 0,123                 | 0,095                 | 12,827                           |
| 65            | 21,30            | 0,209                  | 0,136                 | 0,113                 | 20,842                           |
| 70            | 35,10            | 0,245                  | 0,142                 | 0,135                 | 34,578                           |
| 75            | 52,88            | 0,306                  | 0,144                 | 0,161                 | 52,269                           |
| 80            | 61,59            | 0,346                  | 0,145                 | 0,178                 | 60,921                           |
| 85            | 67,82            | 0,385                  | 0,147                 | 0,197                 | 67,091                           |
| 90            | 74,37            | 0,418                  | 0,154                 | 0,211                 | 73,587                           |
| 95            | 78,68            | 0,451                  | 0,166                 | 0,224                 | 77,839                           |
| 100           | 82,81            | 0,481                  | 0,177                 | 0,243                 | 81,909                           |
| 105           | 86,50            | 0,500                  | 0,186                 | 0,258                 | 85,556                           |
| 110           | 90,47            | 0,539                  | 0,198                 | 0,277                 | 89,456                           |
| 115           | 98,38            | 0,569                  | 0,205                 | 0,294                 | 97,312                           |
| 120           | 106,46           | 0,598                  | 0,217                 | 0,310                 | 105,335                          |
| 125           | 115,56           | 0,636                  | 0,225                 | 0,333                 | 114,366                          |
| 130           | 126,94           | 0,658                  | 0,221                 | 0,352                 | 125,709                          |



**Quadro V.5 - Cargas, recalques e encurtamento da estaca apiloada de concreto nº 5**

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento da estaca |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m – 4,5m  | Trecho 2<br>0m – 3,0m | Trecho 3<br>0m – 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,000                  | 0,000                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 5             | 0,00             | 0,000                  | 0,000                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 10            | 0,01             | 0,002                  | 0,000                 | 0,003                 | 0,005                            |
| 15            | 0,08             | 0,002                  | 0,000                 | 0,003                 | 0,075                            |
| 20            | 0,40             | 0,002                  | 0,000                 | 0,004                 | 0,394                            |
| 25            | 1,35             | 0,002                  | 0,000                 | 0,004                 | 1,344                            |
| 30            | 2,96             | 0,002                  | 0,000                 | 0,004                 | 2,954                            |
| 35            | 6,78             | 0,003                  | 0,001                 | 0,011                 | 6,765                            |
| 40            | 13,16            | 0,006                  | 0,001                 | 0,012                 | 13,141                           |
| 45            | 24,95            | 0,032                  | 0,002                 | 0,014                 | 24,902                           |
| 50            | 40,36            | 0,069                  | 0,008                 | 0,019                 | 40,264                           |
| 55            | 59,26            | 0,095                  | 0,012                 | 0,022                 | 59,131                           |
| 60            | 65,38            | 0,124                  | 0,020                 | 0,024                 | 65,212                           |
| 65            | 69,78            | 0,171                  | 0,035                 | 0,027                 | 69,547                           |
| 70            | 72,79            | 0,218                  | 0,054                 | 0,030                 | 72,488                           |
| 75            | 75,77            | 0,219                  | 0,062                 | 0,030                 | 75,459                           |
| 80            | 78,41            | 0,232                  | 0,066                 | 0,030                 | 78,082                           |
| 85            | 81,28            | 0,249                  | 0,074                 | 0,031                 | 80,926                           |
| 90            | 84,54            | 0,271                  | 0,075                 | 0,031                 | 84,163                           |
| 95            | 88,11            | 0,296                  | 0,075                 | 0,031                 | 87,708                           |
| 100           | 95,19            | 0,318                  | 0,087                 | 0,031                 | 94,754                           |

**Quadro V.6 - Cargas, recalque e encurtamento da estaca apiloada de concreto nº 6**

| Carga<br>(kN) | Recalque<br>(mm) | Encurtamento da estaca |                       |                       | Deslocamento<br>da ponta<br>(mm) |
|---------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
|               |                  | Trecho 1<br>0m – 4,5m  | Trecho 2<br>0m – 3,0m | Trecho 3<br>0m – 1,5m |                                  |
| 0             | 0,00             | 0,000                  | 0,000                 | 0,000                 | 0,000                            |
| 5             | 0,00             | 0,048                  | 0,019                 | 0,014                 | 0,000                            |
| 10            | 0,01             | 0,050                  | 0,020                 | 0,014                 | 0,000                            |
| 15            | 0,06             | 0,058                  | 0,023                 | 0,015                 | 0,000                            |
| 20            | 0,23             | 0,063                  | 0,028                 | 0,015                 | 0,124                            |
| 25            | 0,61             | 0,072                  | 0,032                 | 0,015                 | 0,491                            |
| 30            | 1,33             | 0,086                  | 0,040                 | 0,015                 | 1,189                            |
| 35            | 2,31             | 0,095                  | 0,043                 | 0,015                 | 2,157                            |
| 40            | 3,73             | 0,107                  | 0,048                 | 0,015                 | 3,560                            |
| 45            | 5,81             | 0,120                  | 0,053                 | 0,016                 | 5,621                            |
| 50            | 8,69             | 0,131                  | 0,059                 | 0,016                 | 8,484                            |
| 55            | 12,87            | 0,149                  | 0,067                 | 0,016                 | 12,638                           |
| 60            | 19,87            | 0,168                  | 0,075                 | 0,016                 | 19,611                           |
| 65            | 30,57            | 0,182                  | 0,082                 | 0,017                 | 30,289                           |
| 70            | 43,63            | 0,198                  | 0,089                 | 0,022                 | 43,321                           |
| 75            | 59,80            | 0,217                  | 0,095                 | 0,022                 | 59,466                           |
| 80            | 65,99            | 0,241                  | 0,100                 | 0,022                 | 65,627                           |
| 85            | 69,88            | 0,258                  | 0,106                 | 0,022                 | 69,494                           |
| 90            | 72,78            | 0,275                  | 0,115                 | 0,024                 | 72,366                           |
| 95            | 75,34            | 0,290                  | 0,124                 | 0,024                 | 74,902                           |
| 100           | 77,88            | 0,308                  | 0,134                 | 0,025                 | 77,413                           |
| 105           | 80,78            | 0,325                  | 0,145                 | 0,035                 | 80,275                           |
| 110           | 84,24            | 0,337                  | 0,153                 | 0,036                 | 83,714                           |
| 115           | 90,90            | 0,348                  | 0,161                 | 0,036                 | 90,355                           |
| 120           | 108,85           | 0,369                  | 0,163                 | 0,037                 | 108,281                          |





**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
Câmpus de Ilha Solteira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Av. Brasil Centro, 56  
15385-000 Ilha Solteira - SP  
[www.dec.feis.unesp.br](http://www.dec.feis.unesp.br)

